

# ippnw report

die information der ippnw  
1. auflage, febr 2016, 10,00€  
internationale ärzte  
für die verhütung des  
atomkrieges – ärzte in  
sozialer verantwortung



**30 Jahre Leben mit Tschernobyl  
5 Jahre Leben mit Fukushima**

**Gesundheitliche Folgen der Atomkatastrophen  
von Tschernobyl und Fukushima**

## Impressum

Report: Gesundheitliche Folgen der Atomkatastrophen von Fukushima und Tschernobyl  
30 Jahre Leben mit Tschernobyl. 5 Jahre Leben mit Fukushima  
1. Auflage, Februar 2016

### Team der Autorinnen und Autoren:

Dr. med. Angelika Claußen, IPPNW

Dr. med. Alex Rosen, IPPNW

Mitarbeit (Kapitel 4):

Henrik Paulitz, IPPNW

### **Mit Unterstützung von:**

Dr. rer. nat. Sebastian Pflugbeil, Gesellschaft für Strahlenschutz

Prof. Dr. Inge Schmitz-Feuerhake, Gesellschaft für Strahlenschutz

## Herausgeber

**Deutsche Sektion der Internationalen Ärzte für die Verhütung  
des Atomkrieges / Ärzte in sozialer Verantwortung e. V. (IPPNW)**

Körtestr. 10

10967 Berlin

Deutschland

Tel. ++49/ (0)30 / 69 80 74-0

Fax ++49/ (0)30 / 693 81 66

E-Mail: kontakt@ippnw.de

Internet: www.ippnw.de, www.fukushima-disaster.de

## Koordination und Schlussredaktion

Angelika Wilmen, IPPNW

## Layout

Boris Buchholz

# 30 Jahre Leben mit Tschernobyl 5 Jahre Leben mit Fukushima

Gesundheitliche Folgen der Atomkatastrophen  
von Tschernobyl und Fukushima



Ein Report von  
**IPPNW Deutschland**



<b>Abkürzungen</b> .....	<b>7</b>
<b>Einleitung</b> .....	<b>9</b>

TEIL A:

## **30 Jahre Leben mit Tschernobyl**

Überblick über die gesundheitlichen Folgen der Atomkatastrophe

<b>1. Zusammenfassung Tschernobylfolgen</b> .....	<b>12</b>
1.1. Erhöhung des Krebsrisikos .....	12
1.2. Nichtkrebserkrankungen .....	13
1.3. Störungen des Erbguts .....	13
1.4. Gesundheit der Liquidatoren .....	14
<b>2. Der Unfallhergang</b> .....	<b>15</b>
<b>3. Eckdaten der Katastrophe</b> .....	<b>17</b>
<b>4. Abschätzung der Gesundheitsfolgen durch den Super-GAU von Tschernobyl</b> .....	<b>21</b>
<b>5. Gesundheitliche Folgen der Liquidatoren</b> .....	<b>26</b>
5.1. Mortalität unter Liquidatoren .....	26
5.2. Krebserkrankungen .....	27
5.3. Nichtkrebserkrankungen .....	27
5.4. Herz-Kreislaufkrankungen .....	27
5.5. Augenerkrankungen .....	28
5.6. Psychische Erkrankungen .....	29
5.7. Vorzeitige Alterungsprozesse .....	29
5.8. Genetische Veränderungen bei Kindern von Liquidatoren .....	30
<b>6. Gesundheitsfolgen der kontaminierten Bevölkerung</b> .....	<b>32</b>
6.1. Anstieg von Krebserkrankungen .....	32
6.1.1. Schilddrüsenkrebs in der Tschernobylregion .....	32
6.1.2. Andere Krebserkrankungen Tschernobylregion .....	35
6.1.3. Krebserkrankungen in anderen europäischen Ländern .....	37
6.2. Nichtkrebserkrankungen .....	39
6.2.1. Erkrankungen in den blutbildenden Organen und des lymphatischen Systems .....	40
6.2.2. Kardiovaskuläre Erkrankungen .....	41
6.2.3. Benigne Schilddrüsenerkrankungen .....	41
6.2.4. Diabetes .....	42
6.2.5. Lungenerkrankungen .....	43
6.2.6. Hirnschädigungen / Psychische Erkrankungen .....	43

<b>7.</b>	<b>Mutagene und teratogene Effekte</b>	<b>44</b>
7.1.	Fehlbildungen in der Tschernobylregion	44
7.2.	Fehlbildungen im restlichen Europa	45
7.3.	Down-Syndrom in Deutschland und Europa	47
7.4.	Totgeburten und Anstieg der Perinatalsterblichkeit in der ehemaligen UdSSR	48
7.5.	Totgeburten und Anstieg der Perinatalsterblichkeit im restlichen Europa	48
7.6.	Veränderung des Geschlechterverhältnisses	49
7.7.	Chromosomenaberrationen	49

TEIL B:

## **5 Jahre Leben mit Fukushima**

Überblick über die gesundheitlichen Folgen der Atomkatastrophe

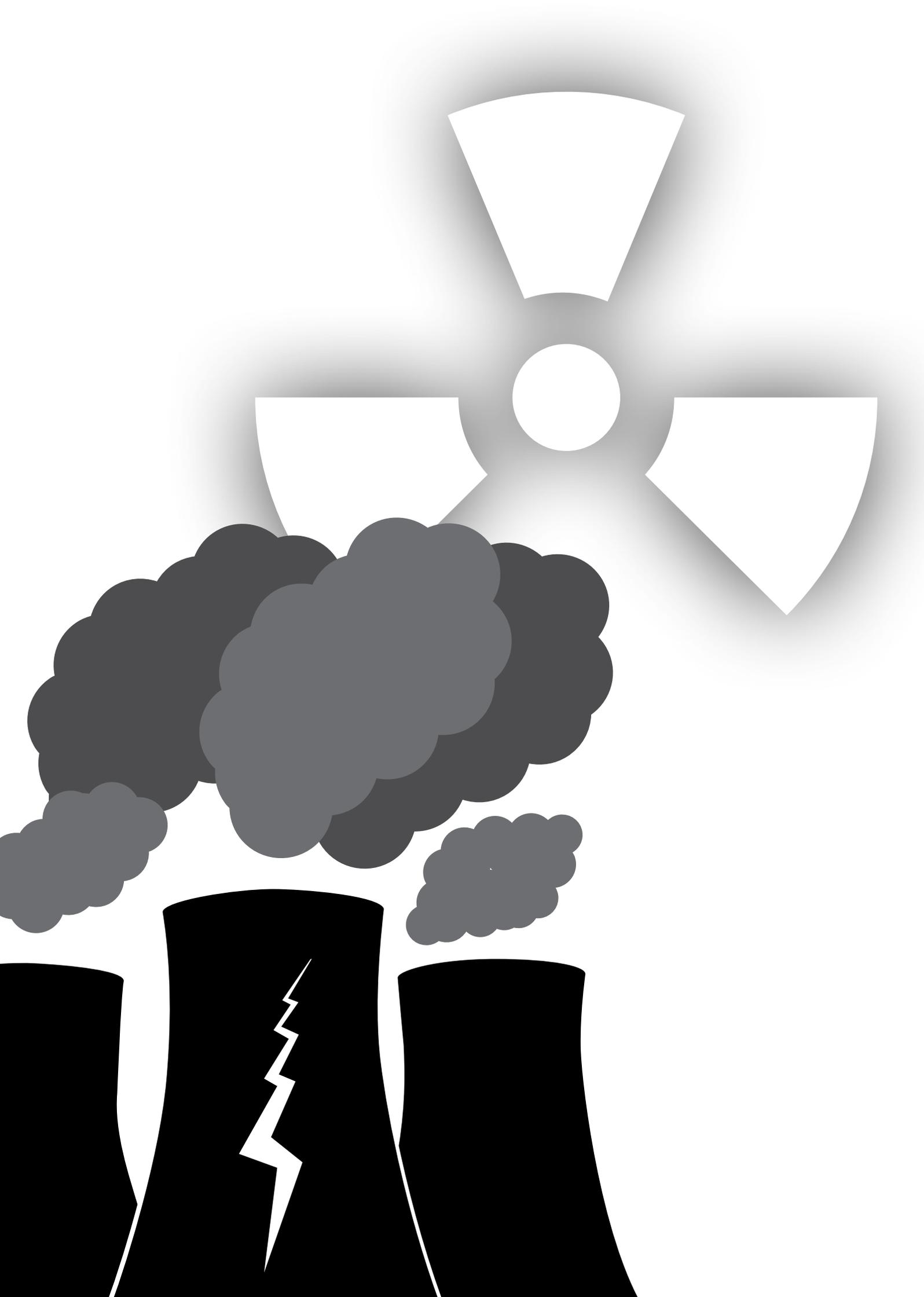
<b>1.</b>	<b>Der Beginn der Atomkatastrophe</b>	<b>56</b>
<b>2.</b>	<b>Emissionen und Kontamination</b>	<b>58</b>
2.1.	Atmosphärische Emissionen	60
2.2.	Emissionen in den Pazifischen Ozean	62
2.3.	Radioaktive Kontamination von Lebensmitteln	64
<b>3.</b>	<b>Auswirkungen der Atomkatastrophe auf die menschliche Gesundheit</b>	<b>68</b>
3.1.	Gesundheitliche Auswirkungen auf die Arbeiter	69
3.2.	Gesundheitliche Auswirkungen auf die Allgemeinbevölkerung	70
<b>4.</b>	<b>Schilddrüsen-Reihenuntersuchungen in der Präfektur Fukushima</b>	<b>73</b>
4.1.	Die Baseline-Studie	74
4.2.	Die Hauptuntersuchung	74
4.3.	Prognosen	75
<b>5.</b>	<b>Auswirkungen der Atomkatastrophe auf das Ökosystem</b>	<b>77</b>
<b>6.</b>	<b>Ausblick</b>	<b>79</b>
	<b>Forderungen der IPPNW</b>	<b>82</b>

## Abkürzungen

<b>BEIR</b>	Biological Effects of Ionizing Radiation
<b>Bq – Becquerel</b>	Beschreibt die Aktivität eines radioaktiven Materials und gibt die Anzahl der Atomkerne an, die pro Sekunde zerfallen.
<b>Gy – Gray</b>	Gray gibt die durch ionisierende Strahlung verursachte Energiedosis an. 1 Gy = 1 J/kg
<b>IAEO</b>	Internationale Atomenergie-Organisation, auch: IAEA
<b>ICRP</b>	International Commission on Radiological Protection
<b>JAEO</b>	Japanische Atomenergie-Agentur
<b>Personen Sv</b>	Kollektivdosis = Anzahl der Personen (P) x Durchschnittsdosis (Sv)
<b>sV – Sievert</b>	Das Sievert ist die Maßeinheit für Strahlendosen. In Deutschland wird der Grenzwert von 0,001 Sv (1 mSv) pro Jahr offiziell als unbedenklich eingestuft.
<b>UNSCEAR</b>	Wissenschaftlicher Ausschuss der Vereinten Nationen zur Untersuchung der Auswirkungen der atomaren Strahlung (United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation)
<b>WHO</b>	Weltgesundheitsorganisation

### Hinweis:

„Tschernobylregion“ ist die verkürzte Bezeichnung der kontaminierten Gebiete in Russland, Weißrussland und der Ukraine.



## Einleitung

*„Die Atomindustrie kann jedes Jahr eine Katastrophe wie Tschernobyl verkraften.“*

HANS BLIX, 1986 IN SEINER FUNKTION  
ALS DIREKTOR DER IAE0

Vor 30 Jahren, am 26. April 1986, fand die Mär von der „sicheren Atomkraft“ mit dem Super-GAU von Tschernobyl ein abruptes Ende. Millionen Menschen wurden zu Opfern radioaktiver Verstrahlung. Riesige Territorien wurden unbewohnbar. Die radioaktive Wolke zog um die ganze Erde. In den Köpfen zahlloser Menschen wuchs die Erkenntnis von den Gefahren der Atomenergienutzung. Auch in Deutschland erkrankten und starben Menschen aufgrund der mit Nahrung und Atemluft in den Körper aufgenommenen radioaktiven Partikeln.

Vor 5 Jahren, am 11. März 2011, zeigte sich, dass die Menschheit die Lektion von Tschernobyl nicht gelernt hat, als es in Fukushima ebenfalls zum Super-GAU kam. Durch mehrere Kernschmelzen, Explosionen, Brände, Lecks und absichtliche Freisetzungen gelangten immense Mengen an radioaktiven Stoffen in die Umwelt. Auf der internationalen Bewertungsskala für nukleare Ereignisse INES wird die Havarie des Atomkraftwerks Fukushima Dai-ichi in der höchsten Kategorie geführt, gleichauf mit dem Super-GAU von Tschernobyl. Mehr als 200.000 Menschen aus der Präfektur Fukushima mussten damals ihre Heimat verlassen und in Übergangslager evakuiert werden, wo bis heute noch knapp Hunderttausend ausharren. Aber die Folgen der Katastrophe erstreckten sich weit über die Grenzen der Präfektur hinaus. Millionen von Menschen wurden seit Beginn der Katastrophe erhöhten Strahlendosen ausgesetzt – vor allem in den Regionen mit relevantem radioaktiven Niederschlag, aber auch in weniger belasteten Teilen des Landes, wo Menschen mit verstrahltem Trinkwasser und radioaktiv kontaminierter Nahrung konfrontiert wurden.

Tschernobyl und Fukushima – beide Atomkatastrophen stehen stellvertretend für das enorme menschliche Leid, die generationsübergreifenden gesundheitlichen Folgen und die ökologische Zerstörung, die in den letzten 70 Jahren durch die Nukleare Kette verursacht wurden. Vom Uranbergbau über die zivile und militärische Nutzung der Kernspaltung bis hin zu Atommüll, Fallout und radioaktivem Abraum schädigt die Atomindustrie Mensch und Umwelt. Wir wissen heute, dass wir aus der Atomkraft aussteigen müssen – und wir wissen, dass dies problemlos möglich ist. Wir verfügen seit langem über regenerierbare und nachhaltige Alternativen zur fossilen und atomaren Energieerzeugung.

Bereits 1991 wurde als eine der ersten gesundheitlichen Folgen der Atomkatastrophe von Tschernobyl eine erhöhte Zahl von Schilddrüsenkrebsfällen festgestellt. Von den Organisationen der Atomlobby wie UNSCEAR oder der IAE0 wurden diese trotz erdrückender Beweise zunächst nicht der Kernschmelze von Tschernobyl zugeschrieben. Dies änderte sich erst 1996.

Die medizinisch-biologische Bewertung von Strahlenfolgen ist bis heute eine kontroverse Angelegenheit. Es geht um den Streit, wie viel radioaktive Kontamination eine Gesellschaft aus industriepolitischen Gründen heraus ertragen muss – ähnlich wie bei der Bewertung von chemisch und toxisch bedingten Umweltschäden.

Das einleitende Zitat von Hans Blix kennzeichnet wie kein anderes die ignorante Haltung der Atomindustrie und zahlreicher internationaler UN-Organisationen wie UNSCEAR, der IAE0 und der WHO zur Gefahr und den medizinischen und biologischen Folgen von Atomkatastrophen.

Selbst kurz nach der Fukushima-Katastrophe 2011 weigerte sich Hans Blix, inzwischen Berater des schwedischen Atomkonzerns Vattenfall, im schwedischen Rundfunk erneut, das

menschliche und ökologische Ausmaß der Atomkatastrophe von Fukushima zur Kenntnis zu nehmen: Die Welt sei angewiesen auf Atomenergie, ohne sie könne der Energiebedarf in großen Städten wie Shanghai und Kalkutta nicht gedeckt werden<sup>1</sup>. Ähnliche Argumente hört man von Vertretern der Atomindustrie immer wieder.

Doch jenseits des alten Streits zwischen den Befürwortern der sogenannten friedlichen Nutzung von Atomenergie und deren Gegnern um das Ausmaß der gesundheitlichen Schäden nach Atomunfällen und die Folgen langfristiger Strahlenexposition, mehren sich die von beiden Seiten anerkannten Forschungsergebnisse, die nachweisen, dass ionisierende Strahlung gefährlicher ist als bislang angenommen. Die Arbeiten stammen u.a. von Medizinerinnen, die in groß angelegten epidemiologischen Studien das ansteigende Krebsrisiko durch medizinische Röntgendiagnostik ins Blickfeld nahmen und fanden, dass jede durchgeführte CT-Untersuchung das Krebsrisiko signifikant erhöhte.<sup>2</sup>

Es folgten große epidemiologische Studien zum Krebsrisiko bei Arbeitern des Uranbergbaus und der Atomwirtschaft sowie Untersuchungen des Krebsrisikos in der Allgemeinbevölkerung aufgrund der Radonbelastung in Wohnhäusern und der sog. „Hintergrundstrahlung“.<sup>3</sup> All diese Studien zeigten, dass schon kleine Strahlendosen im einstelligen mSv-Bereich das Erkrankungsrisiko signifikant erhöhen.<sup>4</sup> Es gibt keinen Schwellenwert, unterhalb dessen Strahlung unschädlich wäre.

Ein weiterer Trend, der in der Forschung zu Strahlenfolgen immer deutlicher wird, ist das gehäufte Auftreten von Nichtkrebserkrankungen, z.B. Herzinfarkten oder Schlaganfällen, die von russischsprachigen Forschern schon früh als Strahlenfolge erkannt wurden. Der Zusammenhang dieser Krankheiten zur Strahlenexposition wird inzwischen auch von westlichen Forschern bei Arbeitern in Nuklearanlagen gesehen<sup>5</sup>.

Auch konnten in neueren Studien erbgutschädigende Effekte von Niedrigdosisstrahlung nachgewiesen werden. Das Geschlechtsverhältnis bei Geburt (Verhältnis männliche zu weiblichen Neugeborenen) scheint dabei ein besonders empfindlicher Marker für ein genetisch bedingtes Strahlenrisiko zu sein: Schon nach Strahlenexpositionen im mSv-Bereich ließ sich im

Umfeld von Atomkraftwerken und Atommülllagern in Deutschland, Frankreich und der Schweiz eine Veränderung des Geschlechterverhältnisses nachweisen. Ähnliche Effekte wurden nach den atmosphärischen Atombombentests und aufgrund des Super-GAU von Tschernobyl nachgewiesen.<sup>6</sup>

Bei der Auswertung der Studienergebnisse zu Tschernobyl und Fukushima wurde der unterschiedliche gesellschaftspolitische Kontext, in dem die Atomkatastrophen stattfanden, mit einbezogen. Festzustellen ist, dass sowohl die Sowjetregierung und die jeweiligen Nachfolgeregierungen als auch die japanische Regierung systematisch Methoden benutzten, um Folgen für die Gesundheit und Umwelt möglichst unsichtbar zu machen.

So wird die Analyse der gesundheitlichen Folgen von Tschernobyl bis heute durch eine Vielzahl sehr unterschiedlicher Sachverhalte erschwert: Wesentliche Daten zum Ablauf der Tschernobyl-Katastrophe und zu den gesundheitlichen Folgen sind nicht frei zugänglich und unterliegen der Geheimhaltung. Bis heute besteht unter Wissenschaftlern keine Einigkeit darüber, wie viel an radioaktivem Inventar durch die Explosion im Reaktor ausgetreten ist. Die unterschiedlichen Schätzungen reichen von 3,5 % bis 95 % des ursprünglichen Reaktorinventars.

In den ersten Jahren nach der Katastrophe wurden vom Ministerium für Gesundheitswesen der UdSSR und vom KGB zudem zahlreiche Verbote ausgesprochen, die zur Folge hatten, dass für die Beurteilung der Lage wesentliche Informationen nicht gewonnen, geheim gehalten oder verfälscht wurden.<sup>7</sup>

Auch in Japan setzt die aktuelle, mit der Atomindustrie eng verflochtene Regierung alles daran, die Akte Fukushima so schnell wie möglich zu schließen. So werden außer der Reihenuntersuchung kindlicher Schilddrüsen in der Präfektur Fukushima keine epidemiologischen Studien durchgeführt – getreu dem Motto: Was nicht untersucht wird, kann auch nicht gefunden werden. Auch wurden Gesetze zum sog. „Geheimnisverrat“ erlassen, die es Journalisten und Wissenschaftlern erschweren sollen, unabhängig zu den Ereignissen in Fukushima zu forschen und zu berichten.

Diese Politik von Verharmlosung und Vertuschung schadet vor allem den betroffenen Menschen und ihrer Gesundheit. Diese Publikation soll hingegen aufklären – über die Folgen der Atomkatastrophen für die menschliche Gesundheit und die Gesellschaften, die mit diesen Folgen leben müssen – im Fall von Tschernobyl seit 30 Jahren, im Fall von Fukushima seit 5 Jahren.

1 <http://sverigesradio.se/sida/artikel.aspx?programid=2054&artikel=4410227>

2 <https://www.ippnw.de/atomenergie/artikel/de/aerzte-zeigen-krebserkrankungen-sc.html>

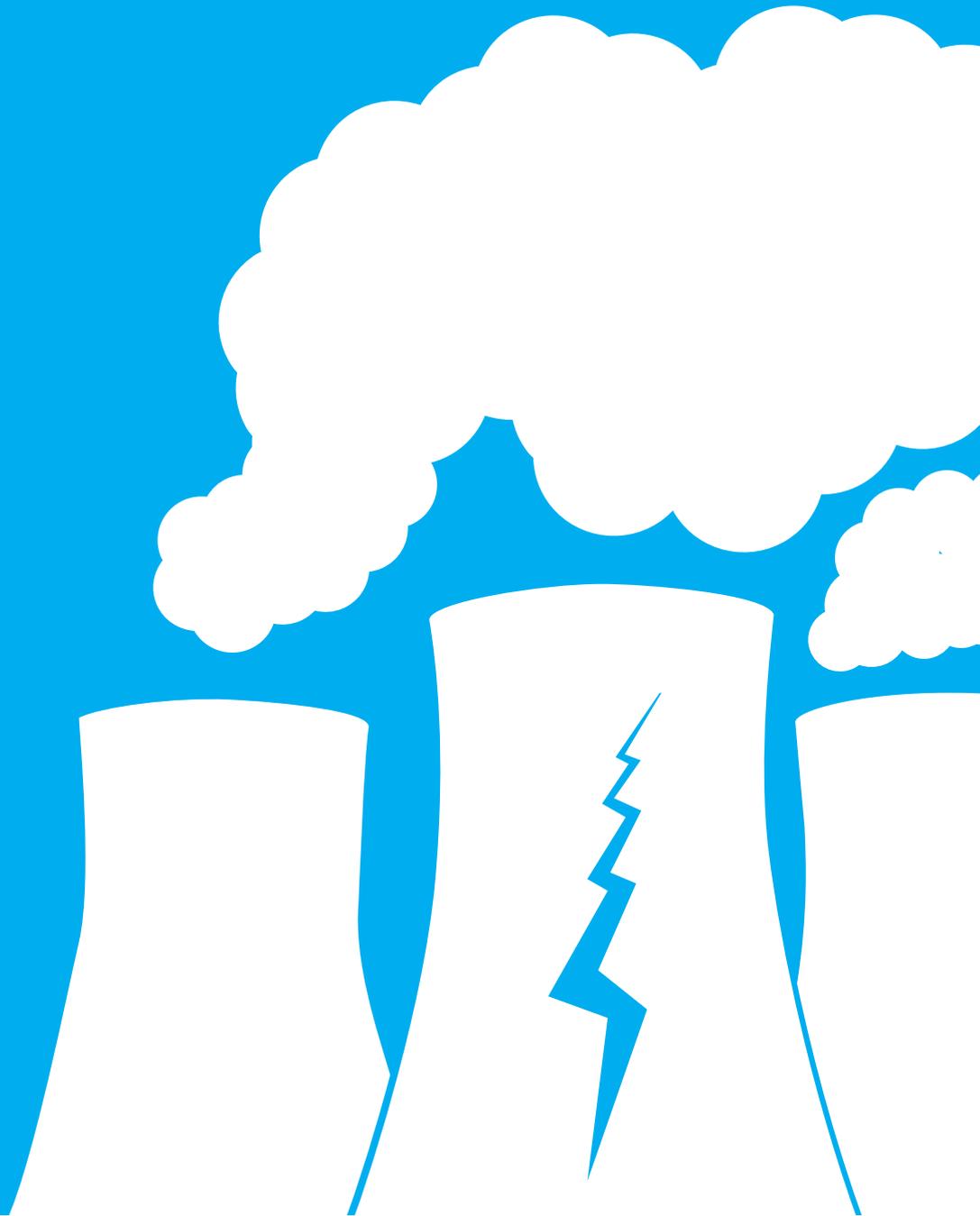
3 Spycher et al. (2015) <http://ehp.niehs.nih.gov/wp-content/uploads/123/6/ehp.1408548.alt.pdf>

4 [http://www.ippnw-ulm.de/Dokumente/Ulmer\\_Expertentreffen\\_-\\_Gefahren\\_ionisierender\\_Strahlung.pdf](http://www.ippnw-ulm.de/Dokumente/Ulmer_Expertentreffen_-_Gefahren_ionisierender_Strahlung.pdf)

5 Mark P. Little, Tamara V. Azizova et al. (2012), Systematic Review and Meta-analysis of Circulatory Disease from Exposure to Low-Level Ionizing Radiation and Estimates of Potential Population Mortality Risks. *Environmental Health Perspectives* • volume 120 | number 11 | November 2012 S.1503-11

6 Scherb, H et al. „Ionizing radiation and the human gender proportion at birth – A concise review of the literature and complementary analyses of historical and recent data.“ *Early Human Development* 91 (2015) 841–850. <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/26527392>

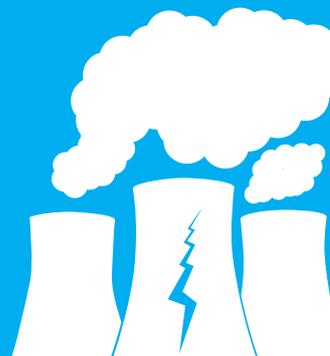
7 A. Jaroshinskaja (1994): *Verschlusssache Tschernobyl Die geheimen Dokumente aus dem Kreml*; Berlin, Basis Druck Verlag GmbH,



## **Teil A:** 30 Jahre Leben mit Tschernobyl

Überblick über die gesundheitlichen Folgen  
der Atomkatastrophe

## 1. Zusammenfassung Tschernobylfolgen



Der Super-GAU von Tschernobyl stellt die größte nukleare Katastrophe des 20. Jahrhundert dar. Sie betrifft noch immer Millionen von Menschen:

- » schätzungsweise 830.000 Liquidatoren
- » mehr als 350.000 Evakuierte aus der 30 km-Zone und weiteren sehr stark kontaminierten Regionen
- » ca. 8,3 Millionen Menschen aus den stark strahlenbelasteten Regionen in Russland, Weißrussland und der Ukraine
- » ca. 600 Millionen Menschen in anderen Teilen Europas, die geringeren Strahlendosen ausgesetzt wurden.<sup>1,2</sup>

Rund 36 % der Gesamtradioaktivität ging damals über Weißrussland, Russland und der Ukraine nieder, etwa 53 % über dem Rest Europas. 11 % verteilten sich über den restlichen Globus. Die Angaben zur Kollektivdosis bewegen sich von 2,4 Millionen Personensievert (Quelle: Sowjetunion 1986, weltweit, Zeitraum 70 Jahre) bis zu 55.000 Personensievert (Quelle; IAEA/WHO 2005, nur Weißrussland, Russland und Ukraine, Zeitraum 20 Jahre).<sup>3</sup>

Die gesundheitlichen Folgen zeigten sich anders als von den Wissenschaftlern der Atomindustrie und ihrer Lobby prognostiziert:

### 1.1. Erhöhung des Krebsrisikos

- a. Schilddrüsenkrebs:** Unerwartet schnell zeigte sich schon 3–4 Jahre nach Beginn der Atomkatastrophe ein rasanter Anstieg von Schilddrüsenkrebsen bei Kindern, besonders in der hoch belasteten Zone von Gomel, Weißrussland. IAEA und WHO erkannten den Zusammenhang zum Super-GAU erst 10 Jahre später an. UNSCEAR gab 2008 6.848 behandelte Schilddrüsenkrebserkrankungen bei Menschen an, die 1986 unter 18 Jahre alt waren. Auch in Russland und der Ukraine zeigte sich ein signifikanter Anstieg der Schilddrüsenkrebszahlen bei Kindern.<sup>4</sup> Und nicht nur Kinder, auch Erwachsene und ganz besonders Frauen zeigen in den betroffenen Gebieten zunehmende Schilddrüsenkrebsraten.<sup>5</sup>
- b. Andere Krebsfälle:** In Weißrussland kam es laut Daten des nationalen Krebsregisters zu einem generellen Anstieg diverser Krebsarten neben Schilddrüsenkrebs. Besonders betroffen waren dabei die Prostata, die Haut, die Nieren, der Darm, das Knochenmark, das lymphatische System und die weibliche Brust.<sup>6</sup> Auch wurde ein signifikanter Anstieg von Brustkrebs und Kinderleukämien sowohl in Weißrussland als auch in der Ukraine

1 I. Fairlie, D. Sumner (2006) the Other Report On Chernobyl; <http://cricket.biol.sc.edu/chernobyl/papers/TORCH.pdf>

2 A.V. Yablokov, V.B. Nesterenko, A.V. Nesterenko(2009) Chernobyl: Consequences of the Catastrophe for People and the Environment

3 USSR State Committee on the Utilization of Atomic Energy. The accident at the Chernobyl nuclear power plant and its consequences: information compiled for the IAEA Experts Meeting, 1986 August 25–9, Vienna. Part II, Annexes 2, 7, Draft, 1986 August.

4 E. Cardis et al (2011) The Chernobyl accident – an Epidemiological Perspective: Clin Oncol (R Coll Radiol). 2011 May ; 23(4): 251–260.

5 Mürbeth, s. et al. (2004): Thyroid cancer has increased in the adult populations of countries moderately affected by Chernobyl fallout; in: Med Sci Monit, 2004; 10(7): CR300-306

6 Zubets, O., Okeanov, A., (2014) Cancer epidemiology in Belarus, [http://www.tschernobylkongress.de/fileadmin/user\\_upload/Arnoldshain\\_Doku/Zubec-Olga.pdf](http://www.tschernobylkongress.de/fileadmin/user_upload/Arnoldshain_Doku/Zubec-Olga.pdf), A. E. Okeanov, E. Y. Sosnovskaya, O. P. Priatkina, A national cancer registry to assess trends after Chernobyl accident, Swiss Medical Weekly 2004, 134: 645-649.

festgestellt.<sup>7</sup> Ivanov et al. berichteten 2002 zudem von einem erhöhten Auftreten von Krebserkrankungen in den besonders strahlenbelasteten russischen Gebieten von Kaluga und Bryansk.<sup>8</sup> Vor allem in der Gruppe der Liquidatoren wurden vermehrt Leukämien und Schilddrüsenkrebs festgestellt.<sup>9 10</sup>

## 1.2. Nichtkrebserkrankungen

Es findet sich zudem ein deutlicher Anstieg von Nichtkrebserkrankungen bei allen hochbestrahlten Populationen aus den ehemaligen Sowjetrepubliken wie z.B. benignen Tumoren, kardiovaskulären, zerebrovaskulären, respiratorischen, gastrointestinalen, endokrinologischen und psychischen Erkrankungen, Katarakten und Störungen der Intelligenzentwicklung. Die Anzahl dieser Erkrankungen übersteigt die Anzahl der Krebserkrankungen bei weitem.<sup>11</sup> Es dauerte 23 Jahre, bis UNSCEAR kardiovaskuläre und zerebrovaskuläre Erkrankungen sowie Katarakte bei Liquidatoren als strahlungsbedingt anerkannt hat<sup>12</sup>. Sowohl Burlakova<sup>13</sup> als auch Loganovsky<sup>14</sup> haben die komplexen interaktiven Prozesse bei höheren Strahlenwirkungen auf Liquidatoren als vorzeitige Alterungsprozesse charakterisiert. Frühe Studien aus Weißrussland, Russland und der Ukraine an belasteten Evakuierten und Kindern zeigen zudem einen Anstieg von Veränderungen der Blutzellen und daraus resultie-

render Abwehrschwäche sowie von obstruktiven und nichtobstruktiven Lungenerkrankungen<sup>15 16</sup>.

## 1.3. Störungen des Erbguts

Fehlbildungen, chromosomale Aberrationen und die Erhöhung der perinatalen Sterblichkeit (Totgeburten, Fehlgeburten) wurden bereits in den ersten Jahren der Atomkatastrophe in Weißrussland, der Ukraine und in einigen mittel- und osteuropäischen Ländern registriert<sup>17</sup>.

In Weißrussland<sup>18</sup> und in West-Berlin stieg die Anzahl von Neugeborenen mit Down-Syndrom. A. Körblein und H. Scherb wiesen in verschiedenen Untersuchungen eine erhöhte Perinatalsterblichkeit in Deutschland, Polen, Ungarn und in den skandinavischen Ländern nach und stellen eine Relation zur Cäsium-Belastung her. Scherb und Sperling haben die Anzahl der zusätzlichen Tot- und Fehlgeburten in Deutschland auf 1.000–3.000 geschätzt<sup>19</sup>. Für drei skandinavische Länder schätzte Körblein die Zahl der zusätzlichen Tot- und Fehlgeburten auf ca. 1.200. In neuen Studien konnten Scherb und Weigelt zeigen, dass sich auch das Geschlechterverhältnis zwischen weiblichen und männlichen Neugeborenen zugunsten des männlichen Geschlechts veränderte.<sup>20</sup> 220.000 Mädchen fehlen demnach in West-Europa. Diese Studien sowie die ausführlichen weißrussischen Arbeiten zu Fehlbildungen, Tot- und Fehlgeburten werden allerdings bisher von den internationalen Institutionen (UNSCEAR, IAEA, ICRP) nicht in Betracht gezogen. Deren Wissenschaftler halten an einer Schwellendosis für

7 E. Pukkala, S. Poliakov, A. Ryzhov, A. Kesminiene, V. Drozdevich, L. Kovgan, P. Kyyronen, I.V. Malakhova, L. Gulak, E. Cardis: Breast cancer in Belarus and Ukraine after the Chernobyl accident. *International Journal of Cancer*, 2006, February 27th

8 Ivanov, V.K., Tsyb, A.F. (2002) Medical Radiological consequences of the Chernobyl accident for the population of Russia, assessment of radiation related risks. Moscow. „Meditsina“ Publishing House, S. 389; in Burlakova & Naidich (2006): 20 years after the Chernobyl accident; Past, Present, Future, Nova Science Publishers Inc. New York

9 Kashcheev et al. (2015): *Radiat Environ Biophys* 2015 Mar;54(1):13-23

10 Buzunov V, Omelyanetz N, Strapko N, et al. Chernobyl NPP accident consequences cleaning up participants in Ukraine—health status epidemiologic study—main results. In: Karaoglou A, Desmet G, Kelly GN, et al, eds. *The radiological consequences of the Chernobyl accident*. Luxembourg, Belgium: Office for Official Publications of the European Communities, 1996:871–8.

11 Tereshenko, V.M. et al. (2003) Epidemiologic research on non-neoplastic morbidity in Chernobyl NPP accident liquidation participants in 1986-87 Hygiene of population aggregates issue 41 p. 283-287 (zitiert nach Greenpeace report 2006)

12 [http://www.unscear.org/docs/reports/2008/11-80076\\_Report\\_2008\\_Annex\\_D.pdf](http://www.unscear.org/docs/reports/2008/11-80076_Report_2008_Annex_D.pdf), S. 62

13 E. Burlakova & V.I.Naidich (2006)

14 K.Loganovsky (2012): Brain damage following the exposure to low doses of ionizing radiation as a result of the Chernobyl accident

15 E. Stepanova et al. (2008) Exposure from the Chernobyl accident had adverse effects on erythrocytes, leukocytes, and platelets in children in the Narodichesky region, Ukraine: A 6-year follow-up study;

16 E.R. Svendsen et al. (2010): 137Cesium Exposure and Spirometry Measures in Ukrainian Children Affected by the Chernobyl Nuclear Incident

17 Lazjuk G.I., Satow, Y. (2004): Some Issues on the long term investigations on genetic consequences of the Chernobyl accident; [www.rii.kyoto-u.ac.jp/NSRG/reports/.../lazjuk.pdf](http://www.rii.kyoto-u.ac.jp/NSRG/reports/.../lazjuk.pdf); Scherb., H, Weigelt, E.(2003) Congenital Malformation and Stillbirth in Germany and Europe Before and After the Chernobyl Nuclear Power Plant Accident; Körblein, A.: Säuglingssterblichkeit nach Tschernobyl; <http://www.strahlentelex.de/OttoHug24.htm>; Vorobtsova, IE., Semenov, AV. (2006): Complex cytogenetic characteristic of people suffered from Chernobyl accident, <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/16756111>

18 Lazjuk, G.I. et al. (1995): Frequency Changes of inherited anomalies in the Republic of Belarus after the Chernobyl accident; in: *Radiation Protection Dosimetry*, Vol 62 No 1 / 2, S. 71 – 74

19 Hagen Scherb, Karl Sperling: Heutige Lehren aus dem Reaktorunfall von Tschernobyl. *Naturw. Rdsch.*, 64. Jg., Heft 5, 2011, S.229-239. [www.naturwissenschaftliche-rundschau.de/navigation/dokumente/NR\\_5\\_2011\\_HB\\_Scherb.pdf](http://www.naturwissenschaftliche-rundschau.de/navigation/dokumente/NR_5_2011_HB_Scherb.pdf)

20 Scherb, H., Voigt, C. (2013) Strahleninduzierte genetische Effekte nach Tschernobyl und in der Nähe von Nuklearanlagen. Ulmer Expertentreffen – Gefahren von ionisierender Strahlung auch im Niedrigstrahlungsbereich – Expertise zur Grenzwertdebatte – Update 2013, 18./19. Oktober 2013, Ulm, Germany.

teratogene und chromosomale Schäden fest. Diese Annahme wurde inzwischen von zahlreichen Studien widerlegt<sup>21</sup>.

#### 1.4. Gesundheit der Liquidatoren

Die Liquidatoren stellen die am schwersten betroffene Gruppe im Rahmen der Atomkatastrophe von Tschernobyl dar und werden daher in dieser Publikation noch einmal separat besprochen. Bezüglich des Ausmaßes der Morbidität und Mortalität bei den Liquidatoren existieren zwar unterschiedliche Zahlenangaben, aber über die Tatsache, dass die meisten von ihnen an mehreren verschiedenen schweren Krankheiten leiden (Multimorbidität) und deshalb arbeitsunfähig sind, herrscht in den medizinischen Studien Einigkeit. Yablokov schätzt aufgrund verschiedener Studien, dass bis 2005 schon 112.000–125.000 Liquidatoren verstorben sind.<sup>22</sup> Die Hauptursache sind Schlaganfälle und Herzinfarkte, die zweithäufigste Todesursache sind Krebserkrankungen. Die Tschernobylforscher Burlakova<sup>23</sup> und Bebeshko<sup>24</sup> identifizierten viele somatische Veränderungen als strahlenbedingte, vorzeitige Alterungsprozesse.

---

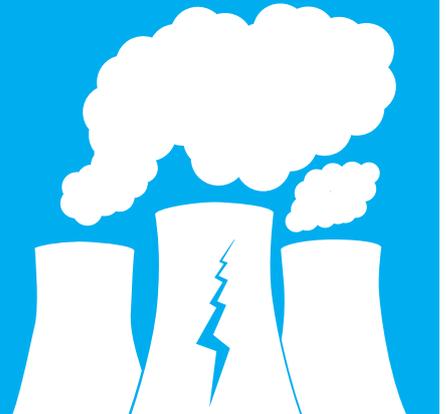
21 Z.B. Schmitz-Feuerhake, I. (2015) Das vergessene Risiko durch ionisierende Strahlung für die Nachkommen exponierter Eltern; in: umweltmedizin-gesellschaft | 28 | 4/2015

22 Yablokov, AV (2009): Mortality after the Chernobyl Accident, in: Ann N Y Acad Sci, 2009 Nov;1181:192-216.

23 Internationaler Kongress: 20 Jahre Tschernobyl – Erwartungen und Lehren für die Zukunft: Vortrag: Prof. Elena Burlakova, Moskau: Naturwissenschaftliche Prinzipien von Schadwirkungen der Strahlung auf den Gesundheitszustand der Bevölkerung  
[http://www.strahlentelex.de/20\\_Jahre\\_nach\\_Tschernobyl\\_Abstracts\\_GSS\\_Berlin-Charite\\_2006.pdf](http://www.strahlentelex.de/20_Jahre_nach_Tschernobyl_Abstracts_GSS_Berlin-Charite_2006.pdf)

24 Bebeshko, V., Bazyka, D., Loganovsky, Volovik, S., Kovalenko, A., Korukushko, O. & Manton K. (2006), Does Ionizing radiation accelerate aging phenomina? (pp.13-19). In: Contributed papers to the International conference „20 years after chernobyl Accident Future Outlook“ April 24 – 26th 2006, Kyiv, Ukraine , Kyiv HOLTEH

## 2. Der Unfallhergang



*„300 Meter über dem Reaktor erreichte die Radioaktivität 18 Sv/Std. Die Hubschrauberpiloten bekamen mitten im Flug Schwindelanfälle. Um ihre Sandsäcke in den brennenden Schlund des Kraftwerks zu werfen, streckten sie den Kopf aus der Kabine und arbeiteten auf Sicht.“*

AUS: IGOR KOSTIN: TSCHERNOBYL NAHAUFNAHME

Das sowjetische Atomkraftwerk Tschernobyl liegt rund 100 Kilometer nördlich der ukrainischen Hauptstadt Kiew, nahe der weißrussischen Grenze. In der Nacht auf Samstag, den 26. April 1986, führten die Ingenieure gerade einen Betriebstest am Reaktor 4 durch, als dieser plötzlich außer Kontrolle geriet: die Leistung erhöhte sich immer weiter, die Notabschaltung versagte, die atomare Kettenreaktion nahm rasend schnell zu. Gerade einmal 44 Sekunden nach Beginn des Tests zerstörten zwei Explosionen das Dach und den Kern des Reaktors. Das Kühlwasser begann abzulaufen, so dass die Graphitstäbe im Reaktorkern Feuer fingen und die Brennstäbe zu schmelzen begannen. Das Feuer, das durch den schwer zu löschenden Brand der Graphitstäbe aufrechterhalten wurde, dauerte bis zum 10. Mai 1986.

190.000 kg hoch radioaktives Material befand sich zu diesem Zeitpunkt im Reaktor. 12 Trillionen Becquerel (12 x 10<sup>18</sup> Bq bzw. 12.000 Peta-Bq) an radioaktiven Partikeln wurden durch die Explosion und die darauf folgenden Feuer binnen weniger Tage in die Atmosphäre freigesetzt – 200mal so viel wie die Atombomben von Hiroshima und Nagasaki zusammen. Darun-

ter waren 85 PBq langlebiges Cäsium-137 und 1.760 PBq Jod-131.<sup>1</sup>

Da der Wind sich im Laufe der folgenden Tage oft drehte, zogen mehrere radioaktive Wolken von Tschernobyl aus übers Land. Etwa 36% der Gesamtradioaktivität von Cäsium-137 regnete über den drei Sowjetrepubliken Weißrussland, Ukraine und Russland nieder – vor allem nördlich des Kraftwerks über den weißrussischen Regionen Gomel und Mogilev. Weitere 53% der radioaktiven Strahlung verteilten sich über das restliche Europa, vor allem Skandinavien, Ost- und Mitteleuropa und den Balkan, die übrigen 11% über der gesamten nördliche Hemisphäre. In Deutschland wurden besonders der Südosten Bayerns und Baden-Württemberg kontaminiert.<sup>2</sup>

36 Stunden nach Beginn der Kernschmelze wurden in der Bundesrepublik, der Schweiz, der Tschechoslowakei und Schweden bereits erhöhte Strahlendosen registriert. Analysen zeigten schnell, dass es sich um eine Kernschmelze in einem Atomkraftwerk handeln musste, doch die Öffentlichkeit erfuhr davon vorerst noch nichts. Die sowjetische Nachrichtenagentur TASS meldete erst am Abend des 28. April 1986, dass es einen Unfall im AKW Tschernobyl gegeben habe. In der BRD berichteten am darauffolgenden Tag viele Zeitungen prominent über das Ereignis, in der DDR schaffte es die Nachricht nur als kleine Meldung auf die hinteren Seiten. Eine Gesundheitsgefahr durch den Fallout aus Tschernobyl stritten beide deutschen Regierungen zunächst ab.

1 Fairlie, D. Summner (2006) the Other Report On Chernobyl; <http://cricket.biol.sc.edu/chernobyl/papers/TORCH.pdf>

2 Bennett B (1996) Assessment by UNSCEAR of Worldwide Doses from the Chernobyl Accident in Proceedings of an IAEA Conference One Decade after Chernobyl: Summing up the Consequences of the Accident, Vienna, 8-12 April 1996, Jan. 2016.

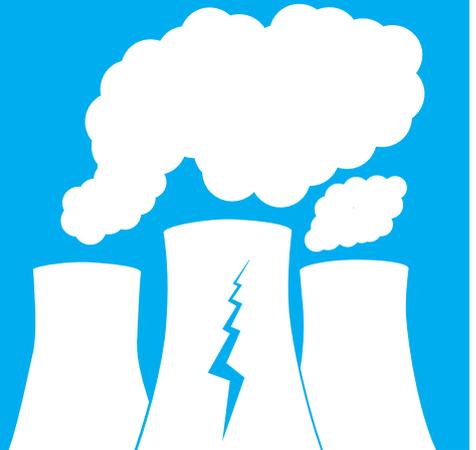
Derweil hatte in Tschernobyl die Werksfeuerwehr als erste Reaktion auf die Katastrophe mit verzweifeltten Löschversuchen begonnen, konnte den Graphitbrand im Inneren des Reaktorkerns jedoch erst nach zwei Wochen beenden. Erst der Einsatz von Helikoptern, die insgesamt 5.000 Tonnen Bor, Blei, Sand und Lehm über dem Reaktor abwarfen, brachte die Wende. Im Laufe der Tage, Wochen und Monate nach dem Super-GAU schickte die Regierung Schätzungen zufolge insgesamt bis zu 830.000 Menschen zum Katastrophendienst nach Tschernobyl. Die meisten dieser „Liquidatoren“ waren Rekruten der Roten Armee aus allen Teilen der Sowjetunion. Sie räumten mit bloßen Händen hochradioaktiven Schutt beiseite, trugen kontaminierte Erde ab, keulten verstrahlte Tiere, gruben radioaktiven Müll um und errichteten um die Atomruine den sog. Sarkophag, der die hohe Strahlung einschließen sollte. Aber auch einfache ArbeiterInnen, IngenieurInnen, ÄrztInnen, KrankenpflegerInnen und WissenschaftlerInnen waren in Tschernobyl im Einsatz und riskierten dabei hohe Strahlendosen.

Weil die gesundheitlichen Auswirkungen ionisierender Strahlung sowohl in der Sowjetunion als auch im Westen unterschätzt und heruntergespielt wurden, kamen effektive Schutzmaßnahmen für die Bevölkerung viel zu spät oder unterblieben ganz. So spielten Kinder weiterhin auf verstrahlten Wiesen und Spielplätzen, liefen PassantInnen ungeschützt durch radioaktiven Regen. In Kiew und Minsk fanden wie in allen sozialistischen Staaten die traditionellen Feierlichkeiten und Umzüge zum 1. Mai statt. Millionen von Menschen waren zudem einer erhöhten Strahlenbelastung ausgesetzt, weil sie kontaminierte Nahrung, Trinkwasser und Milch verzehrten.

Vor allem in Teilen der ehemaligen Sowjetunion traf der Super-GAU von Tschernobyl die Menschen schwer: In der Stadt Prypjat, gerade einmal 3 Kilometer vom havarierten Reaktor entfernt, stiegen die Strahlenwerte bis auf das 250-fache der normalen Hintergrunddosis an.<sup>3</sup> Die Bewohner Prypjats klagten bereits mehrere Stunden nach der Explosion im Atomkraftwerk über Kopfschmerzen und Übelkeit und gaben einen eigentümlichen metallischen Geschmack an. Dennoch wurden die rund 50.000 Bewohner der Stadt erst 36 Stunden nach Beginn des Super-GAUs evakuiert. Kontrollen von Milch und Trinkwasser gab es erst ab dem 1. Mai, Jodtabletten zum Schutz der Schilddrüse vor radioaktivem Jod wurden erst 4 Wochen nach der Kernschmelze und somit viel zu spät verteilt. Auch die Evakuierung der Dörfer innerhalb der Sperrzone 30 Kilometer rings um den Reaktor und in anderen stark kontaminierten Gebieten begann erst eine Woche nach der Reaktorexpllosion. Viele der Dörfer wurden mit Planiermaschinen eingeebnet, ihre verstrahlten Trümmer mit Erde abgedeckt. Insgesamt knapp 400.000 Menschen mussten ihre Heimat verlassen, mehr als 8,3 Millionen Menschen lebten plötzlich in kontaminierten Gebieten.

<sup>3</sup> Repin, VS. „Radiological-hygienic importance of radiation sources and doses for population of 30-km zone after the accident on ChNPP. Problem of reconstruction, assessment of risks“. Institute of epidemiology and prophylaxis of radiation injury, National Academy of Medicine, Ukraine

### 3. Eckdaten der Katastrophe



#### Welche Populationen sind durch die Tschernobyl-Katastrophe betroffen?

830.000 Liquidatoren, 350.400 Evakuierte aus der 30 km-Zone und weiteren sehr stark kontaminierten Zonen, 8.300.000 Menschen aus stark strahlenbelasteten Zonen in Russland, Weißrussland und der Ukraine und 600.000.000 Menschen in geringer strahlenbelasteten Zonen im restlichen Europa<sup>1,2</sup>.

Bei der Abschätzung der Belastung der Böden mit radioaktivem Cäsium gilt zu beachten, dass bereits vor dem Super-GAU von Tschernobyl radioaktives Cäsium in den Böden enthalten war – aufgrund der atmosphärischen Atomwaffentests der 1950er bis 1970er Jahre. De Cort et al. führten 1996 im Auftrag der EU Messungen der Cäsiumkonzentration in verschiedenen europäischen Ländern durch und schätzten die Konzentration von Cäsium-137 in Europa vor der Atomkatastrophe von Tschernobyl auf 0-3,5 kBq/m<sup>2</sup>. Die Karte auf der folgenden Seite zeigt die Belastung in Europa zehn Jahre nach dem Super-GAU.<sup>3</sup> (siehe Abbildung 3-1)

Durch komplexe Umrechnungen kann man aus der Bodenkonzentration die zusätzliche Strahlendosis durch Gammastrahlung („groundshine“) abschätzen. Basierend auf den Angaben zu Verhalten, Exposition und Konzentration von Cäsium-137 in den ehemaligen Sowjetrepubliken Weißrussland, Ukraine und Russland ist von einer durchschnittlichen zusätzlichen Strahlendosis von 10 Mikrosievert pro Jahr pro kBq/m<sup>2</sup> Cäsium-137 auszugehen (je nach untersuchten Region 7,4–13). Diese Abschätzung

umfasst nicht die interne Strahlendosis durch Ingestion oder Inhalation strahlender Partikel, die natürlich indirekt ebenfalls von der Umgebungskonzentration abhängig ist.

Da über das tatsächlich entwichene radioaktive Inventar bis heute Unklarheit besteht, sind die daraus folgenden Abschätzungen des Quellterms, also der gesamten, aus dem Reaktor entwichene Emissionsmenge, bis heute unklar. Eine Übersicht über die ausführliche Diskussion der unterschiedlichen Abschätzungen findet sich bei Fairlie/Sumner (2006).<sup>4</sup>

#### Daten zur Anzahl der direkt Betroffenen und dem Ausmaß der Kontamination<sup>5</sup>:

Weißrussland	<b>2.500.000</b> Menschen	
Ukraine	<b>3.500.000</b> Menschen	
Russland	<b>3.000.000</b> Menschen	
<b>135.000</b>		wurden evakuiert,
<b>400.000</b>		verloren ihre Wohnung und mussten wegziehen
<b>3.000.000</b>		Menschen leben in Gebieten mit > 185.000 Bq/m <sup>2</sup> (5 Ci/km <sup>2</sup> )
<b>270.000</b>		Menschen leben in Gebieten mit > 555.000 Bq/m <sup>2</sup> (15 Ci/km <sup>2</sup> )
<b>Kontaminierte Gebiete:</b>		
Weißrussland	<b>30%; 62.400 km<sup>2</sup></b>	
Ukraine	<b>7%; 42.000 km<sup>2</sup></b> und <b>40%</b> der Wälder	
Russland	<b>1,6%</b> (des europäischen Teils); <b>57.650 km<sup>2</sup></b>	
<b>21.000 km<sup>2</sup></b>		wurden mit 185-555.000 Bq/m <sup>2</sup> (5-15 Ci/km <sup>2</sup> ) und
<b>10.000 km<sup>2</sup></b>		mit mehr als 555.000 Bq/m <sup>2</sup> (> 15 Ci/km <sup>2</sup> ) kontaminiert.

1 A.V. Yablokov, V.B. Nesterenko, A.V. Nesterenko (2009) Chernobyl: Consequences of the Catastrophe for People and the Environment

2 I. Fairlie, D. Sumner (2006) The Other Report On Chernobyl; <http://cricket.biol.sc.edu/chernobyl/papers/TORCH.pdf>

3 M. De Cort, G. Dubois, Sh. D. Fridman, M.G. Germenchuk, Yu. A. Izrael, A. Janssens, A. R. Jones, G. N. Kelly, E. V. Kvasnikova, I. I. Matvenko, I. M. Nazarov, Yu. M. Pokumeiko, V. A. Sitak, E. D. Stukin, L. Ya. Tabachny, Yu. S. Tsaturov, 1998 and: „Atlas of Caesium Deposition on Europe after the Chernobyl Accident“, EUR report nr. 16733, Office for Official Publications of the European Communities, Luxembourg, Plate 1.

4 Ian Fairlie, David Sumner (2006): The other report on Chernobyl, S. 19 – 24

5 UN-Generalversammlung A/50/418, 8.9.1995

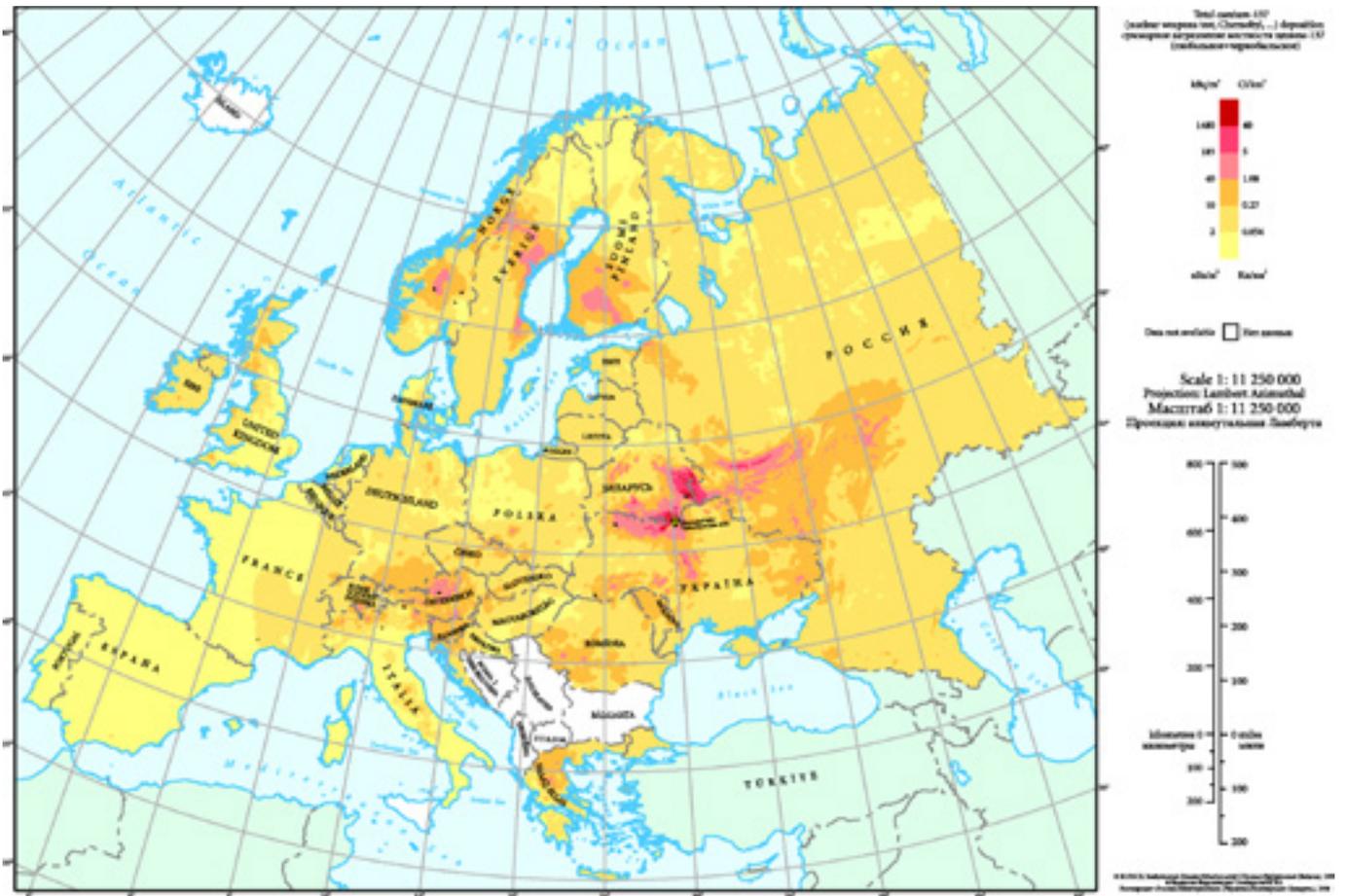


Abbildung 3-1:

Karte der Cs 137–Belastung in europäischen Ländern nach den Daten der von der EU durchgeführten Messungen 1996.

Cs137 (kBq/qm)	Belorussland	Russland	Ukraine	Insgesamt
37 – 185	1.543.000	1.654.000	1.189.000	4.386.000
185 – 555	239.000	234.000	107.000	580.000
555 – 1.480	98.000	95.000	300	193.300
<b>Insgesamt</b>	<b>1.880.000</b>	<b>1.983.000</b>	<b>1.296.300</b>	<b>5.159.300</b>

Tabelle 3-1:

Verteilung der Einwohner in den radioaktiv kontaminierten Gebieten der Ukraine, Weißrusslands und Russlands im Jahre 1995<sup>6</sup> (Einwohner)

6 UN Chernobyl Forum (EGE): Environmental Consequences of the Chernobyl Accident and Their Remediation: Twenty Years of Experience, Working Material, August 2005.

**Kontamination Weißrussland 1995**  
(nach Danielova 2014)<sup>7</sup>

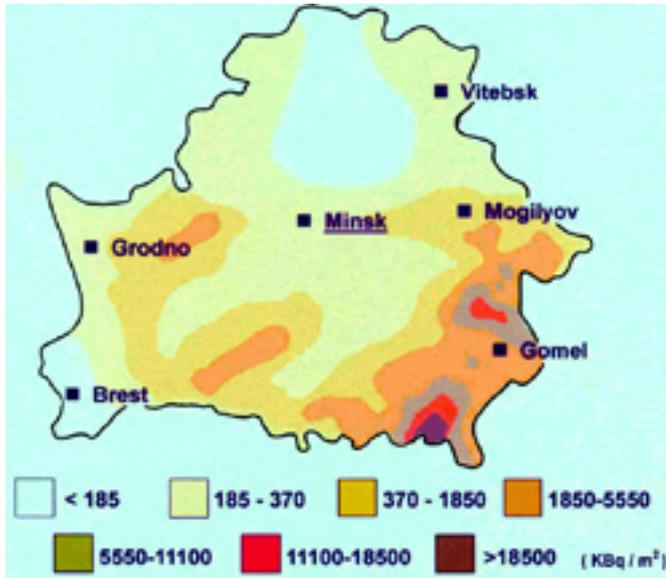


Abbildung 3-2:  
Jod 131 Kontamination

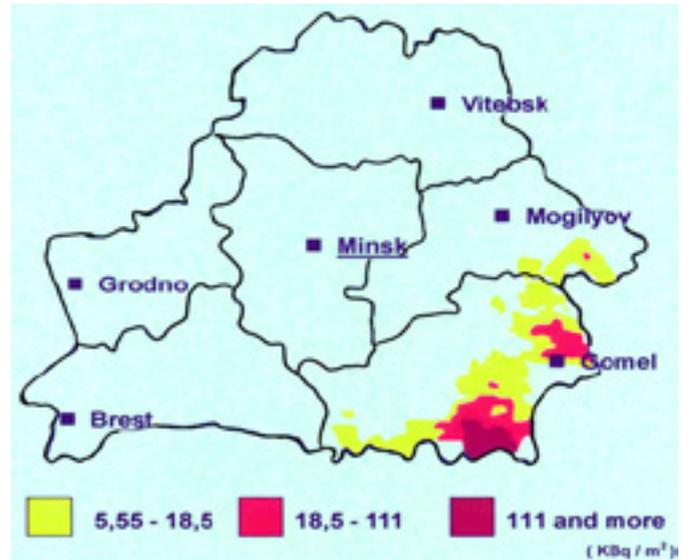


Abbildung 3-4:  
Verteilung SR – 90

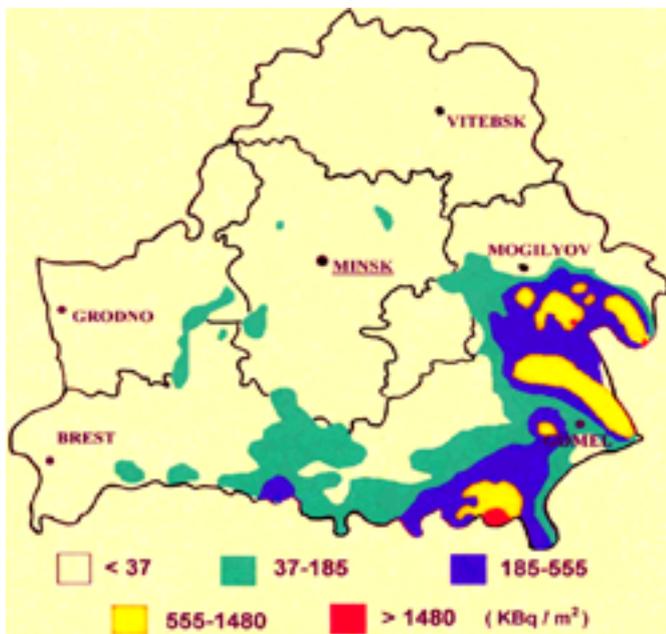


Abbildung 3-3:  
Verteilung Caesium

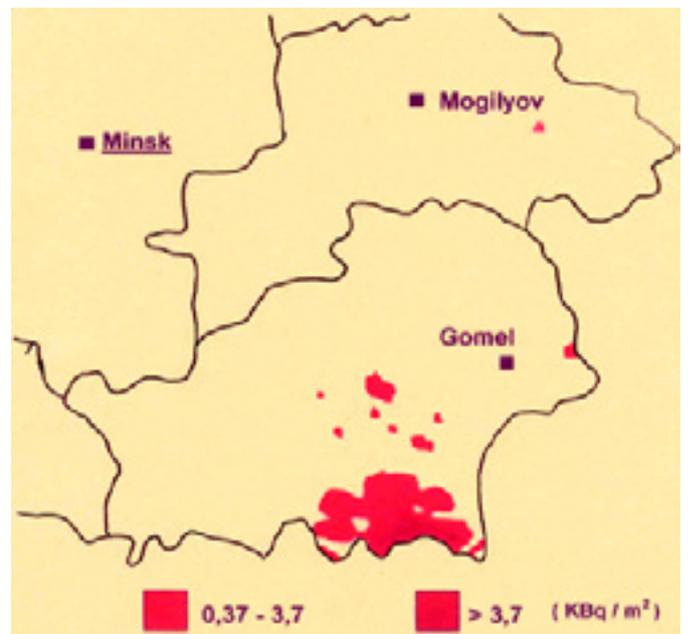
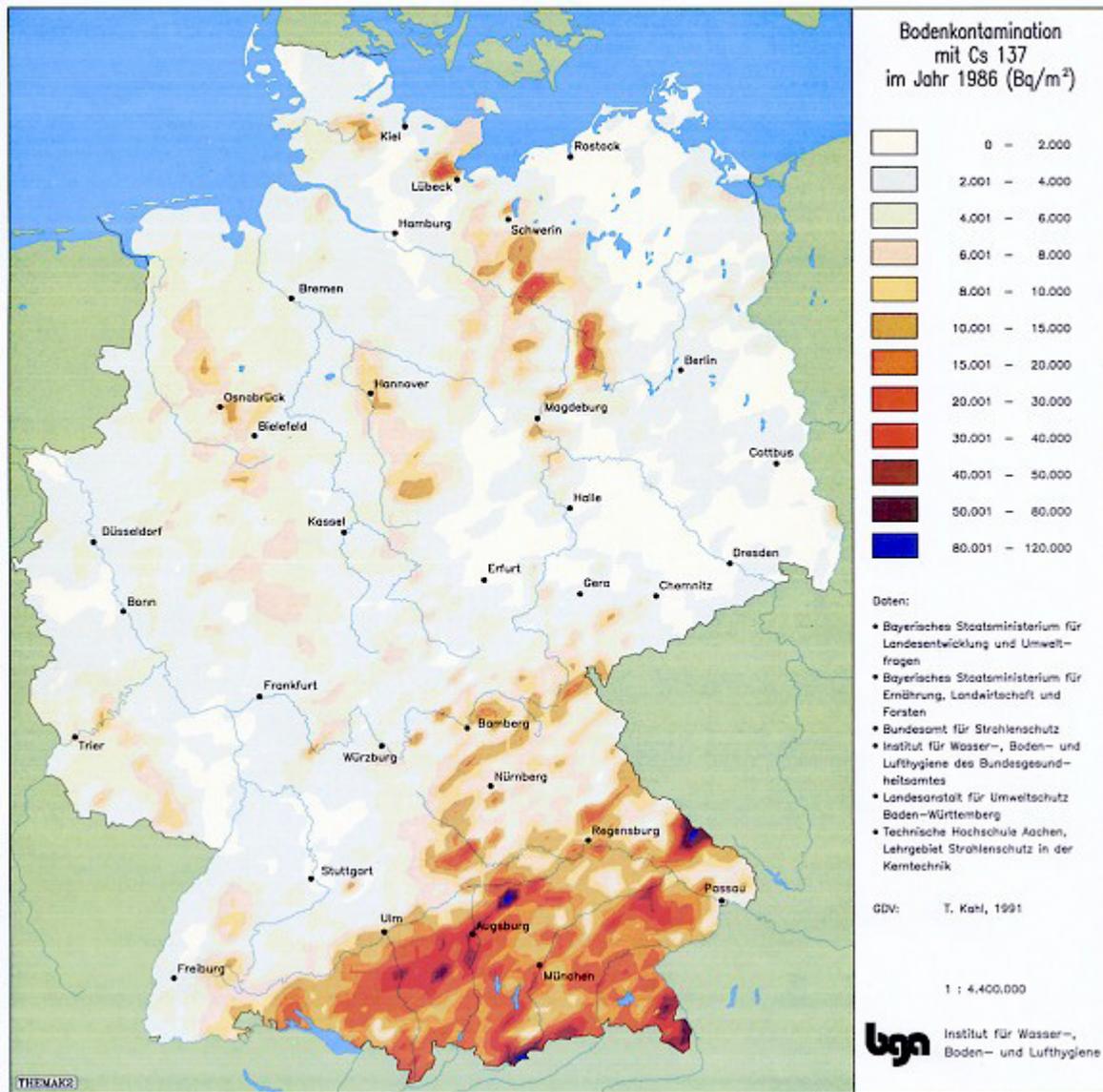


Abbildung 3-5:  
Verteilung PU 238, 239, 240

7 [http://www.tschernobylkongress.de/fileadmin/user\\_upload/Arnoldshain\\_Doku/Danilova\\_2014\\_Germany.pdf](http://www.tschernobylkongress.de/fileadmin/user_upload/Arnoldshain_Doku/Danilova_2014_Germany.pdf)



**Abbildung 3-6:**  
Die Cs137-Bodenkontamination in Deutschland

### Die Cs137 –Bodenkontamination in Deutschland<sup>8</sup>

#### Länder in Europa, die mit 37–185 kBq/m<sup>2</sup> Cs137 kontaminiert wurden:

- Schweden: **12.000 km<sup>2</sup>**
- Finnland: **11.500 km<sup>2</sup>**
- Österreich: **8.600 km<sup>2</sup>**
- Norwegen: **5.200 km<sup>2</sup>**
- Bulgarien: **4.800 km<sup>2</sup>**
- Schweiz: **1.300 km<sup>2</sup>**
- Griechenland: **1.200 km<sup>2</sup>**
- Slowenien: **300 km<sup>2</sup>**
- Italien: **300 km<sup>2</sup>**
- Moldawien: **60 km<sup>2</sup>**

In der Bundesrepublik Deutschland erfolgte die Deposition der Radionuklide mit Regenschauern, die zwischen dem 30. April und dem 5. Mai 1986 niedergingen. Etwa zwei Drittel der deponierten Aktivität stammten dabei von den Isotopen Jod-131 und Tellur-132, die mit Halbwertszeiten von nur 8 bzw. 3 Tagen relativ schnell zerfallen. Von den langlebigen Nukliden stellte Cäsium-137 mit 8% den größten Anteil der Gesamtaktivität. Die langfristige Strahlenbelastung durch den Reaktorunfall wird daher fast ausschließlich durch dieses Nuklid verursacht. In den ersten Jahren nach der Tschernobylkatastrophe betrug die radioaktive Belastung durch externe Gammastrahlung von Cäsium-Zerfallsprodukten in Bayern ca. 1 mSv/Jahr.<sup>9</sup>

<sup>8</sup> BfS: Der Reaktorunfall 1986 in Tschernobyl; [https://www.bfs.de/SharedDocs/Downloads/BfS/DE/broschueren/kt/bro-tschernobyl.pdf?\\_\\_blob=publicationFile&v=6](https://www.bfs.de/SharedDocs/Downloads/BfS/DE/broschueren/kt/bro-tschernobyl.pdf?__blob=publicationFile&v=6)

<sup>9</sup> [http://www.tschernobylkongress.de/fileadmin/user\\_upload/pdfs/ScherbVoigt\\_fehlbildungen\\_fehlende\\_geburten.pdf](http://www.tschernobylkongress.de/fileadmin/user_upload/pdfs/ScherbVoigt_fehlbildungen_fehlende_geburten.pdf)

#### 4. Abschätzung der Gesundheitsfolgen durch den Super-GAU von Tschernobyl

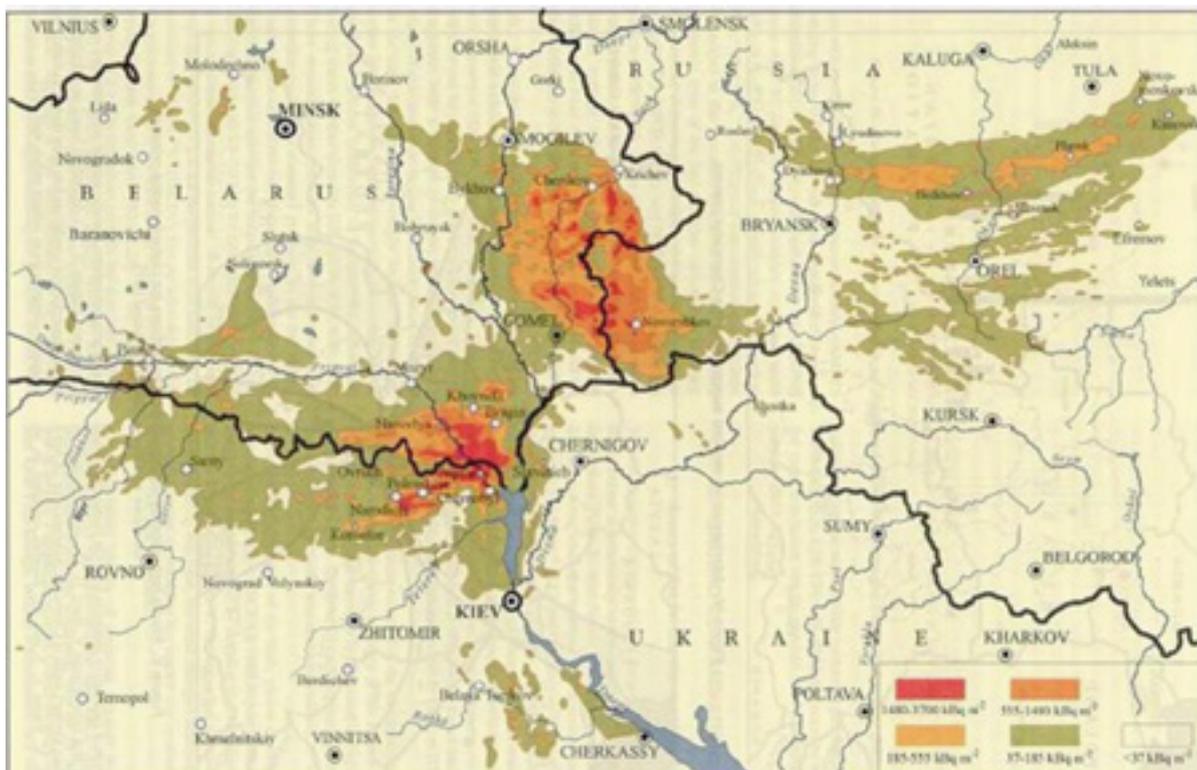
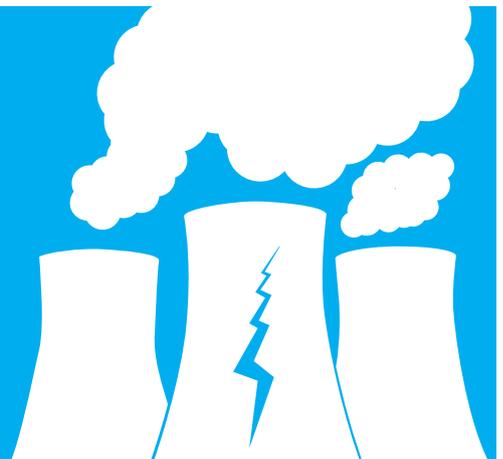


Abbildung 4-1

Ziel dieser Publikation ist es, eine möglichst umfassende Abschätzung der gesundheitlichen Folgen für die Bevölkerung durch die Atomkatastrophe von Tschernobyl zu erstellen. Wir wissen, dass die kurzfristige Einwirkung hoch dosierter ionisierender Strahlung, aber auch die langfristige Exposition mit niedrig dosierter Strahlung das Risiko zahlreicher Krankheiten, vor allem Krebs- und Herz-Kreislauf-Erkrankungen signifikant erhöht. Im Zuge der Atomkatastrophe kam es nicht nur zu einer akuten Verstrahlung von Hunderttausenden von Liquidatoren mit zum Teil sehr hohen Strahlendosen, sondern auch zur Belastung von mehreren Hunderttausenden von Evakuierten aus der sog. Todeszone und anderen schwer kontaminierten Gebie-

ten und den Millionen Bewohnern, die in stark kontaminierten Gebieten Weißrusslands, Russlands und der Ukraine lebten<sup>1</sup>.

Auch in anderen Teilen der ehemaligen Sowjetunion, Skandinaviens, Ost- und Mitteleuropas und Kleinasiens führte der radioaktive Niederschlag örtlich zu hohen Konzentrationen von radioaktivem Cäsium, Jod, Strontium und anderen strahlenden

1 A. Yaroshinskaya (2004) Verschlussache Tschernobyl , Berlin Basisdruck-GmbH, S. 148 – 149

Substanzen. Je nach täglicher Windrichtung und Regenfall kam es jeden Tag zu veränderten Kontaminationsmustern, bis das Feuer in Reaktor 4 endlich gelöscht werden konnte.

Die gesundheitlichen Folgen für die Allgemeinbevölkerung in einer solch unübersichtlichen Situation sind schwer abzuschätzen. Es gibt prinzipiell zwei Möglichkeiten:

- » die Abschätzung der zu erwartenden Erkrankungsfälle in der betroffenen Bevölkerung auf der Basis der freigesetzten Strahlenmenge
- » die Untersuchung betroffener Personengruppen und Populationen auf signifikante Steigerungen von Krankheitshäufigkeit.

Beide Methoden haben ihre Mängel und bringen logistische und technische Probleme mit sich. Auch ist bis heute nicht bekannt, wie viel radioaktives Material tatsächlich während des Super-GAU freigesetzt wurde. Hinzu kommt die systematische Geheimhaltungspolitik der Regierung der UdSSR, die es Ärzten verbot, die erkannten und behandelten Krankheiten in Zusammenhang mit der radioaktiven Kontamination zu setzen. So mussten Ärzte Diagnosen fälschen. In Ergänzung dazu erschwerte die Vertuschungspolitik der zuständigen internationalen UN-Gremien (IAEO, UNSCEAR und WHO) die Erforschung der Gesundheitsfolgen extrem.

In dieser Publikation wollen wir versuchen, anhand der wichtigsten internationalen Forschungsergebnisse die bestmögliche Abschätzung der zu erwartenden Krankheitsfälle durch die Atomkatastrophe von Tschernobyl durchzuführen und anschließend die Ergebnisse aller relevanten Studien zum Thema „Gesundheitliche Folgen von Tschernobyl“ zu analysieren und zusammenzufassen.

### Abschätzung der zu erwartenden Krankheitsfälle aufgrund der Kollektivdosis

Um eine Vorstellung davon zu bekommen, mit wie vielen zusätzlichen Erkrankungsfällen aufgrund der Atomkatastrophe von Tschernobyl zu rechnen ist, empfiehlt sich zunächst ein Blick auf die geschätzte Kollektivdosis der Allgemeinbevölkerung. Als Kollektivdosis oder kollektive Lebenszeitdosis bezeichnet man die Summe individueller Lebenszeitdosen in einer Bevölkerung.

Ist in einer Bevölkerung von 1.000 Menschen beispielsweise mit einer durchschnittlichen zusätzlichen individuellen Lebenszeitdosis durch radioaktiven Niederschlag von 100 mSv zu rechnen, ergibt sich für diese Gruppe eine Kollektivdosis von 100 Personen-Sv (PSv). Diese Dosisangaben beziehen sich auf eine durchschnittliche Lebenserwartung und beinhalten nicht die natürliche Hintergrundstrahlung (je nach Region ca. 2-4

mSv pro Jahr) oder die Strahlendosis durch medizinische Strahlendiagnostik und andere anthropogene Strahlenquellen – ausschließlich den Effekt des radioaktiven Niederschlags.

Eines der Probleme mit dieser Angabe ist das Verwischen individueller Risiken durch Durchschnittsbildung – einzelne Individuen in der Bevölkerung können je nach Lebensstil und Exposition deutlich höhere oder niedrigere individuelle Dosen erhalten oder diese deutlich schlechter oder besser abwehren – so ist die stark erhöhte Strahlenempfindlichkeit von Kindern oder Menschen mit Immundefekten gut bekannt. Dennoch stellt die Kollektivdosis ein nützliches Werkzeug zur Abschätzung von gesundheitlichen Konsequenzen und Erkrankungsrisiken für große Bevölkerungsgruppen dar. Denn multipliziert man die Kollektivdosis mit strahlenmedizinisch etablierten Risikofaktoren erhält man eine Vorstellung davon, mit wie vielen Neuerkrankungen zu rechnen ist.

Auf Grundlage von offiziellen Veröffentlichungen zu Kollektivdosen durch radioaktiven Niederschlag der Tschernobyl-Katastrophe kann so beispielweise die Anzahl der zusätzlich zu erwartenden Krebserkrankungen (Inzidenz) und der Krebstoten (Mortalität) pro Jahr errechnet werden. Problematisch ist dabei die oben bereits diskutierte Divergenz der Angaben zu Kollektivdosen durch Tschernobyl-Fallout in den einzelnen Quellen. So liegen die Schätzungen atomindustrienahe Organisationen wie UNSCEAR oder der IAEO deutlich unter den offiziellen Zahlen der sowjetischen Behörden von 1986, die die umfangreichsten Schätzungen von Strahlendosen darstellen.

## UdSSR 1986

Die Gesellschaft für Reaktorsicherheit (GRS) veröffentlichte bereits 1987 ihren Bericht „Neuere Erkenntnisse zum Unfall im Kernkraftwerk Tschernobyl“ (GRS-S-40).<sup>2</sup> Darin dokumentiert sie Informationen der Sowjetunion (UdSSR) von August 1986 über die radiologischen Auswirkungen des Unfalls in Tschernobyl.<sup>3</sup> Die Sowjetunion hat die Kollektivdosis der evakuierten Bevölkerung innerhalb der 30km-Zone (ca. 135.000 Personen) mit 16.000 PSv angegeben, wobei nur die äußere Gammastrahlung zugrunde gelegt wurde. Die von Tschernobyl betroffene Bevölkerung außerhalb der 30km-Zone (bis ca. 1.000 km) wurde auf 75 Millionen Personen beziffert. Die Kollektivdosis aufgrund der äußeren Gammastrahlung wurde für das 1. Folgejahr nach Tschernobyl mit 90.000 PSv und für einen Zeitraum von 50 Jahren mit 290.000 PSv angegeben. Die Kollektivdosis durch Ingestion von Cs-134/137 in einem Zeitraum von 70 Jah-

<sup>2</sup> Gesellschaft für Reaktorsicherheit (GRS) mbH: Neuere Erkenntnisse zum Unfall im Kernkraftwerk Tschernobyl. Stand: Oktober 1986. GRS-S-40 (Zweite Auflage, Februar 1987), S. 70.

<sup>3</sup> UdSSR State Committee on the Utilization of Atomic Energy: The Accident at the Chernobyl Nuclear Power Plant and its Consequences Working Document for the IAEA PostAccident Review Meeting. Vienna, August 1986 (Draft).

ren wurde mit 2.100.000 PSv beziffert. Die UdSSR hat die Kollektivdosis durch den Unfall in Tschernobyl folglich mit insgesamt 2,4 Mio. PSv angegeben, wobei auch hier nur ein Teil der tatsächlich betroffenen Bevölkerung abgebildet ist, da sich auch jenseits der 1.000 Kilometer radioaktiver Niederschlag ereignete, beispielsweise in Süddeutschland.

### Cardis et al. 1996

Das WHO-Forscherteam um Elizabeth Cardis beschränkte ihre Studie auf die stark kontaminierte Tschernobyl-Region (Weißrussland, Ukraine, Russland) und die Liquidatoren.<sup>4</sup> Für 200.000 Liquidatoren wird eine Kollektivdosis von 20.000 PSv für die ersten zehn Jahre nach Tschernobyl bis 1995 angegeben. Für die 135.000 Evakuierten werden 1.600 PSv genannt. Die Kollektivdosis für 270.000 Personen in hochgradig kontaminierten Gebieten (Cs-137-Bodenkonzentration >555 kBq/m<sup>2</sup>) geben Cardis et al. mit 10.000-20.000 PSv in zehn Jahren an. Für 6,8 Mio. Menschen in den Gebieten mit einer Cs-137-Bodenkonzentration zwischen 37 und 555 kBq/m<sup>2</sup> wird eine Kollektivdosis von 35.000 bis 100.000 PSv für die Zeit bis 1995 genannt. Insgesamt summieren sich die Dosen dieser vier Bevölkerungsgruppen somit auf eine Kollektivdosis von rund 67.000 bis 142.000 für die ersten zehn Jahre der Atomkatastrophe. Für die Ermittlung der Lebenszeitdosis müssen die genannten Werte laut Cardis et al. um jeweils 50% erhöht werden.<sup>5</sup> Die Lebenszeitdosis bis 2056 würde dann insgesamt im Bereich von knapp 100.000 bis rund 212.000 PSv liegen.

### Bennett 1995/1996

Der langjährige Sekretär des Wissenschaftlichen Ausschusses der Vereinten Nationen zur Untersuchung der Auswirkungen der atomaren Strahlung (UNSCEAR), Burton Bennett, veröffentlichte 1995/1996 eine Studie über die radioaktiven Freisetzungen in Tschernobyl<sup>6</sup> und eine Abschätzung weltweiter Strahlendosen.<sup>7</sup>

Bennett gibt die weltweite Kollektivdosis mit 600.000 PSv an. Davon seien zu 36% die Bevölkerungen in Weißrussland, der Ukraine und Russland, zu 53% die Bevölkerung im restlichen Europa und zu 11% die restliche Weltbevölkerung betroffen. Ian Fairlie und David Sumner orientierten sich in ihrem 2006 veröffentlichten Bericht „The other Report on Chernobyl (TORCH)“<sup>8</sup> an Bennett's Angabe von 600.000 PSv.

### US State Department of Energy (Anspaugh et al. 1988)

Das US State Department of Energy bezifferte die Kollektivdosis für die Ukraine, Weißrussland und Russland 1988 auf 326.000 PSv.<sup>9</sup> Für das übrige Europa wird eine Kollektivdosis von 580.000 PSv angegeben. Für die restliche Welt wird die Kollektivdosis von 28.000 PSv ausgewiesen. Insgesamt ergibt sich eine Kollektivdosis von 934.000 PSv.

### UN Chernobyl Forum 2005

Das sogenannte „UN Chernobyl Forum“ der Internationalen Atomenergie Organisation (IAEO) und der Weltgesundheitsorganisation (WHO) machte 2005 kaum brauchbare Angaben zu den Kollektivdosen aufgrund von Tschernobyl.<sup>10</sup> IAEO und WHO nannten lediglich 55.000 Personen-Sievert (PSv) als Kollektivdosis in Weißrussland, der Ukraine und Russland. Das übrige Europa sowie den Rest der nördlichen Hemisphäre klammerten sie vollständig aus. Außerdem beschränkten sie ihre Abschätzung der Kollektivdosis auf einen Zeitraum von lediglich 20 Jahren (bis 2006), machten also keine Angaben zur Lebenszeitdosis. Die Untersuchung ist somit nicht geeignet, die Folgen von Tschernobyl umfassend abzuschätzen.

### UNSCEAR-Report 2013

Der Wissenschaftliche Ausschuss der Vereinten Nationen zur Untersuchung der Auswirkungen der atomaren Strahlung macht in seinem Bericht von 2013 Angaben zu den Kollektiv-

4 Cardis E, Anspaugh L, Ivanov VK, Likhtarev K, Mabuchi AE, Okeanov AE, Prisyazhniuk K (1996): Estimated Long Term Health Effects of the Chernobyl Accident. In: Proceedings of an IAEA Conference One Decade after Chernobyl: Summing up the Consequences of the Accident. Vienna, 8-12 April 1996. S. 241- 271 (Tabelle 1).

5 Vgl. Ian Fairlie, David Sumner: The other Report on Chernobyl (TORCH). Berlin, Brussels, Kiev, April 2006. S. 62.

6 Bennett B (1995) Exposures from Worldwide Releases of Radionuclides. In Proceedings of an International Atomic Energy Agency Symposium on the Environmental Impact of Radioactive Releases. Vienna, May 1995. IAEA-SM-339/185.

7 Bennett B (1996) Assessment by UNSCEAR of Worldwide Doses from the Chernobyl Accident in Proceedings of an IAEA Conference One Decade after Chernobyl: Summing up the Consequences of the Accident, Vienna, 8-12 April 1996.

8 Ian Fairlie, David Sumner: The other Report on Chernobyl (TORCH). Berlin, Brussels, Kiev, April 2006.

9 Anspaugh LR, Catlin RJ, and Goldman M (1988) The Global Impact of the Chernobyl Reactor Accident. Science 242. pp 1513-1519.

10 IAEA/WHO Health Effects of the Chernobyl Accident and Special Health Care Programmes. Report of the UN Chernobyl Forum Expert Group „Health“ (EGH) Working draft, July 26 2005. IAEA/WHO Environmental Consequences of the Chernobyl Accident and their Remediation. Report of the UN Chernobyl Forum Expert Group „Environment“ (EGE) Working draft, August 2005

dosen in ganz Europa.<sup>11</sup> Die Lebenszeitdosis aller Betroffener wird von UNSCEAR mit 400.000 PSv angegeben, wobei 140.000 PSv allein auf die absorbierte Schilddrüsendosis zurückzuführen sei.

Für die Berechnung der zu erwartenden Krebsfälle ist die Frage der anzuwendenden Risikofaktoren von erheblicher Bedeutung. Wir verwenden die international anerkannten Risikofaktoren des BEIR VII-Berichts, allerdings ohne den nicht mehr zeitgemäßen Dosis-Reduktionsfaktor DDREF (dose and dose rate effectiveness factor). Bezüglich der Inzidenz, also des Neuauftretens von Krebsfällen in einer strahlenexponierten Bevölkerung, ist somit von 0,2 zusätzlichen Krebsfällen pro Personen-Sievert Kollektivdosis auszugehen (Konfidenzintervall 0,09-0,35).<sup>12</sup> Auch die WHO geht in ihrem Fukushima-Bericht von 2013 mittlerweile von einem Risikofaktor von 0,2/PSv für die Krebsinzidenz aus.<sup>13</sup> Der Risikofaktor für Mortalität ist dabei etwa halb so groß (0,1/PSv, Konfidenzintervall 0,05-0,19). Neuere Studien legen nahe, dass die Risikofaktoren vermutlich noch immer zu niedrig sind.<sup>14</sup>

Es zeigt sich, dass die offiziellen Angaben der UdSSR aus dem Jahr 1986 mit 2,4 Mio. PSv alle späteren offiziellen Angaben zu Kollektivdosen bei weitem übersteigen – und, wie oben erwähnt, auch nicht die Gesamtheit aller Betroffenen Populationen umschließen.

Unabhängig davon, welcher Quelle man den größten Glauben schenkt, steht eines fest: Die Angabe der Internationalen Atomenergie Organisation von lediglich 4.000 Toten als Folge von Tschernobyl stellt eine gravierende Unterschätzung und einen unverhohlenen Versuch der Atomlobby dar, die Folgen von Tschernobyl kleinzurechnen. Es wird zudem deutlich, dass die Anzahl der zu erwartenden tschernobylbedingten Krebserkrankungen bei einigen Zehntausend, allerdings auch bei rund 850.000 liegen kann. Entsprechend schwanken die erwarteten Krebstodesfälle zwischen einigen Zehntausend und einer halben Million.

Aus Studien der Überlebenden von Hiroshima und Nagasaki und Metaanalysen von Krankheitsdaten strahlenexponierter Bevölkerungsgruppen wird zudem deutlich, dass das Risiko für strahleninduzierte zerebro- und kardiovaskuläre Erkrankungen wie Herzinfarkte oder Schlaganfälle ähnlich hoch zu sein scheint, wie das für Krebserkrankungen.<sup>15 16</sup> Somit wäre eine ungefähr ähnlich hohe Zahl an Herz-Kreislauf-Erkrankungen in der verstrahlten Bevölkerung zu erwarten, wie Krebserkrankungen. Hinzu kommen noch neurologische, autoimmunologische, endokrinologische, psychiatrische und genetische Erkrankungen, die nachweislich ebenfalls mit Strahlenexposition assoziiert sind, für die aber noch keine zuverlässigen Risikofaktoren bekannt sind. Es wird somit klar, dass die Berechnung der zu erwartenden Krebserkrankungen anhand der Abschätzungen von Kollektivdosen und unter Verwendung gängiger Risikofaktoren nur einen Teil der tatsächlichen Morbiditäts- und Mortalitätslast der betroffenen Bevölkerung wiedergibt. Umfangreiche epidemiologische Untersuchungen der verstrahlten Populationen sind notwendig, um eine bessere Abschätzung der gesundheitlichen Auswirkungen der Atomkatastrophe von Tschernobyl zu ermöglichen. Im Folgenden soll daher ein Überblick über die relevantesten Forschungsergebnisse aus diesem Feld gegeben werden.

11 UNSCEAR, „Sources, effects and risks of ionizing radiation – UNSCEAR 2013 Report; Volume I – Report to the General Assembly – Scientific Annex A: Levels and effects of radiation exposure due to the nuclear accident after the 2011 great east-Japan earthquake and tsunami“. 02.04.14, S. 9. [www.unscear.org/docs/reports/2013/13-85418\\_Report\\_2013\\_Annex\\_A.pdf](http://www.unscear.org/docs/reports/2013/13-85418_Report_2013_Annex_A.pdf)

12 National Academy of Sciences Advisory Committee on the Biological Effects of Ionizing Radiation (BEIR). „BEIR VII report, phase 2: Health risks from exposure to low levels of ionizing radiation“. 2006, S. 279, Tabelle 12.5. [www.nap.edu/openbook.php?record\\_id=11340&page=8](http://www.nap.edu/openbook.php?record_id=11340&page=8)

13 WHO. „Global report on Fukushima nuclear accident details health risks“. 28.02.13. [www.who.int/mediacentre/news/releases/2013/fukushima\\_report\\_2013022](http://www.who.int/mediacentre/news/releases/2013/fukushima_report_2013022)

14 IPPNW: Gefahren ionisierender Strahlung. Ergebnisse des Ulmer Expertentreffens vom 19. Oktober 2013. IPPNW-Informationen. Januar 2014. S. 3

15 Little MP, Azizova TV, Bazyka D, Bouffler SD et al.: 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.* 2012, 120, 1503-1511

16 Shimizu Y, Kodama K, Nishi N, Kasagi F et al.: Radiation exposure and circulatory disease risk: Hiroshima and Nagasaki atomic bomb survivor data, 1950-2003. *BMJ* 2010, 340, b5349

**Tschernobyl: Kollektivdosen, Krebserkrankungen und Krebstodesfälle**

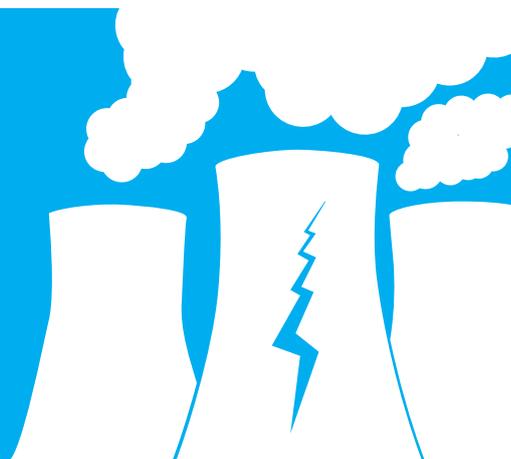
Quelle, Kollektiv	Betroffene [Anz.]	Kollektivdosis [PSv]	Zu erwartende Krebserkrankungen (Inzidenz) und Krebstodesfälle (Mortalität)			
			Inzidenz		Mortalität	
<b>Risikofaktoren nach BEIR VII</b>			0,09	0,35	0,05	0,19
<b>IAEA/WHO 2005</b>						
Ukraine, Belarus, Russland		55.000	4.950	19.250	2.750	10.450
<b>Cardis et al 1996</b> (Zahlenangaben gemittelt u. für Zeitspanne 1986 - 2056)						
Liquidatoren (1986-1987)	200.000	30.000	2.700	10.500	1.500	5.700
Evakuierte	135.000	2.400	216	840	120	456
Ukraine, Belarus, Russland						
Gebiete mit Cs-137 > 555 kBq/m <sup>2</sup>	270.000	22.500	2.025	7.875	1.125	4.275
Gebiete mit Cs-137 > 37-555 kBq/m <sup>2</sup>	6.800.000	101.250	9.113	35.438	5.063	19.238
<b>Summe</b>	<b>7.405.000</b>	<b>156.150</b>	<b>14.054</b>	<b>54.653</b>	<b>7.808</b>	<b>29.669</b>
<b>UNSCEAR 2013</b>						
Europa		400.000	36.000	140.000	20.000	76.000
<b>Bennett 1995, 1996 (UNSCEAR)</b>						
Russland, Belarus, Ukraine		216.000	19.440	75.600	10.800	41.040
Übriges Europa		318.000	28.620	111.300	15.900	60.420
Restliche Welt		66.000	5.940	23.100	3.300	12.540
<b>Summe</b>		<b>600.000</b>	<b>54.000</b>	<b>210.000</b>	<b>30.000</b>	<b>114.000</b>
<b>US Department of Energy (Anspaugh et al 1988)</b>						
Russland, Belarus, Ukraine		326.000	29.340	114.100	16.300	61.940
Übriges Europa		580.000	52.200	203.000	29.000	110.200
Restliche Welt		28.000	2.520	9.800	1.400	5.320
<b>Summe</b>		<b>934.000</b>	<b>84.060</b>	<b>326.900</b>	<b>46.700</b>	<b>177.460</b>
<b>UdSSR 1986 (GRS-S-40, 1987, S. 70)</b>						
Evakuierte (nur äußere Strahlung)	135.000	16.000	1.440	5.600	800	3.040
Übrige Bevölkerung bis ca. 1000 km Entf.	75.000.000					
a) durch äußere Strahlung		290.000	26.100	101.500	14.500	55.100
b) Ingestion (Cs-134/137)		2.100.000	189.000	735.000	105.000	399.000
<b>Summe</b>	<b>75.135.000</b>	<b>2.406.000</b>	<b>216.540</b>	<b>842.100</b>	<b>120.300</b>	<b>457.140</b>

*Dokumentation und Berechnungen: Henrik Paulitz/IPP/NW*

Tabelle 4-1:

Tschernobyl: Kollektivdosen, Krebserkrankungen und Krebstodesfälle

## 5. Gesundheitliche Folgen der Liquidatoren



*„Die zuverlässigsten Roboter waren Soldaten. Man nannte sie ‚grüne Roboter‘ – nach der Farbe ihrer Uniform. Über das Dach des zerstörten Reaktor sind 3.600 Soldaten gegangen. ... Es gab einen Moment, da die Gefahr einer thermonuklearen Explosion bestand, und man musste das ‚schwere Wasser‘ aus dem Reaktor ablassen, damit er nicht da hineinstürzte... Die Aufgabe lautete: ‚Wer taucht in das ‚schwere Wasser‘ und öffnet den Schieber des Ablassventils?‘,*

SWETLANA ALEXIJEWISCH TSCHERNOBYL –  
EINE CHRONIK DER ZUKUNFT (S. 170)

Es waren 830.000 Liquidatoren aus der gesamten Sowjetunion, die – freiwillig oder unter massivem Druck, ansatzweise informiert oder völlig ahnungslos – ihre Gesundheit und ihr Leben für die Begrenzung der Katastrophenfolgen auf Spiel setzten. Als die Roboter versagten, mussten Menschen als sog. „Bioroboter“ auf das Dach des zerstörten Reaktorgebäudes, um die radioaktiven Trümmer mit bloßen Händen aufzusammeln und ins Innere des Gebäudes zu werfen. Sie haben durch ihren Einsatz Andere vor noch schlimmeren Schäden bewahrt. Es waren Soldaten, Feuerwehrleute, Ingenieure, Bauarbeiter, Physiker, Mediziner, Elektrotechniker und Hunderttausende Rekruten der Roten Armee. Sie arbeiteten direkt am Reaktor oder in der 30-km-Todeszone. Masken, Schutzkleidung und Ausrüstung waren schlecht und stammten meist aus alten Armeebeständen. Die Betroffenen sprechen in Zeitzeugenberichten noch heute oft über einen „Krieg gegen die radioaktive Strah-

lung“, den sie führten und dass sie „für die Sowjetunion siegen sollten“.<sup>1</sup>

Die Liquidatoren selbst wurden Opfer einer Bürokratie, deren Fehlleistungen und Lügen es bis heute verhindern, die strahlenbedingten Gesundheitsschäden zu diagnostizieren, sie qualifiziert zu behandeln und die Liquidatoren sozial und finanziell zu unterstützen.

Obwohl schon kurz nach Beginn der Katastrophe in Moskau, Obninsk, Minsk und Kiew Behandlungs- und Forschungszentren für Liquidatoren aufgebaut wurden, wurde nur etwa ein Drittel der Betroffenen dort registriert, langfristig beobachtet und untersucht. Individuelle Strahlendosen sind für die Liquidatoren nicht bekannt. Der Großteil der Liquidatoren waren junge Rekruten der Roten Armee aus allen Teilen der Sowjetunion – von Estland oder Georgien bis Kirgisien und Sibirien – und wurden nach ihrem Einsatz in ihre Heimat zurückgeschickt. So fielen sie aus den Langzeitbeobachtungen heraus.

### 5.1. Mortalität unter Liquidatoren

Yablokov schätzt aufgrund verschiedener Studien, dass bis 2005 schon 112.000–125.000 Liquidatoren gestorben waren.<sup>2</sup> Übereinstimmend nennen russische und ukrainische Untersuchungen nichtmaligne Erkrankungen und schwere Multimorbidität als Hauptursache für den Tod der Liquidatoren. Erst an zweiter Stelle folgen als Todesursache Krebserkrankungen. Ho-

<sup>1</sup> Zeitzeugen berichten von Liquidatoren z.B. in S. Alexijewitsch (1997) Tschernobyl: Eine Chronik der Zukunft; Igor Kostin (2006: Tschernobyl: Nahaufnahme)

<sup>2</sup> Yablokov, AV (2009): Mortality after the Chernobyl Accident, in: Ann N Y AcadSci, 2009 Nov;1181:192-216.

Horishna untersuchte 2005 die Mortalität bei männlichen ukrainischen Liquidatoren und fand, dass sich diese zwischen 1989 und 2004 um mehr als das Fünffache erhöht hatte: von 300 auf 1.660 pro 100.000, verglichen mit einem Anstieg der Todesrate im selben Zeitraum von 410 auf 600 pro 100.000 bei der normalen männlichen Bevölkerung.<sup>3</sup>

## 5.2. Krebserkrankungen

Zahlreiche Studien der letzten Jahre zeigen erhöhte Krebsraten in der Population der Tschernobyl-Liquidatoren: Okeanov fand 2004 bei den 71.840 im Nationalen Belarussischen Krebsregister erfassten Liquidatoren ein signifikant erhöhtes Risiko für alle Krebserkrankungen im Vergleich zur Bevölkerung in der am wenigsten kontaminierten Region, Vitebsk.<sup>4</sup> Dies betraf vor allem Nieren-, Blasen- und Schilddrüsenkrebs.

Kesmiene et al. wiesen 2008 in einer Fall-Kontroll-Studie ein erhöhtes Krebsrisiko für Leukämie und Non-Hodgkin Lymphom nach.<sup>5</sup> Die selbe Forschungsgruppe wies 2012 in einer weiteren Fall-Kontroll-Studie bei Liquidatoren aus Russland, Weißrussland und den baltischen Ländern ebenfalls ein erhöhtes Risiko für Schilddrüsenkrebs nach.<sup>6</sup> Zablotska et al. wiesen in einer Fall-Kontroll-Studie von 2013 an 110.645 ukrainischen Liquidatoren auch für die chronisch lymphatische Leukämie (CLL) eine signifikante Assoziation zur Strahlenexposition nach.<sup>7</sup>

Das ukrainische Gesundheitsministerium erklärte im Jahre 2002, dass der Anteil der als krank anerkannten Liquidatoren von 1987 bis 2002 von 21,8 Prozent auf 92,7 Prozent angestiegen sei.<sup>8</sup>

## 5.3. Nichtkrebserkrankungen

Die bei Liquidatoren am häufigsten vorkommenden Erkrankungen umfassen Schlaganfälle und Herzinfarkte, Erkrankungen des Magen-Darm-Trakts, Hormonstörungen, Krankheiten des zentralen und peripheren Nervensystems, der

Atmungsorgane und des muskulo-skeletalen Systems.<sup>9</sup> Dies geht aus Untersuchungen einer Kohorte von 68.145 männlichen Liquidatoren aus dem Staatlichen Register der Ukraine hervor. Die Liquidatoren hatten zwischen 1986 und 1987 in der Todeszone gearbeitet und eine durchschnittliche Strahlendosis von 146 mGy erhalten (von 50 bis 700 mGy). In dieser Studie wurde zudem ein hoher Grad an Invalidität beschrieben. Für bestimmte Erkrankungen wurde eine signifikante Dosis-Wirkungs-Beziehung gefunden: Hypothyreodismus, Thyreoditis, zerebrovaskuläre Erkrankungen und Erkrankungen des zentralen und peripheren Nervensystems.

Yarilin hat eine Übersicht zusammengestellt, wie sich die Inzidenz von 12 Erkrankungsgruppen bei Liquidatoren verändert hat<sup>10</sup> (siehe Tabelle 5-1 auf der nächsten Seite).

Auf einige der relevantesten Nicht-Krebserkrankungen soll im Folgenden detaillierter eingegangen werden.

## 5.4. Herz-Kreislaufkrankungen

Eine Untersuchung der Weltgesundheitsorganisation WHO hatte schon 1996 bei Liquidatoren in der Russischen Föderation eine signifikante Zunahme von Herz-Kreislauf-Erkrankungen festgestellt.<sup>11</sup> Ivanov fand 1999 bei den russischen Liquidatoren ebenfalls ein um 40% erhöhtes Risiko für Herz-Kreislauf-Erkrankungen.<sup>12</sup>

Lazyuk untersuchte 2005 kardiovaskuläre Erkrankungen bei weißrussischen Liquidatoren. Seine Studien zeigten im Beobachtungszeitraum von 1992 bis 1997 einen starken Anstieg der Inzidenz kardiovaskulärer Erkrankungen mit tödlichem Ausgang unter den Liquidatoren (22,1 Prozent) im Vergleich zur restlichen Bevölkerung (2,5 Prozent). Als Ursache wird eine Schädigung der Blutgefäße durch Strahlung diskutiert.<sup>13</sup>

Ivanov fand zudem ein erhöhtes Risiko für Schlaganfälle, besonders bei denjenigen, die 150 mSv in weniger als sechs Mo-

3 Horishna, O.V. Chernobyl Catastrophe and Public Health Results of Scientific Investigation, in: Yablokov, AV (2009): Mortality after the Chernobyl Accident, in: Ann N Y AcadSci, 2009 Nov;1181:192-216.

4 A. Okeanov (2004): A National Cancer Registry to assess after the Chernobyl accident; in: Swiss Med Weekly, 2004;134: 645 – 649

5 Kesmiene et al (2008): Risk of hematological malignancies among Chernobyl liquidators; in: Radiat Res 2008 December; 170(6): 721–735

6 Zablotska, Lydia b. et al: Environ. Health Perspect. 121:59–65 (2013)

7 Zablotska et al. (2013): Radiation and the risk of Chronic Lymphocytic and Other Leukemias Chernobyl Cleanup workers; in: EPH Volume 121 Number1 January 2013

8 Nucleonics Week, May 2, 2002. Wiedergegeben nach Oda Becker, Helmut Hirsch 2004: 18 Jahre nach Tschernobyl, Sanierung des Sarkophags, Wettlauf mit der Zeit, Herausgegeben von Greenpeace e.V. Hamburg im April 2004.

9 Tereshchenko, V.M. et al (2002) Epidemiologic researches of disability and mortality dynamics in the participants of Chernobyl NPP accident liquidation: Issue 39, p.165 -167 (nach Greenpeace 2006)

10 A.A. Yarilin: Immunological Disturbances ...; in: Chernobyl Catastrophe Consequences: Human Health, Moskow, 1996, p. 68-96, russ. Zit. In: Burlakova et al.: Peculiarities of Biological Action of Low Irradiation Doses and their Probable Relation to the Health Status of Participants of Chernobyl Accident Liquidation; in: Imanaka (ed.): KURRI-KR-21, 1998, s. 223-234.

11 The Radiological Consequences of the Chernobyl Accident, European Commission and Belarus, Russian and Ukrainian Ministries on Chernobyl Affairs, Emergency Situation and Health, Report EUR 16544 EN, 1996.

12 Ivanov, V. K. et al. Radiation-epidemiological analysis of the incidence of non-cancer diseases among Chernobyl liquidators, in: „Radiation & Risk“, 1999, Issue 11

13 Dimitri Lazyuk: Cardiovascular Diseases among Liquidators and Populations; PSR/IPPNW-Schweiz-Kongress „Gesundheit der Liquidatoren“ in Bern, 12. November 2005.

Erkrankungs-Organgruppe	1986	1987	1988	1989	1990	1991	1992	1993
<b>Infektionen und Parasiten</b>	36	96	197	276	325	360	388	414
<b>Neubildungen</b>	20	76	180	297	393	499	564	621
<b>Bösartige Neubildungen</b>	13	24	40	62	85	119	159	184
<b>Endokrines Sytem</b>	96	335	764	1.340	2.020	2.850	3.740	4.300
<b>Blut und blutbildende Organe</b>	15	44	96	140	191	220	226	218
<b>Psychische Veränderungen</b>	621	9.487	1.580	2.550	3.380	3.930	4.540	4.930
<b>Nervensystem und Sinnesorgane</b>	232	790	1.810	2.880	4.100	5.850	8.110	9.890
<b>Kreislauf</b>	183	537	1.150	1.910	2.450	3.090	3.770	4.250
<b>Atmungssystem</b>	645	1.770	3.730	5.630	6.390	6.950	7.010	7.110
<b>Verdauungsorgane</b>	82	487	1.270	2.350	3.210	4.200	5.290	6.100
<b>Urogenitalsystem</b>	34	112	253	424	646	903	1.180	1.410
<b>Haut- und Unterhautgewebe</b>	46	160	365	556	686	747	756	726

**Tabelle 5-1:**

Inzidenz von 12 Erkrankungsgruppen bei Liquidatoren (auf 100.000 Personen)

naten erhalten haben.<sup>14</sup> Ivanov stellte eine Relation zwischen dem Sterberisiko und der erhaltenen Strahlendosis bei russischen Liquidatoren fest. Bei einer Kohorte von 47.820 Personen, die eine mittlere Strahlenbelastung von 128 mGy erhalten hatten, fand er ein signifikant erhöhtes Sterberisiko. Das zusätzliche relative Risiko (ERR) an einem soliden Tumor zu sterben betrug 0,74/Gy und das ERR an Herz-Kreislaufkrankungen zu sterben 1,01/Gy. Für alle Todesursachen zusammen fand er ein ERR von 0,42/Gy.<sup>15</sup>

## 5.5. Augenerkrankungen

Fedirko vom Forschungszentrum für Strahlenmedizin der Akademie der Medizinischen Wissenschaften der Ukraine berichtete, dass 95 Prozent der von ihm untersuchten 5.200 Liquidatoren unter Augenerkrankungen litten – unter anderem an Katarakten, Macula-Degeneration und chronischer Konjunktivitis<sup>16</sup>. Eine neuere Arbeit von Chumak et al. aus dem Jahr 2013, die 8.607 ukrainische Liquidatoren untersuchte, macht genauere Abschätzungen zu Dosimetrie und dem Auftreten der Linsentrübungen.<sup>17</sup>

14 V.K. Ivanov et al. (2009): Mortality of the Chernobyl Emergency Workers: Analysis of Dose Response by Cohort Studies Covering Follow-Up Period of 1992–2006; in: Radiation Health Risk Sciences, 2009, Part 4, S. 95 -102

15 Die für das Kollektivdosis-konzept angewandten Risikofaktoren beschreiben die Wahrscheinlichkeit, dass über die Rate an spontanen Krebs-erkrankungen hinaus zusätzliche Krankheitsfälle auftreten. Üblicherweise wird das absolute Risiko (excess absolute risk, EAR) in der Einheit 1/Sv angegeben. Ein Risikofaktor (EAR) für die Mortalität von 0,2/Sv bedeutet bei einer Bestrahlung mit 1 Sievert ein zusätzliches Risiko von 20 %, an Krebs zu sterben – zusätzlich also zum Grundrisiko von ca. 25 %. Dies würde einem zusätzlichen relativen Risiko (excess relative risk, ERR) von 0,2/0,25=0,8/Sv entsprechen.

16 Pavel Fedirko: Eye Diseases among Liquidators: Lesions of Fundus and Macula, Vitreous and Lens; PSR/IPPNW-Kongress „Gesundheit der Liquidatoren“ in Bern, 12.11.2005.

17 Chumak, VV et al. (2013): Dosimetry for a study of low-dose radiation cataracts among Chernobyl clean-up workers. in: Radiat. Res. 2007 May; 167(5): 606-14.

## 5.6. Psychische Erkrankungen

Ein unter Liquidatoren besonders häufig anzutreffender Symptomenkomplex ist das Chronic Fatigue Syndrom (CFS). Für 26 Prozent der Menschen mit einer Strahlenbelastung von weniger als 300 mSv treffen laut dem ukrainischen Hirnforscher Loganovsky die diagnostischen Kriterien von CFS zu. Loganovsky hat eine Übersicht zu den Hirnschädigungen erstellt, die bei allen strahlenbelasteten Gruppen in der Ukraine gefunden wurden: den Liquidatoren, den Evakuierten, den verstrahlten Kindern und den Kindern der Liquidatoren bzw. der hoch belasteten Bevölkerung. Er fand, dass Dosen von 250 mSv und mehr sowohl direkt Schäden in Hirnnervenzellen hinterließen als auch Hirngefäßschäden verursachten, die Schlaganfälle auslösen können. Die Liquidatoren leiden unter ausgeprägten Aufmerksamkeitsdefiziten, Vergesslichkeit, auffälliger Müdigkeit und schneller mentalen Erschöpfbarkeit.

Malova vom Moskauer Zentrum für Strahlenerkrankungen und dort speziell für Liquidatoren zuständig, erklärte: „Unsere Theorie ist, dass auf irgendeine Weise die Blutzufuhr zum Gehirn verringert wurde und möglicherweise noch verringert ist.“ Diese Erkrankungen sind bei Liquidatoren signifikant häufiger als bei der restlichen Bevölkerung.<sup>18</sup>

Loganovsky und Flor-Henry beobachteten eine Zunahme von zerebrovaskulären Erkrankungen, Schizophrenie und chronischer Müdigkeit bei den Liquidatoren. Korrespondierend fanden sie EEG-Veränderungen der linken Großhirnhemisphäre sowie linksseitige Hirnrindenveränderungen im MRT.<sup>19</sup>

Um die psychischen Veränderungen bei Liquidatoren weiter zu spezifizieren, führte Loganovsky eine vergleichende Studie an Liquidatoren, Afghanistan-Veteranen mit PTBS und gesunden Personen durch. Bei den Liquidatoren konnte er somatosensorisch-evozierte Potentiale (SSEP) nachweisen, die klinisch mit Parästhesien und allgemeinen Störungen von Sinnesempfindungen wie bei Hirnschädigungen einhergehen. Diese Befunde waren bei den Afghanistan-Veteranen und den gesunden Probanden nicht nachzuweisen.<sup>20</sup>

Zhavoronkova vom Neurophysiologischen Institut der Russischen Akademie der Wissenschaften und Kholodova vom

Radiologischen Institut des Ministeriums für Public Health fanden in einer neuropsychologischen Studie Schädigungen der höheren geistigen und seelischen Funktionen bei Liquidatoren: Verlangsamung des Denkens, erhöhte Müdigkeit, ein Nachlassen visueller und verbaler Gedächtnisfunktionen und eine Reduktion höherer motorischer Funktionen. Die Befunde glichen denen von deutlich älteren Personen, so dass von einem Prozess des vorzeitigen Alterung gesprochen werden kann.<sup>21</sup>

## 5.7. Vorzeitige Alterungsprozesse

Viele Studien aus Russland, Weißrussland und aus der Ukraine legen nahe, dass radioaktive Strahlung den Alterungsprozess erheblich beschleunigen kann. In einer Übersichtsarbeit von 2006 wiesen die ukrainischen Forscher Bebeschko et al. nach, dass der durch ionisierende Strahlung beschleunigte Alterungsprozess ein Modell für den normalen Alterungsprozess darstellen könnte:

„Ionisierende Strahlung beeinflusst sowohl die Zellstruktur als auch die Zellfunktion, auf der molekularen und der genetischen Ebene. Die Auswirkungen ionisierender Strahlung auf die Zelle und die zellulären Veränderungen während des normalen Alterungsprozesses funktionieren mit gleichen bzw. ähnlichen biologischen Mechanismen: Reaktionen freier Radikale, Reparaturprozesse der DNS, Änderung der Immunfunktion, veränderte Mechanismen im Fettstoffwechsel, systemische Veränderungen im zentralen Nervensystem.“<sup>22</sup>

In Forschungsarbeiten an Liquidatoren aus Russland, Weißrussland und der Ukraine wurde ebenfalls festgestellt, dass Krankheiten, die normalerweise dem Alterungsprozess zuzuordnen sind bei diesen Menschen etwa 10 bis 15 Jahre früher auftraten.<sup>23</sup> Es handelte sich hierbei um:

- » Beschleunigte Alterung der Blutgefäße, besonders im Gehirn und in den Herzkranzgefäßen<sup>24</sup>

18 Julia V. Malova, Russian Scientific Centre of Radiology, Psychological Rehabilitation, Moscow, 18. UICC International Cancer Congress Oslo 2002, Abstract No. O 183: Cancer patients – the participants of the liquidation of the consequences of the Chernobyl explosion: the aims and the recourses of the psychological rehabilitation. Strahlentelex 374-375/2002, S. 9, Verminderte Hirnfunktionen bei Katastrophenhelfern. Die tageszeitung (taz) vom 16. Juli 2002.

19 P. Flor-Henry: Radiation and the Left Hemisphere: Increased Incidence of Schizophrenia and Chronic fatigue Syndrome (CFS) in Exposed Populations in Chernobyl, Hiroshima and Nagasaki, PSR/IIPNW-Kongress“Gesundheit der Liquidatoren“ in Bern, 12.11.2005

20 Human Physiology, Vol. 29, No. 1, 2003, pp. 110–117. Translated from Fiziologiya Cheloveka, Vol. 29, No. 1, 2003, pp. 122–130. Original Russian Text Copyright © 2003 by Loganovsky.

21 ISSN 0362\_1197, Human Physiology, 2010, Vol. 36, No. 4, pp. 388–398. © Pleiades Publishing, Inc., 2010. Original Russian Text © L.A. Zhavoronkova, A.P. Belostocky, M.A. Koulikov, S.V. Kuptsova, N.B. Kholodova, L.B. Oknina, 2010, published in Fiziologiya Cheloveka, 2010, Vol. 36, No. 4, pp. 22–33.

22 Bebeschko, V., Bazyka, D., Loganovsky, K., Volovik, S., Kovalenko, A. et al.(2006) Does ionizing radiation accelerate the aging phenomena? International Conference. Twenty Years after Chernobyl Accident: Future Outlook. April 24 -26,2006, Kiev, Ukraine. Contributed Papers (HOLTEH, Kiev) 1:pp.13-18(//www.tesec-int.org/pdf.

23 Yablokov, A., Nesterenko, V., Nesterenko, A. (2009): Chernobyl – Consequences of the Catastrophe for People and Environment, Annals of the New York Academy of Sciences, Vol. 1181, Boston, Mass.

24 Ivanov, V., Tsyb, A. et al (2005);The radiation risks of cerebrovascular diseases among liquidators, Radiatsionnabiologiya, radioecologia / Rossiiskaiaakademianauk; VOL: 45 (3); p. 261-70 /2005 May-Jun/

- » Senile Katarakte des Auges, Sklerose der Blutgefäße des Augenhintergrunds und vorzeitige Kurzsichtigkeit<sup>25</sup>
- » Verlust der höheren intellektuellen kognitiven Funktionen infolge von Schädigung des zentralen Nervensystems<sup>26</sup>
- » Verlust der Stabilität des antioxidanten Systems (verantwortlich für Reparaturprozesse bei Chromosomenschäden in der Zelle)<sup>27</sup>

Die russische Krebsforscherin Burlakova bestrahlte Versuchstiere mit Gammastrahlung aus Zerfallsprodukten von Cäsium-137 in niedrigen Gesamtdosen von 0,0006 bis 1,2 Gray (Gy) und studierte dabei diverse biophysikalische und biochemische Parameter des Membranapparates der Zellen. Insgesamt zeigte sich dabei eine ungewöhnliche Dosisabhängigkeit: Die Dosis-Wirkungs-Beziehungen waren nicht gleichförmig, nichtlinear und von unterschiedlichem Charakter. Belastungen mit niedrigen Strahlendosen vergrößerten meist die Wirkung schädigender Faktoren. Die Wirkungen von Strahlenbelastungen hingen von den Ausgangsparametern der Gewebe ab. Innerhalb bestimmter Dosisbereiche zeigte sich fraktionierte Niedrigdosisstrahlung schädlicher als eine akute Einmalbestrahlung.

Die Untersuchungen von Burlakova et al. ergaben bei Tieren wie bei Menschen nach Bestrahlung Veränderungen der Struktur und der Eigenschaften von Zellmembranen, der Aktivität von antioxidativen und regulatorischen Enzymen und in der Konzentration von Antioxidantien. Sie bestätigte damit den sogenannten Petkau-Effekt und ging darüber hinaus. Antioxidantien wie Tocopherol, Vitamin A und Cäruoplasmin nahmen durch Strahleneinwirkung ab, freie Radikale und ihre Reaktionsprodukte nahmen hingegen zu, Membrane zeigten eine höhere Starrheit und der Flüssigkeitszustand der Lipid- und Protein-Komponenten veränderte sich. Insgesamt, so Burlakova, änderten sich die Verhältnisse nach Bestrahlung wie bei einem natürlichen Alterungsprozess. „Die Liquidatoren sind 10 bis 15 Jahre früher gealtert als die sonstige Bevölkerung. Das lässt sich auch bei Tieren zeigen und bei denen kann man nicht von einer Auswirkung von Strahlenangst oder Radiophobie sprechen.“ (siehe Abbildung 5-1)

25 Fedirko, P. (2006); Augenerkrankungen bei Aufräumarbeitern, Schädigungen des Augenhintergrunds, der Makula, des Glaskörpers und der Linse, in: [http://www.strahlentelex.de/20\\_Jahre%20\\_nach\\_Tschernobyl\\_Abstracts\\_GSS\\_Berlin-Charite\\_2006.pdf](http://www.strahlentelex.de/20_Jahre%20_nach_Tschernobyl_Abstracts_GSS_Berlin-Charite_2006.pdf)

26 D.A. Bazyka, K. M. Loganovsky et al: (2015) Gene expression, telomere and cognitive deficit analysis as a function of Chornobyl radiation dose and age: from in utero to adulthood  
Kholodova, N. (2006); Langzeitveränderungen des Nervensystems von Liquidatoren, die 1986/1987 im Einsatz waren, in: [http://www.strahlentelex.de/20\\_Jahre%20\\_nach\\_Tschernobyl\\_Abstracts\\_GSS\\_Berlin-Charite\\_2006.pdf](http://www.strahlentelex.de/20_Jahre%20_nach_Tschernobyl_Abstracts_GSS_Berlin-Charite_2006.pdf),

27 Burlakova, E. (2006): Naturwissenschaftliche Prinzipien von Schädigungen der Strahlung auf den Gesundheitszustand der Bevölkerung, in: [http://www.strahlentelex.de/20\\_Jahre%20\\_nach\\_Tschernobyl\\_Abstracts\\_GSS\\_Berlin-Charite\\_2006.pdf](http://www.strahlentelex.de/20_Jahre%20_nach_Tschernobyl_Abstracts_GSS_Berlin-Charite_2006.pdf)

## 5.8. Genetische Veränderungen bei Kindern von Liquidatoren

Stepanova et al. untersuchten Fehlbildungen bei Kindern von Liquidatoren. Die höchste Rate an Fehlbildungen trat 1987–1988 auf: 117 pro 1.000 Geburten. Danach fiel die Rate auf 83–102 pro 1.000 (1989–1991). 1992 traten 67 Fehlbildungen und von 1993–1997 zwischen 24 und 60 Fehlbildungen pro 1.000 Geburten auf.<sup>28</sup>

Ebenfalls zeigten die Kinder von Liquidatoren eine erhöhte Anzahl von Chromosomenaberration.<sup>29</sup>

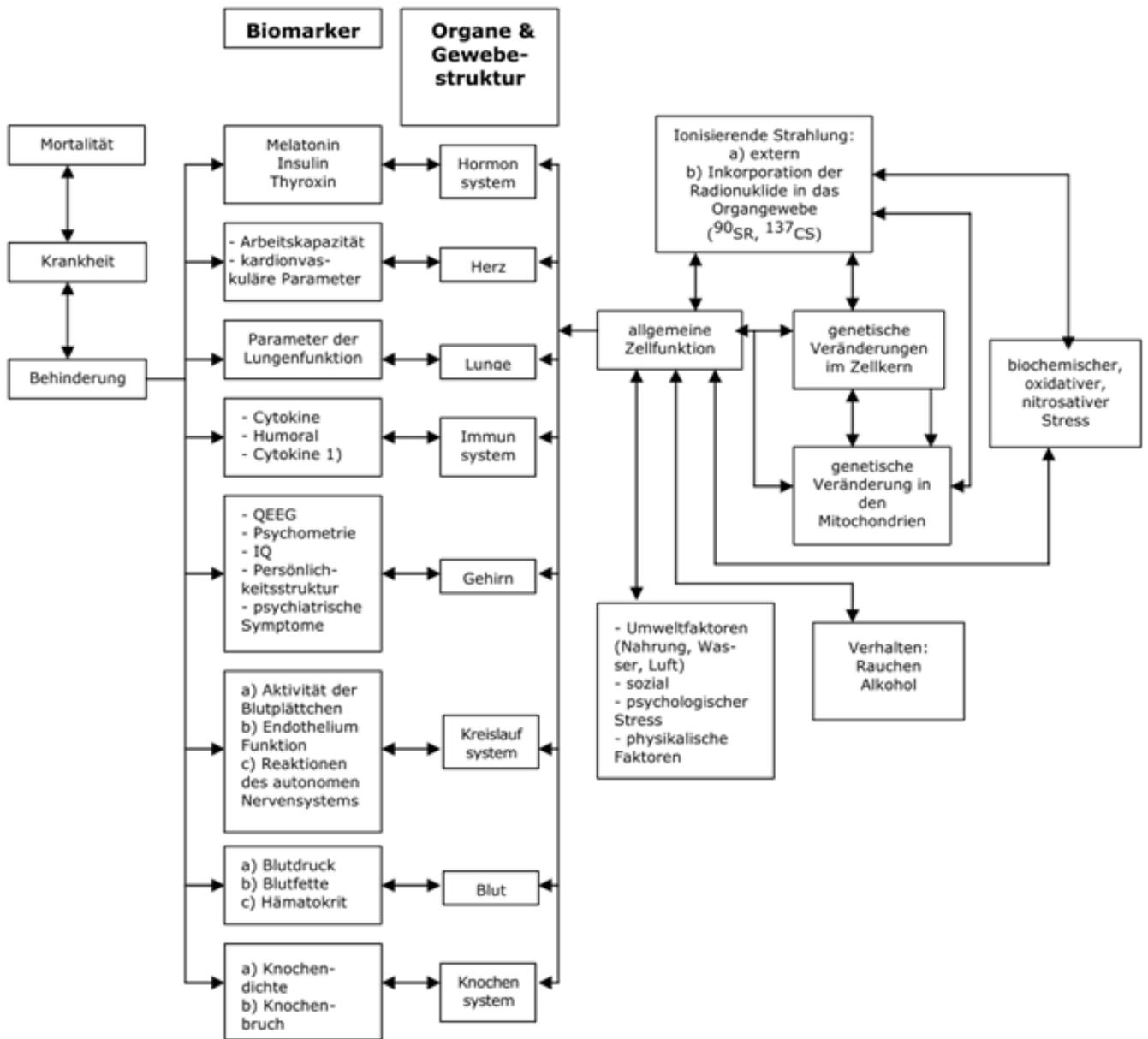
Wissenschaftler der Universität Haifa fanden im Erbgut der Kinder von Liquidatoren im Vergleich zu ihren vor Tschernobyl gezeugten Geschwistern bis zu 7-mal mehr Genmutationen. Diese Mutationen gehen zwar nicht zwangsläufig alle mit Krankheiten einher, die Häufung von Erbgutveränderungen zeigt jedoch, dass transgenerationale Effekte vorliegen. Vor allem bei Kindern, die unmittelbar nach dem Unfall gezeugt wurden, fand man eine hohe Anzahl von Mutationen. Die Väter der untersuchten Kinder hatten eine Strahlendosis von 50 bis 200 Millisievert erhalten. Das entspricht etwa der Dosis, die von Arbeitern eines Atomkraftwerkes im Laufe von 10 Jahren aufgenommen wird.

Tsyb fand einen signifikanten Anstieg der Prävalenz aller Erkrankungsklassen bei Kindern von Liquidatoren im Vergleich zu russischen Kindern aus Obninsk.<sup>30</sup> Gehäuft wurden bei Liquidatorenkindern besonders Leukämien, angeborene Fehlbildungen, endokrinologische und metabolische Erkrankungen sowie Geisteskrankheiten- und Verhaltensauffälligkeiten diagnostiziert. Auch gab es zum Teil signifikante Erhöhungen von Erkrankungen des Urogenitalsystems, des Nervensystems und der Sinnesorgane.

28 Stepanova, E. I., Skvarkaya, E. A., Vdovenko, V. J. & Kondrashova, V. G. (2004). Genetic consequences of the Chernobyl accident in children born to parents exposed to radiation. *Probl. Ecol. Med. Genetic. Clinic. Immunol. (Kiev)* 7(60): 312–320 (in Russian); nach Yablokov, 2009

29 Horishna, O. V. (2005). Chernobyl Catastrophe and Public Health: Results of Scientific Investigations (Chernobyl Children's Foundation, Kiev): 59 pp. (in Ukrainian). Zitiert nach Yablokov, 2009

30 A.F. Tsyb et al.: General characterization of health in first-generation offspring born to liquidators of the Chernobyl NPP accident consequences; *Int. J. Rad. Med.* 2004, 6(1-4):116-121.



**Abbildung 5-1:**

Die komplexen Mechanismen des vorzeitigen Alterungsprozesses nach Bebeshko/Loganovsky<sup>1</sup>

1 V. Bebeshko, D. Bazyka, K Loganovsky et al: (2006): Does Ionizing Radiation accelerate Aging phenomena? International Conference 20 years after Chernobyl Accident; zitiert aus: Jablovkov „(2009) Chernobyl-Consequences of the Catastrophe

## 6. Gesundheitsfolgen der kontaminierten Bevölkerung

Nach den Liquidatoren sind die Evakuierten und die Bewohner der stark kontaminierten Gebieten die Bevölkerungsgruppen, die im Zuge der Atomkatastrophe von Tschernobyl den höchsten Strahlendosen ausgesetzt waren und bei denen daher auch mit dem gravierendsten gesundheitlichen Konsequenzen zu rechnen ist. Wie bei den Liquidatoren muss man zum einen die strahleninduzierten Krebserkrankungen betrachten, dabei insbesondere den Schilddrüsenkrebs, aber auch die strahleninduzierten Nichtkrebserkrankungen berücksichtigen. Dies soll im Folgenden anhand ausgewählter Studienergebnisse geschehen.

### 6.1. Anstieg von Krebserkrankungen

#### 6.1.1. Schilddrüsenkrebs in der Tschernobylregion

Vor Tschernobyl war Schilddrüsenkrebs in Weißrussland, Russland und der Ukraine eine relativ seltene Krankheit. Unerwartet schnell, nur vier Jahre nach dem Super-GAU, nahm die Erkrankungsrate in den kontaminierten Regionen massiv zu. Als erstes zeigte sich schon 3 bis 4 Jahre nach dem Super-GAU ein rasanter Anstieg von Schilddrüsenkrebs bei Kindern. Den Ärztinnen fiel zudem ein besonders aggressives Wachstum des Schilddrüsenkrebses und die rasche Ausbildung von Metastasen in anderen Organen, vor allem in der Lunge, auf. Die diagnostizierten Fälle wurden histologisch fast ausschließlich als papilläre Schilddrüsenkarzinome identifiziert.

Daten der Krebsregister Weißrusslands, Russlands und der Ukraine zeigen, dass die höchsten Erkrankungsraten bei Personen vorlagen, die zum Zeitpunkt der Reaktorkatastrophe Kleinkinder

waren.<sup>1</sup> Die starke Betroffenheit von Kindern wird als deutliches Zeichen für die besondere Empfindlichkeit der Schilddrüse des Säuglings und Kleinkindes gegenüber der krebserregenden Strahlenwirkung von radioaktivem Jod gewertet. Bereits Ende 1990 war die Zahl der jährlichen Neuerkrankungen bei Kindern zwischen 0 und 18 Jahren in Weißrussland gegenüber dem Bevölkerungsdurchschnitt vor 1986 um das 5-fache erhöht. Statt 7 Fällen pro 100.000 (jährliche Inzidenz von Schilddrüsenkrebs in Gomel 1973-1985) fand man 1986-1998 407 Fälle pro 100.000. Im Jahr 1995 wurde in Weißrussland der Höchststand an Neuerkrankungen von Schilddrüsenkrebs bei Kindern (0-14 Jahre) erreicht. Dafür verlagerten sich die zunehmenden Krebsfälle in die Gruppe der Adoleszenten und Erwachsenen.<sup>2</sup>

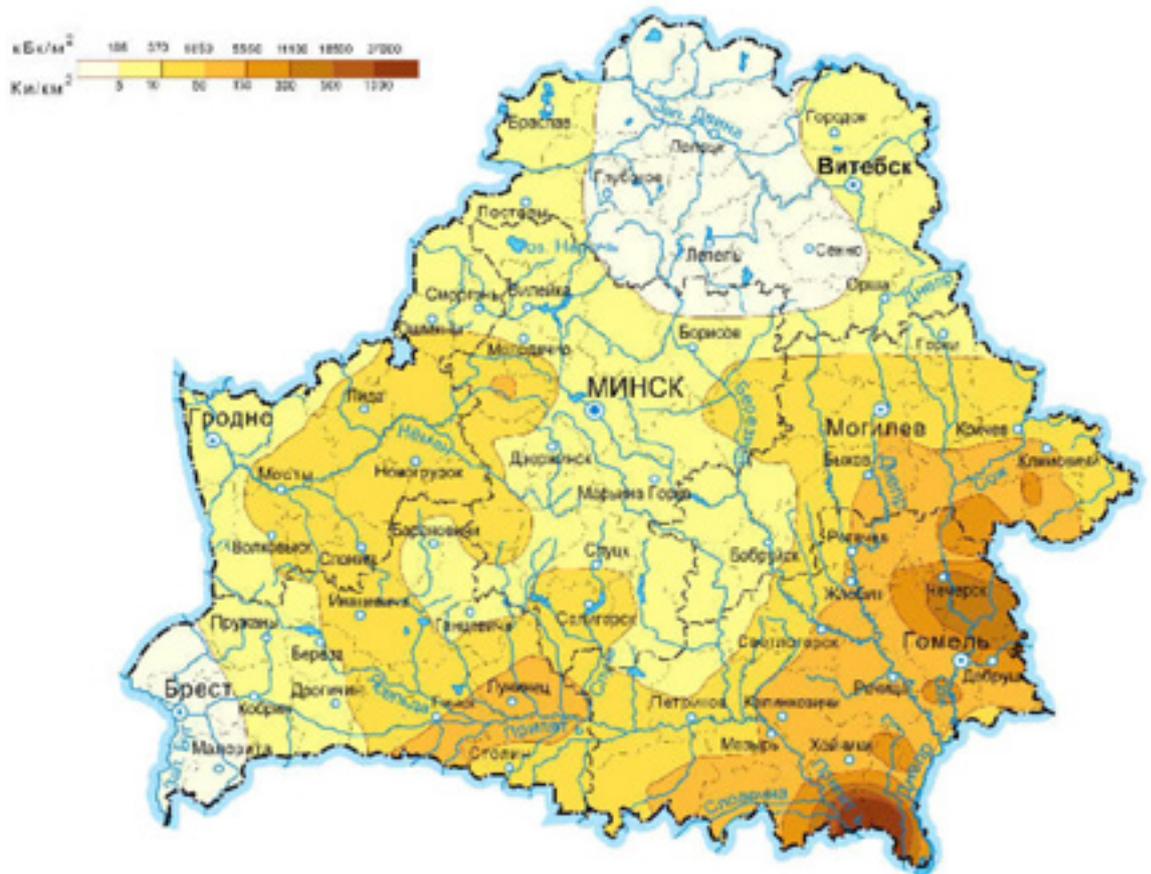
Lengfelder et al. wiesen darauf hin, dass mit zunehmender zeitlicher Distanz zum Unfallzeitpunkt immer mehr der 1986 mit radioaktivem Jod kontaminierten Kinder zu Jugendlichen und schließlich zu Erwachsenen wurden. Sie nahmen ihr Lebenszeitrisiko für die Entwicklung von Schilddrüsenkrebs in die höheren Altersgruppen mit. So seien laut Angaben des Otto-Hug Strahleninstituts, das in der Region über viele Jahre umfangreiche Untersuchungen betrieben hat, bis zum Jahr 2000 über 3.000 Erwachsene in Weißrussland an strahleninduziertem Schilddrüsenkrebs erkrankt. 1980 lag die standardisierte jährliche Neuerkrankungsrate (Inzidenz) für Schilddrüsenkrebs bei Erwachsenen über 30 Jahren in Weißrussland bei 1,24 pro 100.000 Einwohner. 1990 lag die Rate bereits bei 1,96 und im Jahr 2000 bei 5,67. Dies entspricht einem Anstieg um mehr als das 4-fache.<sup>3</sup>

1 M.M. Fuzik, A.Ye. Prysyzhnyuk, V.G. Gristchenko, V.A. Zakordonets, Ye.M. Slipenyuk, Z.P. Fedorenko, L.O. Gulak, A.Ye. Okeanov, V.V. , Thyroid cancer, Peculiarities of process in a cohort being in International Journal of Radiation Medicine 2004, 6(1-4): 24-29.

2 Frenzel, C., Lengfelder E. (2011) 25 Jahre nach der Tschernobylkatastrophe [http://www.umg-verlag.de/umwelt-medizin-gesellschaft/111\\_fl.pdf](http://www.umg-verlag.de/umwelt-medizin-gesellschaft/111_fl.pdf)

3 A. E. Okeanov, E. Y. Sosnovskaya, O. P. Priatkina, A national cancer registry to assess trends after Chernobyl accident, Swiss Wkly 2004, 134: 645-649.

### Условные обозначения



**Abbildung 6-1:**

Abschätzung der Jodkontamination am 10. Mai 1986 in Weißrussland (nach Olga Zubetsk, Präsentation auf dem Kongress in Arnoldshain 2014, [http://www.tschernobylkongress.de/fileadmin/user\\_upload/Arnoldshain\\_Doku/Zubec-Olga.pdf](http://www.tschernobylkongress.de/fileadmin/user_upload/Arnoldshain_Doku/Zubec-Olga.pdf))

In der Altersgruppe zwischen 50 und 64 Jahren war die Schilddrüsenrate nach dem Super-GAU (1986-1998) gegenüber der Zeit davor (1973-1985) um das 5-fache erhöht, bei Personen über 64 Jahren um das 2,6-fache,<sup>4,5</sup> obwohl in den umfangreichen Datensammlungen der Tschernobyl-Forschungszentren der drei ehemaligen Sowjetrepubliken (Bryansk für Russland, Gomel und Minsk für Weißrussland und Kiew für die Ukraine) zahlreiche weitere Daten zum Anstieg von Schilddrüsenkrebsfällen bei Erwachsenen vorliegen, wurden diese in den westlichen Forschungsgruppen wenig beachtet. So konzentriert sich der Großteil der international öffentlich zugänglichen wissenschaftlichen Literatur auf den Anstieg der Schilddrüsenkrebsfällen bei Kindern. Mahoney et al. zeigen allerdings auf, dass es in Weißrussland über alle Altersstufen zu einem Anstieg der Schilddrüsenkrebshäufigkeit kam, nicht nur bei den Kindern.<sup>6</sup>

Die Effekte der radioaktiven Kontamination erstreckten sich über die gesamte Sowjetrepublik Weißrussland, so dass es landesweit zu erhöhten Krebsraten kam. Den ausgeprägtesten Anstieg fand man in der hoch belasteten Zone von Gomel.<sup>7</sup> Die folgende Karte zeigt das Ausmaß der Kontamination des Landes mit radioaktivem Jod (siehe Abbildung 6-1).

Auch außerhalb der stark kontaminierten Regionen in Weißrussland wurden nach dem Super-GAU von Tschernobyl erhöhte Schilddrüsenkrebsraten registriert – vor allem in Russland und der Ukraine. Fuzik et al. betrachteten die Schilddrüsenkrebsinzidenzen im Zeitraum von 1989-2008 in den radioaktiv belasteten Gebieten der Ukraine. Sie fanden sowohl für erwachsene Männer als auch Frauen statistisch signifikante Erhöhungen (Frauen 3,3-facher Anstieg der Schilddrüsenkrebsinzidenz in

4 Edmund Lengfelder, Christine Frenzel: 16 Jahre nach Tschernobyl. Weiterhin dramatisches Ansteigen der Schilddrüsenkarzinome in Belarus. Der Heilungserfolg ist bei zahllosen Patienten weiter von intensiver westlicher Hilfe abhängig. Otto Hug Strahleninstitut MHM. Sept. 2002.

5 E. Lengfelder, H. Rabes, H. Scherb, Ch. Frenzel: Factors influencing the assessment of chernobyl health consequences and the contribution of international non-governmental organisations to research and treatment of thyroid pathologies in Belarus. 4th International Conference, June 2-6, 2003, Kiev, Ukraine, Chernobyl Children – Health effects and psychosocial rehabilitation, Proceedings, International Journal of Radiation Medicine 2003, Addendum.

6 Mahoney, MC et al. (2004): Thyroid cancer incidence in Belarus: examining the Impact of Chernobyl Int J Epid33, 1025-1033

7 Mahoney, MC et al. (2004): Thyroid cancer incidence in Belarus: examining the Impact of Chernobyl Int J Epid33, 1025-1033

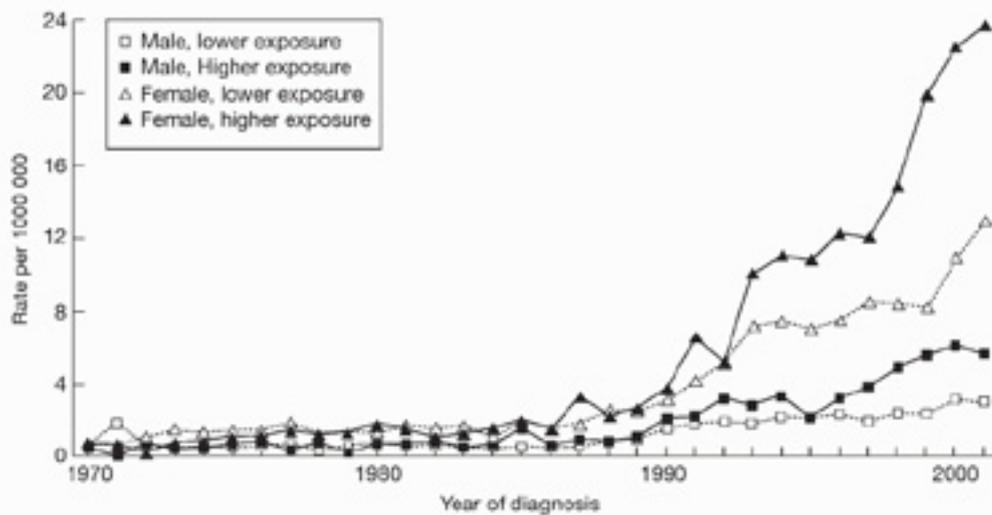


Figure 3 Annual age-adjusted thyroid cancer incidence rate, by calendar year, gender, and area of exposure.<sup>9</sup> Belarus, 1970–2001

#### Abbildung 6-2:

(1986–1998) gegenüber der Zeit vor Tschernobyl (1973–1985) 5-fach erhöht. Bei Personen über 64 Jahre war die Erkrankungsrate noch immer 2,6-fach erhöht.

den hochbelasteten Gebieten, 2,3-facher Anstieg in den niedrig belasteten Gebieten; Männer: 2,6-facher Anstieg in den hochbelasteten Gebieten, 1,4-facher Anstieg in den niedrig belasteten Gebieten).<sup>8</sup> Auch in Russland stellte man nach dem Super-GAU von Tschernobyl einen Anstieg von Schilddrüsenkrebs fest. In den besonders kontaminierten Regionen Bryansk, Kaluga, Oryol und Tula fand die Forschungsgruppe um Ivanov zwischen 1991 und 2008 in einer Studiengruppe von 309.130 Personen 978 Schilddrüsenkrebsfälle.<sup>9,10</sup>

Bezüglich der Gesamtzahl von Schilddrüsenkrebsfällen, die kausal mit der Atomkatastrophe von Tschernobyl in Verbindung gebracht werden können, gibt es im wissenschaftlichen Diskurs weiterhin Dissens.

UNSCEAR-Forscher und andere aus internationalen Krebsforschungszentren glauben, dass nur der Schilddrüsenkrebs bei Kindern und Jugendlichen strahlenbedingt sei, andere Forscher (Demidchik, Prsyazhnik, Mahoney, Scherb, Lengfelder) leiten aus ihren gefundenen Daten auch einen Anstieg des Schilddrü-

senkrebses bei Erwachsenen ab. So gab UNSCEAR 2008 6.848 behandelte Schilddrüsenkrebs-Erkrankungen bei Patienten aus Russland, Weißrussland und der Ukraine an (nur Kinder und Jugendliche bis 18 Jahre).<sup>11</sup> Demidchik hingegen dokumentierte 12.236 Schilddrüsenkrebsfälle aus den Jahren 1986–2004 für Weißrussland allein (Kinder, Jugendliche und Erwachsene).<sup>12</sup> In seiner neuesten Publikation beziffert Demidchik die Zahl der strahlenbedingten kindlichen Schilddrüsenkrebsfälle in Weißrussland mit 1.044.<sup>13</sup> Im Nationalen ukrainischen Bericht werden 3.385 Schilddrüsenkrebsfälle bei Kindern und Jugendlichen zwischen 1986–2004 genannt, davon 572 durch tschernobylbedingte Fälle.<sup>14</sup>

Die Gesamtzahl der bisherigen und noch zu erwartenden Schilddrüsenkrebsfälle bis 2065 wird von Cardis<sup>15</sup> mit 15.700 und von Malko mit 85.778<sup>16</sup> geschätzt.

8 Fuzik, M., Prsyazhnik, A. et al. (2011) Thyroid cancer incidence in Ukraine: Trends with reference to the Chernobyl accident; in: Radiat Environ Biophys (2011) 50:47–55

9 Ivanov, V.K. et al. (2012): Radiation epidemiological studies of thyroid cancer incidence after the Chernobyl accident; in: Radiat Prot Dosimetry 2012 Sep; 151(3): 489–99

10 Ivanov, V.K., Ya. Kenigsberg, N.D. Tronko et al.: Communication to UNSCEAR Secretariat (2006)

11 [http://www.unscear.org/docs/reports/2008/11-80076\\_Report\\_2008\\_Annex\\_D.pdf](http://www.unscear.org/docs/reports/2008/11-80076_Report_2008_Annex_D.pdf)

12 Yablokov (2009), S. 167

13 Yu.E. Demidchik et al. (2015), Major factors Affecting Incidence of Childhood thyroid Cancer in Belarus after the Chernobyl Accident: Does Nitrate in Drinking Water Play a role? PLoS ONE 10(9): e0137226.

14 Yablokov (2009) S. 169

15 Cardis E, Krewski D, Boniol M et al. Estimates of the cancer burden in Europe from radioactive fallout from the Chernobyl accident. Int J Cancer 2006; 119: 1224–35.

16 <http://www.greenpeace.org/romania/Global/romania/binaries/2009/8/raportul-malko.pdf>

Im Juli 1998 fand in Cambridge ein internationales Symposium zum Thema Strahlung und Schilddrüse statt, veranstaltet durch die Europäische Kommission, das Energieministerium der USA und das Nationale Krebsinstitut des US-Gesundheitsministeriums. Vertreter der Weltgesundheitsorganisation (WHO) entwickelten auf diesem Symposium aus dem zeitlichen Verlauf der bisher aufgetretenen Fälle von Schilddrüsenkarzinomen bei Kindern eine Prognose: Von allen Kindern aus der Region Gomel, die zum Zeitpunkt der Reaktorkatastrophe zwischen 0 und 4 Jahre alt waren, würde ein Drittel im Laufe des Lebens an Schilddrüsenkrebs erkranken.<sup>17</sup>

Das bedeutet, dass allein in der weißrussischen Region Gomel WHO-Prognosen zufolge mehr als 50.000 Menschen Schilddrüsenkrebs bekommen würden – allein aus der Kohorte der damals 0-4 jährigen. Hinzurechnen müsste man noch alle übrigen Altersgruppen, also auch die Bewohner der schwer verstrahlten Region Gomel, die zum Zeitpunkt des Super-GAUs Jugendliche und Erwachsenen waren. Auch sie haben ein erhöhtes Risiko, aufgrund der Radioaktivität an Schilddrüsenkrebs zu erkranken. Das Otto-Hug-Strahleninstitut rechnet allein für Gomel mit weit über 100.000 Schilddrüsenkrebsfällen als Folge der Atomkatastrophe von Tschernobyl.<sup>18</sup> 2006, 20 Jahre nach Beginn der Atomkatastrophe, registrierte das Institut bereits 10.000 Fälle.<sup>19,20</sup>

Eine belastbare Abschätzung der Gesamtzahl aller Schilddrüsenkrebsfälle in der ehemaligen Sowjetunion, die kausal mit dem Super-GAU von Tschernobyl in Verbindung gebracht werden können, gibt es bis zum heutigen Tag nicht und wird es vermutlich auch nicht geben. Es ist davon auszugehen, dass insgesamt mehrere hunderttausend Menschen durch radioaktiven Niederschlag des Super-GAUs von Tschernobyl an Schilddrüsenkrebs (Kinder, Jugendliche, Erwachsene) in der Tschernobyl-Region und in Europa erkranken werden

### 6. 1. 2. Andere Krebserkrankungen Tschernobylregion

In Weißrussland wird seit 1973 ein landesweites Krebsregister geführt, in dem Informationen über alle bösartigen Tumoren registriert werden. Okeanov et al. verglichen in einer Untersuchung die Krebsfälle in den Jahren 1976 bis 1985 mit denen in den Jahren 1990 bis 2000.<sup>21</sup> Die Untersuchung ergab einen signifikanten Anstieg der Krebsrate um 39,8 Prozent. Vor Tschernobyl lag die jährliche Erkrankungsrate bei 155,9 Fällen, nach Tschernobyl bei 217,9 Fällen pro 100.000 Einwohnern. Der Anstieg der Krebsrate betraf vorrangig Darm-, Lungen-, Blasen- und Schilddrüsenkrebs.

Der Anstieg der Krebsrate war in allen Regionen Weißrusslands signifikant. In der am meisten strahlenbelasteten Region Gomel war die Zunahme der Krebsrate mit 55,9 Prozent jedoch signifikant höher als in den weniger belasteten Regionen. Bei der Bevölkerung Gomels, die in Gebieten mit einer besonders hohen Cäsium 137-Belastung über 555.000 Becquerel pro Quadratmeter lebt, war die Zunahme der Krebsrate besonders hoch. Es gibt zahlreiche Studien, die sich mit den einzelnen Krebslokalisationen befassen. Die relevantesten Forschungsergebnisse sollen im Folgenden näher betrachtet werden. Ein Großteil der Studien beschränkte sich auf einzelne Untersuchungsregionen in der Ukraine oder in Weißrussland. Man sollte daher bedenken, dass ähnliche Entwicklungen auch in anderen verstrahlten Gebieten zu erwarten sind und sich nicht auf die jeweils untersuchten Gebiete beschränken dürften. Es gilt auch hier die Erkenntnis aus über 100 Jahren Strahlenforschung, dass jede noch so geringe Strahlendosis das Krebsrisiko und somit die Erkrankungsfälle in einer Population statistisch messbar erhöht und dass ein linearer Zusammenhang zwischen der Dosis und den Erkrankungsfällen besteht, ohne eine Schwelle unterhalb derer die Strahlung ungefährlich wäre. Das bedeutet, dass man gesundheitliche Effekte der Strahlung zwar in stark kontaminierten Gebieten besonders ausgeprägt findet, diese in geringerem Ausmaß jedoch auch in geringer verstrahlten Regionen auftreten, wo sie meist im „statistischen Grundrauschen“ untergehen.

### Tumoren der Verdauungs- und Atmungsorgane

In den Jahren 1993 bis 2002 zeigte sich eine signifikant erhöhte Erkrankungsrate an Tumoren der Verdauungs- und Atmungsorgane gegenüber den Gebieten mit der geringsten radioaktiven Belastung (Krebs-Erkrankungsrate in Verdauungsorganen: 141,5 pro 100.000 in den am höchsten belasteten Gebieten gegenüber 104,7 pro 100.000 in den am wenigsten

17 E. Cardis et al.: Observed and predicted thyroid cancer following the Chernobyl accident: Evidence for factors influencing susceptibility to radiation induced thyroid cancer. In: G. Thomas et al.: Radiation and Thyroid Cancer. EUR 18552 EN, World Scientific, Singapore 1999, S.395-405.

18 Edmund Lengfelder, Christine Frenzel: 20 Jahre nach Tschernobyl. Erfahrungen und Lehren aus der Reaktorkatastrophe. Otto Hug Strahleninstitut MHM. Informationen, Februar 2006.

19 Edmund Lengfelder, Christine Frenzel: 16 Jahre nach Tschernobyl. Weiterhin dramatisches Ansteigen der Schilddrüsenkarzinome in Belarus. Der Heilungserfolg ist bei zahllosen Patienten weiter von intensiver westlicher Hilfe abhängig. Otto Hug Strahleninstitut MHM. Sept. 2002.

20 E. Lengfelder, H. Rabes, H. Scherb, Ch. Frenzel: Factors influencing the assessment of chernobyl health consequences and the contribution of international non-governmental organisations to research and treatment of thyroid pathologies in Belarus. 4th International Conference, June 2-6, 2003, Kiev, Ukraine, Chernobyl Children – Health effects and psychosocial rehabilitation, Proceedings, International Journal of Radiation Medicine 2003, Addendum.

21 A. E. Okeanov, E. Y. Sosnovskaya, O. P. Priatkina: A national cancer registry to assess trends after Chernobyl accident, Swiss Medical Weekly 2004, 134: 645-649.

belasteten Gebieten. Krebs-Erkrankungsrate in Atmungsorganen: 83,7 gegenüber 53,1 pro 100.000).<sup>22</sup> Eine Untersuchung im ukrainischen Bezirk Lugyny fand zudem, dass sich die Lebenserwartung nach der Diagnose von Magen- und Lungenkrebs nach Tschernobyl deutlich verkürzt hatte. Hatte man 1985 noch eine Lebenserwartung von 57 bzw. 42 Monate nach der Erstdiagnose von Magen- bzw. Lungenkrebs, waren es 10 Jahre nach dem Super-GAU von Tschernobyl nur noch 2,3 bzw. 2 Monate.<sup>23</sup> Dieser Effekt wird u.a. auf Störungen der zellulären Reparaturmechanismen zurückgeführt.

Jahr	Verbleibende Lebenszeit (in Monaten) nach der Diagnose von	
	Magenkrebs	Lungenkrebs
1984	62	38
1985	57	42
–	–	–
1992	15,5	8,0
1993	11,0	5,6
1994	7,5	7,6
1995	7,2	5,2
1996	2,3	2,0

**Tabelle 6-1:**

Verbleibende Lebenszeit nach der Diagnose bösartiger Magen- und Lungentumore vor und nach dem Tschernobyl-Unfall (Bezirk Lugyny, Gebiet Schitomir, Ukraine)

## Brustkrebs

Auffälligkeiten zeigten sich auch hinsichtlich der Erkrankungsrate von Brustkrebs bei Frauen. In den Regionen mit besonders hoher Cäsium-Belastung (Gomel und Mogilev in Weißrussland) wurde Brustkrebs typischerweise bereits im Alter zwischen 45 und 49 Jahren festgestellt und damit 15 Jahre früher als bei den Frauen in der am wenigsten von Tschernobyl betroffenen weißrussischen Region Vitebsk. Die Verschiebung des Erkrankungszeitpunktes hin zu jüngeren Altersgruppen ist besonders in der stärker betroffenen ländlichen Bevölkerung in den kontaminierten Regionen zu sehen.

Pukkala et al. fanden 2006 ebenfalls einen signifikanten Anstieg der Brustkrebsinzidenz in den Gebieten Gomel und Mogilev (Weißrussland) sowie Chernigov, Kiew und Schitomir (Ukraine). Darüber hinaus wurde im Zeitraum 1997–2001 ein etwa zweifach erhöhtes Risiko in den am meisten kontaminierten Gebieten gegenüber den am geringsten kontaminierten Gebieten im Untersuchungsgebiet festgestellt. Betroffen von steigenden Brustkrebsraten waren insbesondere Frauen vor der Menopause. Die AutorInnen sehen es als unwahrscheinlich an, dass die Anstiege auf erhöhte diagnostische Aktivitäten in diesen Gebieten zurückzuführen sind.<sup>24</sup>

## Hirntumoren

Orlov et al. untersuchten die Daten von Tumoren des Zentralen Nervensystems bei Kindern unter 15 Jahren über einen Zeitraum von 25 Jahren in der Ukraine ohne die Bezirke Dnepropetrovsk, Donetsk, Zaporozhye und Charkov. In den 10 Jahren vor Tschernobyl (1976–1985) wurden bei 756, in den 10 Jahren nach Tschernobyl (1986–1995) bei 1.315 Kindern Hirntumore diagnostiziert, also 76,9% mehr als im Zeitraum davor – obwohl die Anzahl der Kinder in der Bevölkerung in dieser Zeit um mehr als drei Millionen abnahm.<sup>25</sup>

Noch beunruhigender stellte sich die Situation bei Kleinkindern dar. Orlov und Shaversky berichteten über eine Serie von 188 Hirntumoren bei Kindern unter drei Jahren. Neun Fälle stammen aus den Jahren 1981–1985, 179 Fälle aus dem Zeitraum 1986–2002. Die Zahl der Patienten stieg, verglichen mit dem 5-Jahreszeitraum vor dem Super-GAU (9 Fälle 1981–1985) um den Faktor 5 an (46 Fälle 1986–1990). In den darauf folgenden Jahren erhöhte sich die Zahl der Neuerkrankungen weiter auf mehr als das 7-fache (69 Fälle 1991–1995) und auf mehr als das 5-fache der Ausgangsinzidenz (48 Fälle 1996–2000). Noch stärker stiegen die Zahlen für Tumoren des Zentralen Nervensystems bei Kindern, die gestillt wurden. Während es 1981–1985 noch keinen einzigen Fall in dieser Altersgruppe gab, waren es 1986–1990 4, 1991–1995 16 und 1996–2000 11 Fälle.<sup>26</sup>

Insgesamt zeigte sich eine Erhöhung der Neuerkrankungsrate bei Patienten unter drei Jahren um mehr als den Faktor 5, für Kinder unter einem Jahr sogar um den Faktor 10. Berücksichtigt man die gleichzeitig sinkende Geburtenrate, so ist Anstieg

22 A. E. Okeanov, E. Y. Sosnovskaya, O. P. Priatkina: A national cancer registry to assess trends after Chernobyl accident, *Swiss Medical Weekly* 2004, 134: 645-649

23 Ivan Godlevsky, O. Nasvit: Dynamics of Health Status of Residents in the Lugyny District after the Accident at the ChNPP; in: T. Imanaka (ed.): *Research Activities about the Radiological Consequences of the Chernobyl NPS Accident and Social Activities to Assist the Sufferers by the Accident*, KURRI-KR-21, S.149-159.

24 E. Pukkala, S. Poliakov, A. Ryzhov, A. Kesminiene, V. Drozdevich, L. Kovgan, P. Kkyyronen, I.V. Malakhova, L. Gulak, E. Cardis: Brest cancer in Belarus and Ukraine after the Chernobyl accident. *International Journal of Cancer*, 2006, February 27th.

25 Y.A. Orlov et al.: Tumors of the central nervous system in children (morbidity rates in Ukraine for 25 Years); *Int. J. Rad. Med.* 2002, 4(1-4):233-240.

26 Y.A. Orlov, A.V. Shaversky: Indices of neurooncologic morbidity dynamics among younger children in Ukraine; *Int. J. Rad. Med.* 2004 6(1-4): 72-77.

der Patientenzahlen noch auffälliger. Zudem stieg nicht nur die Häufigkeit bösartiger, sondern auch die gutartiger Tumoren.<sup>27</sup> Gutartige Tumoren bilden zwar keine Metastasen und dringen nicht in andere Gewebe ein, können aber dennoch durch die Verdrängung von gesundem Gehirngewebe eine schwere lebensbedrohliche Erkrankung darstellen.

## Kinderleukämien

Von dem radioaktiven Niederschlag der Tschernobyl-Katastrophe waren allein in der Ukraine mehr als 4 Millionen Menschen betroffen. Um die Auswirkungen dieser Bestrahlung in utero und den Zusammenhang zu kindlichen Leukämien zu untersuchen, analysierten Noshchenko et al. das Vorkommen verschiedener Leukämietypen bei Kindern, die 1986 geboren wurden. Die Entwicklung der Kinder wurde über 10 Jahre verfolgt. Verglichen wurden die kumulativen Erkrankungsraten von Kindern aus belasteten und unbelasteten Bezirken der Ukraine. Bei allen Leukämiearten war das relative Risiko in belasteten Bezirken signifikant erhöht. Die Risikorate für die Akute Lymphatische Leukämie (ALL) war für Jungen dramatisch erhöht, für Mädchen in nicht ganz so starker Ausprägung. Für beide Geschlechter kombiniert war das relative Risiko für die Akute Lymphatische Leukämie in belasteten Bezirken mehr als dreifach höher als in unbelasteten (relatives Risiko RR = 3,4). Ein kausaler Zusammenhang zum radioaktiven Niederschlag ist somit sehr wahrscheinlich.<sup>28</sup>

Nur ein Jahr später veröffentlichten Noshchenko et al. die Ergebnisse einer Fall-Kontroll-Studie, in der das Risiko einer akuten Leukämie für Menschen untersucht wurde, die zum Zeitpunkt der Katastrophe unter 20 Jahre alt waren. Die Forscher fanden ein statistisch signifikant erhöhtes Leukämierisiko bei Männern, deren geschätzte Strahlenexposition größer als 10 mSv war. Der Zusammenhang mit der Strahlenbelastung war signifikant für akute Leukämien im Zeitraum 1993-1997, insbesondere für die Akute Lymphatische Leukämie. Ein entsprechender Zusammenhang konnte jedoch auch für die Akute Myeloische Leukämie (AML) im Zeitraum von 1987 bis 1992 gefunden werden.<sup>29</sup>

In seiner neuesten Studie bezüglich des Leukämierisikos von 2010 fand Noshchenko, dass das Leukämierisiko für diejenigen

Kinder in den belasteten Zonen der Ukraine erhöht war, die eine Dosis von mehr als 10 mSv erhalten hatten.<sup>30</sup>

Die Frage, ob es auch in Weißrussland zu einem Anstieg der Kinderleukämien gekommen war, ist weiterhin umstritten. Offiziellen Angaben zufolge sei es zu keiner Zunahme der Erkrankungsraten gekommen. Körblein zeigte jedoch in einer Trendanalyse weißrussischer Originaldaten von Leukämieerkrankungen bei Kindern unter 14 Jahren für 1987, dem Jahr nach der Tschernobylkatastrophe eine statistisch signifikante 33 % Erhöhung der Leukämieinzidenz bei Kindern. Bei Kindern, die zum Zeitpunkt der Reaktorkatastrophe unter einem Jahr alt waren, fiel die Erhöhung im Jahr 1987 mit 152 % noch größer aus.<sup>31</sup>

### 6.1.3. Krebserkrankungen in anderen europäischen Ländern

Wie bereits eingangs erläutert, erstrecken sich die gesundheitlichen Auswirkungen der Atomkatastrophe von Tschernobyl nicht ausschließlich auf die Staaten der ehemaligen Sowjetunion, sondern in geringerem Maße auf den Rest Europas. Überall dort, wo radioaktiver Niederschlag statt fand, wurden Menschen erhöhten Strahlenwerten ausgesetzt – und werden dies zum Teil immer noch, wenn man beispielsweise die lange physikalische Halbwertszeit von Cäsium-137 bedenkt. Im Folgenden soll kurz auf die relevantesten Studien eingegangen werden, die schlaglichtartig die gesundheitlichen Auswirkungen des Super-GAUs für den Rest Europas demonstrieren. Gesamteuropäische Untersuchungen zu dieser Fragestellung existieren nicht, so dass zur Abschätzung der Gesamtzahl aller durch die Atomkatastrophe bedingten Krebserkrankungen auf die Rechnungen in Kapitel 4 verwiesen werden muss.

## Schilddrüsenkrebs

Radespiel-Tröger et al. haben während ihres Untersuchungszeitraum von 2003 bis 2008 auch in Deutschland eine Zunahme der Inzidenz des papillären Schilddrüsenkarzinoms entdeckt. Als mögliche Ursachen wurden eine Zunahme der diagnostischen Aktivität, die oberirdische Atomwaffentests und die Tschernobyl-Katastrophe diskutiert. Die AutorInnen empfehlen weitergehende epidemiologische Studien zur Ursachenforschung und Untersuchung regionalen Unterschiede in Deutschland.<sup>32</sup>

27 Y.A. Orlov et al.: Tumors of the central nervous system in children (morbidity rates in Ukraine for 25 years. Intern. J. Rad. Med. 2002, 4(1-4):233-240.

28 Andrey G Noshchenko, Kirsten B Moysich, Alexandra Bondar, Pavlo V Zamostyan, Vera D Drosdova, Arthur M Michalek: Patterns of acute leukaemia occurrence among children in the Chernobyl region, Int. J. Epidemiol. 2001;30:125-129. Strahlentelex, 408-409/2004, S. 2f., Epidemiologie: Vermehrt akute Leukämien bei Kindern um Tschernobyl.

29 A.G. Noshchenko, P.V. Zamostyan, O.Y. Bondar, V.D. Drosdova: Radiation-induced Leukemia risk among those aged 0-20 at the time of the Chernobyl accident: a case-control study; Int. J.Cancer 99,609-618(2002).

30 Noshchenko AG, Bondar OY, Drozdova VD.: Radiation induced Leukaemia among children aged 0-5 years at the time of the Chernobyl accident; Int J Cancer 2010 Jul 15;127(2):412-26.

31 [http://www.strahlentelex.de/Stx\\_13\\_626-627\\_S01-04.pdf](http://www.strahlentelex.de/Stx_13_626-627_S01-04.pdf)

32 <http://www.springermedizin.de/inzidenzzunahme-des-papillaeren-schilddruesenkarzinoms-in-deutschland/4894698.html>

Tschechien ist in vergleichbarer Weise vom Tschernobyl-Fallout betroffen wie Ostdeutschland und Bayern. Im Gegensatz zu Deutschland gibt es in Tschechien jedoch ein zentrales Krebsregister für Erwachsene, welches epidemiologische Studien, die erhöhte Erkrankungsraten zeigen, überhaupt erst möglich macht. Mürbeth und Scherb et al. konnten anhand der Daten aus dem tschechischen Krebsregister nachweisen, dass die Erkrankungsraten an Schilddrüsenkrebs nach dem Super-GAU von Tschernobyl in Tschechien anstiegen. Sie schätzen, dass in dem Land mehr als 400 zusätzliche Schilddrüsenkrebsfälle der Tschernobyl-Kontamination zuzurechnen waren (95%-CI: 187 – 688). Der Anstieg der Inzidenz von Schilddrüsenkrebs zeigt sich sowohl bei Männern als auch bei Frauen. Ab 1990 stieg die Zahl der Schilddrüsenkrebserkrankungen bei beiden Geschlechtern von 2,0 Prozent pro Jahr auf 4,6 Prozent pro Jahr (95%-CI: 1.2-4.1,  $p=0.0003$ ). Für Frauen lagen die Erkrankungsraten deutlich höher als für Männer. Für sie begann der Anstieg des Erkrankungsrisikos bereits 1989 ( $p=0,0005$ ). Die kürzeste Latenzzeit von der Reaktorkatastrophe bis zum Ausbruch der Erkrankungen betrug bei den Fällen in Tschechien vier Jahre. Diese Latenzzeit ist vergleichbar mit der in der Tschernobylregion.<sup>33</sup> Die Daten aus Tschechien sind besonders aussagefähig, da eine sehr große Population über einen langen Zeitraum untersucht wurde – so liegen der Studie insgesamt 247 Millionen Personenjahre zugrunde. Weitere Studien, die eine Zunahme der Schilddrüsenkrebsfälle bei Jugendlichen und Erwachsenen zeigen, wurden unter anderem in Polen und Nordengland durchgeführt.<sup>34 35</sup>

## Neuroblastom

Eine 1993 erschienene Studie des Mainzer Kinderkrebsregisters belegt für den Geburtsjahrgang 1988 in den höher radioaktiv belasteten Gebieten Deutschlands eine statistisch signifikante Häufung von Neuroblastomen. Die Neuroblastomhäufigkeit nahm dabei zwei Jahre nach dem Super-GAU proportional zum Grad der Bodenkontamination mit Cäsium zu. Diese Dosiswirkungsbeziehung lässt auf einen kausalen Zusammenhang zur Atomkatastrophe schließen. Den WissenschaftlerInnen nach handelt es sich bei der gefundenen Neuroblastomhäufung um „eine der auffälligsten Schwankungen seit Bestehen des Kin-

derkrebsregisters“. Als Ursache wurde eine eventuelle Schädigung der elterlichen Keimzellen vor der Zeugung diskutiert.<sup>36,37</sup>

## Leukämien

Michaelis et al. untersuchten die Erkrankungsrate an Leukämien bei deutschen Säuglingen, die zwischen dem 1. Juli 1986 und dem 31. Dezember 1987 in Westdeutschland geboren wurden. Von knapp 930.000 Kindern erkrankten 35 Kinder im ersten Lebensjahr an einer Leukämie, was dem 1,5-fachen der Erkrankungsrate der übrigen in den 1980er Jahren erkrankten Kinder entsprach.<sup>38</sup>

Petridou et al. analysierten sämtliche Fälle von Kinderleukämie in Griechenland seit Tschernobyl und fanden, dass auch hier Kinder, die kurz nach der Reaktorkatastrophe geboren wurden (zwischen dem 1. Juli 1986 und dem 31. Dezember 1987), etwa 2,6 Mal so häufig an Leukämie erkrankten wie Kinder, die vor oder längere Zeit nach der Katastrophe geboren wurden (zwischen dem 1. Januar 1980 bis 31. Dezember 1985 und zwischen dem 1. Januar 1988 und dem 31. Dezember 1990). Die AutorInnen vermuteten, dass diese Zunahme von Erkrankungen auf die vorgeburtliche Strahlenbelastung im Mutterleib nach dem Tschernobyl-Unfall zurückzuführen ist.<sup>39</sup>

Im Jahr 1987 nahmen auch in Schottland die Leukämie-Erkrankungen bei Kleinkindern unter vier Jahren um 37% zu. Insgesamt zählte die Untersuchung 48 Fälle von Kinderleukämie für 1987. Das waren 13 Fälle mehr als zu erwarten waren. Darunter wurden allein 33 Fälle bei Kindern unter vier Jahren diagnostiziert.<sup>40</sup>

Auch aus Rumänien gibt es Berichte über Leukämie bei Kindern nach der Tschernobylkatastrophe. Davidescu et al. führten zwischen 1986 und 2000 in 5 Bezirken Ostrumäniens eine Fall-Kontroll-Studie durch. Die exponierte Gruppe, die durch die Atomkatastrophe kontaminierte Nahrung ausgesetzt war, um-

33 Mürbeth S et al. (2004): Thyroid cancer has increased in the adult populations of countries moderately affected by Chernobyl fallout. *Med Sci Monit.* 2004 Jul;10(7):CR300-6.

34 Z. Szybinski, P. Olko, E. Przybylik-Mazurek, M. Burzynski: Ionizing radiation as a risk factor for thyroid cancer in Krakow and Nowy Sacz regions. *Wiad Lek.* 2001, 54(Suppl. 1): 151-156 (Polish).

35 S.J. Cotterill, M.S. Pearce, L. Parker: Thyroid cancer in children and young adults in the North of England. Is increasing incidence related to the Chernobyl accident? *Eur J Cancer.* 2001, 37(8): 1020-1026.

36 J. Michaelis et al., Fall-Kontrollstudie zum Anstieg der Neuroblastom-Inzidenz für im Jahr 1988 geborene Kinder; *Medizinische Informatik, Biometrie und Epidemiologie* 76/1993. *Strahlentelex*, 166-167/1993, S. 4, Dr. Hayo Dieckmann, Tschernobylfolgen auch in Deutschland messbar.

37 Günter Henze, 30.10.91, FU Berlin. *Zit. in Strahlentelex*, 122-123/1992, S. 8, Vermehrt Neuroblastome bei Säuglingen in Süddeutschland.

38 J. Michaelis, U. Kaletsch, W. Burkart, B. Grosche, Infant leukaemia after the Chernobyl accident, *Nature*, Vol. 387, 15 May 1997, S. 246. J. Michaelis, Mainz, Pressemitteilung vom 11.06.1997. *Strahlentelex*, 252-253, S. 1 f., Kinderleukämien, Nach dem Tschernobyl-Unfall erkrankten mehr Säuglinge in Deutschland an Blutkrebs.

39 *Nature*, 24.7.1996, *zit. in Strahlentelex*, 230-231/1996, S. 12, Leukämie in Griechenland. *Strahlentelex*, 252-253, S. 1 f., Kinderleukämien, Nach dem Tschernobyl-Unfall erkrankten mehr Säuglinge in Deutschland an Blutkrebs.

40 *The Lancet* Sept. 1988; *Strahlentelex*, 42/1988, Mehr Leukämien in Schottland.

Erkrankungen/Organe	Registr. Erkrankungen auf 100.000 Einwohner Erwachsene und Jugendliche					
	1987	1988	1989	1990	1991	1992
III Endokrines System	631	825	886	1.008	4.550	16.304
V Psychische Störungen	249	438	576	1.157	5.769	13.145
VI Nervensystem	2.641	2.423	3.559	5.634	15.518	15.101
VII Kreislaufsystem	2.236	3.417	4.986	5.684	29.503	98.363
IX Verdauungsorgane	1.041	1.589	2.249	3.399	14.486	62.920
XII Haut u. Unterhautgewebe	1.194	947	1.262	1.366	4.268	60.271
XIII Knochen-Muskel-System	768	1.694	2.100	2.879	9.746	73.440

**Tabelle 6-2:**

Dynamik somatischer Erkrankungen bei Einwohnern der nördlichen Ukraine, die von der Havarie des Kernkraftwerkes Tschernobyl betroffen sind (1987–1992)<sup>44</sup>

fasste 137.072 Kinder (37 Leukämiefälle), die nichtexponierte Gruppe 774.789 Kindern (204 Leukämiefälle). Die Leukämieinzidenz für die Altersgruppe 0–10 Jahre war in den belasteten Gebieten zwar nicht signifikant höher als in der Vergleichsregion (270 gegen 263,  $p > 0,05$ ), die Leukämieinzidenzrate für Kinder, die zwischen Juli 1986 und März 1987 geboren wurden, war allerdings signifikant höher als die für die zwischen April 1987 und Dezember 1987 geborenen (386 gegen 173,  $p = 0,03$ ). Der Effekt zeigte sich am deutlichsten für die Altersgruppe 0–1 Jahr. Die Inzidenzrate korrelierte mit der Äquivalentdosis für das Knochenmark.<sup>41</sup>

### Allgemeine Erhöhung der Krebsinzidenz

Die Reaktorkatastrophe von Tschernobyl hat nach Berechnungen von Tondel et al. bis 1996 zu 849 zusätzlichen Krebserkrankungen in den Falloutgebieten Nordschwedens geführt. Die AutorInnen führten eine Kohortenstudie durch, die alle zum Zeitpunkt der Katastrophe bis 60 Jahre alten Bewohner Nordschwedens umfasste (1986-1987; 1.143.182 Personen). Die Bodenbelastungen mit Cäsium-137 wurden ins Verhältnis gesetzt zur Zahl der Krebskranken (22.409 Personen von 1988 bis 1996). Das Krebsrisiko für alle Krebserkrankungen zusammen sowie das Risiko speziell für Lungenkrebs stiegen proportional zur radioaktivem Belastung an. Der Risiko-Anstieg wurde mit 11 Prozent pro 100.000 Bq/m<sup>2</sup> (95% KI = 0,03-0,20) beziffert.<sup>42 43</sup>

41 Doina Davidescu et al.: Infant leukaemia in eastern Romania in relation to exposure in Utero due to the Chernobyl accident; Int. J. Rad. Med. 2004, 6(1-4):38-43.

42 M. Tondel et al.: Increase of regional total cancer incidence in north Sweden due to the Chernobyl accident? J.Epidemiol.Community Health 58(2004)1011-1016., Strahlentelex, 430-431/2004, Vermehrt Krebserkrankungen in Nordschweden nach der Katastrophe von Tschernobyl.

43 M. Tondel, P. Lindgren, P. Hjalmarsson, L.Hardll, B. Persson: Increased Incidence of Malignancies in Sweden After the Chernobyl Accident – A Promoting Effect?: American Journal of Industrial Medicine 49:159-168 (2006).

### 6.2. Nichtkrebserkrankungen

Nicht nur bei den Liquidatoren, auch bei der Bevölkerung der stark kontaminierten Gebieten zeigten sich wenige Jahre nach der Atomkatastrophe von Tschernobyl Erkrankungen der verschiedensten Organsysteme: Krankheiten des blutbildenden und des lymphatischen Systems, Herz- und Lungenerkrankungen sowie gastrointestinale und endokrinologische Erkrankungen, besonders der der Schilddrüse. Diese Erkrankungen sind nicht-maligne somatische Spätschäden, bei denen ionisierende Strahlung als schädigendes Agens wirksam wird. Die Schädigungen sind dosisabhängig und können sich früh (z.B. bei Blutzellschädigung) oder erst Jahre später (Linsentrübung, Unfruchtbarkeit) bemerkbar machen.

Die Tabelle oben zeigt den Anstieg der Häufigkeit verschiedener Erkrankungen bei Bewohnern der stark kontaminierten Gebiete. Die Daten stammen aus einer Studie von Nyagu et al., in der über viele Jahre immer wieder die gleiche Population in den Regionen um Tschernobyl untersucht wurde. Es ist zu erkennen, dass in allen aufgeführten Erkrankungsgruppen ein deutlicher bis unerwartet hoher Anstieg der Erkrankungsraten zu sehen ist. Die Zahlen beziehen sich jeweils auf 100.000 Einwohner. Viele Einwohner leiden unter mehreren Erkrankungen gleichzeitig (Multimorbidität).

Aus der gleichen Studie stammt die folgende Tabelle, in der für vier Bevölkerungsgruppen angegeben wurde, wie mit der Zeit der Anteil der Gesunden abnimmt. So waren beispielsweise 1987 noch 78,2 Prozent der Liquidatoren gesund. 1996 war der Anteil der gesunden Liquidatoren auf 15 Prozent gesunken.

44 Nyagu, A.I.: Medizinische Folgen der Tschernobyl-Havarie in der Ukraine, Tschernobylministerium der Ukraine, Wissenschaftliches Zentrum für Strahlenmedizin, Akademie der Medizinischen Wissenschaften der Ukraine, Wissenschaftlich-Industrielle Vereinigung PRIPJAT, Wissenschaftlich-Technisches Zentrum, Kiev – Tschernobyl 1994 (russ.).

Kategorie der Betroffenen	Gesunder Anteil der Betroffenen in %									
	1987	1988	1989	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996
I Liquidatoren	78,2	74,4	66,4	53,3	35,8	28,8	23	19,8	17,6	15
II Evakuierte	58,7	51,6	35,2	26,2	29,7	27,5	24,3	21,1	19,5	17,9
III Einwohner in den belasteten Gebieten	51,7	35,4	35,2	26	31,7	38,2	27,9	24,5	23,1	20,5
IV Kinder betroffener Eltern	80,9	66,8	74,2	62,9	40,6	k.A.	36,9	32,4	32,1	29,9

**Tabelle 6-3:**

Verschlechterung des Gesundheitszustandes der betroffenen Bevölkerung in der Ukraine<sup>45</sup>

Die beunruhigendste Gruppe ist Gruppe IV – Kinder betroffener Eltern. Auch bei ihnen zeigt sich eine erhebliche Verschlechterung des Gesundheitszustandes mit der Zeit. Das wirft die Frage auf, ob möglicherweise schon genetische Veränderungen stattgefunden haben.

Die folgenden Zahlen zeigen eine steigende Inzidenz von Nicht-krebserkrankungen bei Kindern und Jugendlichen.

Im Vergleich zu gesunden Kontrollgruppen wurde bei den Kindern, die durch die Atomkatastrophe von Tschernobyl verstrahlt wurden, ein Anstieg in folgenden Krankheitsgruppen festgestellt:<sup>46</sup>

- » Schilddrüsenerkrankungen 32,6 %  
(15,4 % in der Kontrollgruppe, p < 0.05)
- » Lungen- und Bronchialerkrankungen 26,0 %  
(13,7 % in der Kontrollgruppe, p < 0.05)
- » Herz-Kreislaufkrankungen 57,8 %  
(31,8 % in der Kontrollgruppe, p < 0.05)
- » Magen-Darmerkrankungen 18,9 %  
(8,9 % in der Kontrollgruppe, p < 0.05)
- » Immundefizienzen 43,5 %  
(28,0 % in der Kontrollgruppe, p < 0.05)

- » Endokrine Infertilität der Mädchen 32,0 %  
(10,5 % in der Kontrollgruppe, p < 0.05)

Im Folgenden soll detailliert auf die unterschiedlichen Nicht-krebserkrankungen bei Kindern eingegangen werden, da sich die Effekte ionisierender Strahlung an dieser Population am eindrucklichsten aufzeigen lässt.

### 6.2.1. Erkrankungen in den blutbildenden Organen und des lymphatischen Systems

Die ukrainische Tschernobylforscherin Stepanova hat viele Publikationen über die Veränderung des Gesundheitsstatus von Kindern aus den hoch kontaminierten Gebieten verfasst.

In einer Studie wertete sie Blutbilder von 1.251 Kindern aus der Region Narodicheski im Schitomir Oblast der Ukraine aus, die von 1993-1998 an regelmäßigen Kontrolluntersuchungen teilgenommen hatten. Diese Daten setzte sie in Beziehung zur Kontamination des Bodens mit radioaktivem Cäsium. Sie fand eine Erniedrigung aller drei Zellreihen (Erythrozyten, Leukozyten und Thrombozyten), die eine direkte Korrelation zur Konzentration von radioaktivem Cäsium im Boden zeigte. Auch der ukrainische Forscher Grodzynsky konnte zeigen, dass bei Kindern und Jugendlichen in den kontaminierten Gebieten gehäuft Anämien und Leukopenien, also Erniedrigungen der roten und weißen Blutkörperchen, zu finden waren. Die Häufigkeit dieser Symptome stieg von 12,7 pro 100.000 im Jahr 1987 auf 30,5 pro 100.000 im Jahr 1996, wobei der Bevölkerungsdurchschnitt bei 12,6 pro 100.000 lag.<sup>47</sup> Lukyanova und Lenskaya fanden 10 Jahre nach Beginn der Atomkatastrophe ebenfalls erniedrigte Leukozyten-Werte bei Kindern aus den kontami-

45 Nyagu, A.I.: Medizinische Folgen der Tschernobyl-Havarie in der Ukraine, Tschernobylministerium der Ukraine, Wissenschaftliches Zentrum für Strahlenmedizin, Akademie der Medizinischen Wissenschaften der Ukraine, Wissenschaftlich-Industrielle Vereinigung PRIPJAT, Wissenschaftlich-Technisches Zentrum, Kiev – Tschernobyl 1994, Kryshanovskaja: Daten für 1993-1996, persönliche Mitteilung.

46 Prsyazhnuk A. et al. (2002) Review of Epidemiological finding in Study of Medical Consequences of the Chernobyl Accident population; in: Recent Research Activities about the Chernobyl NPP Accident in Belarus, Ukraine and Russia KURRI-KR-79 (Kyoto University, Kyoto), pp. 188–287.

47 Grodzynsky, D. M. (1999). General situation of the radiological consequences of the Chernobyl accident in Ukraine. In: Imanaka, T. (Ed.), Recent Research Activities on the Chernobyl NPP Accident in Belarus, Ukraine and Russia, KURRI-KR-7 (Kyoto University, Kyoto): pp. 18–28.

nierten Regionen im russischen Bryansk.<sup>48</sup> Horishna untersuchte speziell die Kinder von Liquidatoren in den kontaminierten Gebieten und fand, dass sie 2–3 mal häufiger an Erkrankungen der blutbildenden Organe litten als Kinder aus nicht kontaminierten Gebieten.<sup>49</sup>

### 6.2.2. Kardiovaskuläre Erkrankungen

Die beiden ForscherInnen Tsybul'skaya und Bandashevsky fanden bei mehr als 70% der untersuchten weißrussischen Kinder unter einem Jahr Herzrhythmusstörungen, die mit der Höhe der Bodenkontamination korrelieren (185.000 kBq/m<sup>2</sup> – 740.000 kBq/m<sup>2</sup>).<sup>50</sup> Burlak et al. beobachteten Symptome von früher Arteriosklerose bei 55,2 % der Kinder aus den Gebieten mit radioaktiver Kontamination in Höhe von 5-15 kBq/m<sup>2</sup>.<sup>52</sup> Der Nationale Weißrussische Bericht über die Tschernobylfolgen gab derweil eine signifikant erhöhte Inzidenz von Kreislauferkrankungen bei Kindern kontaminierter Eltern an.<sup>53</sup> Prysyzhnyuk et al. konnten zeigen, dass Kinder, die in utero Strahlung ausgesetzt waren, ein erhöhtes kardiovaskuläres Krankheitsrisiko gegenüber nicht verstrahlten Kindern hatten (57,8% vs. 31,8%;  $p < 0.05$ ).<sup>54</sup> Die Forscherin Komogortseva fand 2006 in drei hoch kontaminierten Regionen der russischen Provinz Bryansk eine um drei- bis fünfmal erhöhte kardiovaskuläre Krankheitshäufigkeit bei Kindern.<sup>55</sup>

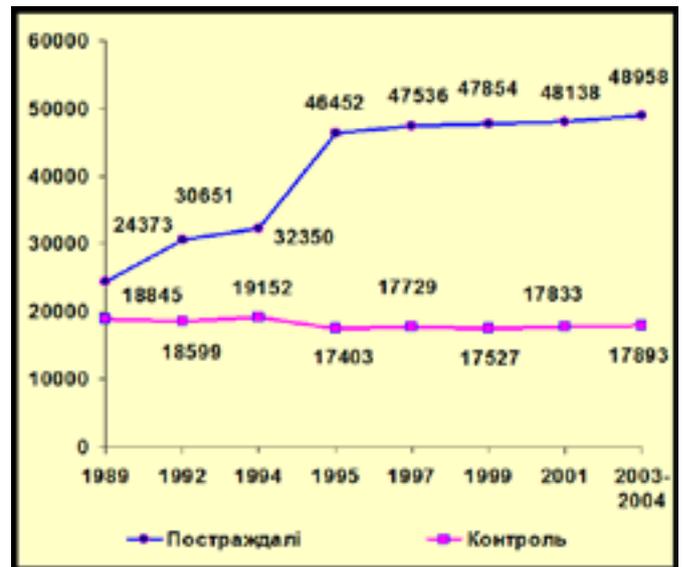


Abbildung 6-2:

Inzidenzentwicklung der Nichtkrebs-Erkrankungen nach Nyagu et al pro 10.000 Kinder und Jugendliche zwischen 0 – 14 Jahren; Nationaler Bericht der Ukraine<sup>56</sup>

Neuerdings durchgeführte Tierversuche<sup>57</sup> stützen die Beobachtungen der Forscher aus der Tschernobylregion, dass ionisierende Strahlung schon in relativ niedrigen Dosen schädigende Effekte auf das kardiovaskuläre System hervorrufen kann.

48 Lukyanova, A. G. & Lenskaya, R. V. (1996). Cytological and chemical characteristics of peripheral blood lymphocytes in Chernobyl children, 1987–1995. *Hematol. Transfusiol.* 41 (6): 27–30 (Russisch). Nach Yablokov (2009)

49 Horishna, O. V. (2005). Chernobyl Catastrophe and Public Health: Results of Scientific Investigations (Chernobyl Children's Foundation, Kiev): 59 pp. (Ukrainisch).

50 Tsybul'skaya, I. S., Sukhanova, L. P., Starostin, V. M. & Mytyurova, L. B. (1992). Functional condition of the cardio-vascular system in young children under the chronic impact of low dose irradiation. *Matern. Child-hood* 37(12): 12–20 (Russisch).

51 Bandazhevsky, Yu. I. (1997). Pathology and Physiology of the Incorporated Ionizing Radiation (Gomel Medical Institute, Gomel): 104 pp. (Russisch).

52 Burlak, G., Naboka, M. & Shestopalov, V. (2006). Noncancer endpoints in children-residents after Chernobyl accident. International Conference. Twenty Years After Chernobyl Accident: Future Outlook. April 24–26, 2006, Kiev, Ukraine. Contributed Papers, Vol. 1 („HOLT-EH,“ Kiev): pp. 37–40 ([//www.tesec-int.org/T1.pdf](http://www.tesec-int.org/T1.pdf))

53 National Belarusian Report (2006). Twenty Years After the Chernobyl Catastrophe: Consequences for Belarus Republic and Its Surrounding Area (Shevchuk, V. F. & Gurachevsky, V. L., Eds.) (Belarus, Minsk): 112 pp. (Russisch).

54 Prysyzhnyuk, A. Ye. et al (2002). Review of epidemiological finding in the study of medical consequences of the Chernobyl accident in Ukrainian population. In: Imanaka, T. (Ed.), Recent Research Activities on the Chernobyl NPP Accident in Belarus, Ukraine and Russia, KURRI-KR-79 (Kyoto University, Kyoto), pp. 188–287.

55 Komogortseva, L. K. (2006). Ecological consequences of Chernobyl catastrophe in Bryansk province: Twenty years after. International Scientific and Practical Conference. Twenty Years After the Chernobyl Catastrophe: Ecological and Social Lessons. June 5, 2006, Moscow (Materials, Moscow): pp. 81–86 (Russisch).

### 6.2.3. Benigne Schilddrüsenerkrankungen

Prysyzhnyuk et al. untersuchten ukrainische Kinder, die Schilddrüsendosen von 2 Gy erhalten hatten oder der Radioaktivität in utero ausgesetzt waren. In dieser Kohorte sank der Anteil der gesunden Probanden bis 2002 auf unter 5%. Bei diesen Kindern wurden 1986-1987 zunächst Funktionsstörungen der Schilddrüse diagnostiziert, ab 1990 Autoimmunthyreoiditiden und ab 1992 anhaltende benigne Schilddrüsenerkrankungen.<sup>58</sup> Leonova und Astakhova stellten fest, dass die Fälle von Autoimmunthyreoiditis innerhalb von 10 Jahren nach Beginn der Atomkatastrophe um das Dreifache anstiegen.<sup>59</sup>

56 Prof. A. Nyagu – Präsentation auf dem BfS-Workshop: Gesundheitsfolgen von Tschernobyl, München 9-10.11.2006

57 European commission: Radioprotection No 170: Recent scientific findings and publications on the health effects of Chernobyl (2011), S. 17; <https://ec.europa.eu/energy/sites/ener/files/documents/170.pdf>

58 Prysyzhnyuk, A. Ye. et al. (2002). Review of epidemiological finding in the study of medical consequences of the Chernobyl accident in Ukrainian population. In: Imanaka, T. (Ed.), Recent Research Activities on the Chernobyl NPP Accident in Belarus, Ukraine and Russia, KURRI-KR-79 (Kyoto University, Kyoto), pp. 188–287.

59 Leonova, T. A. & Astakhova, L. N. (1998). Autoimmune thyroiditis in pubertal girls. *Public Health* 5: 30–33 (Russisch).

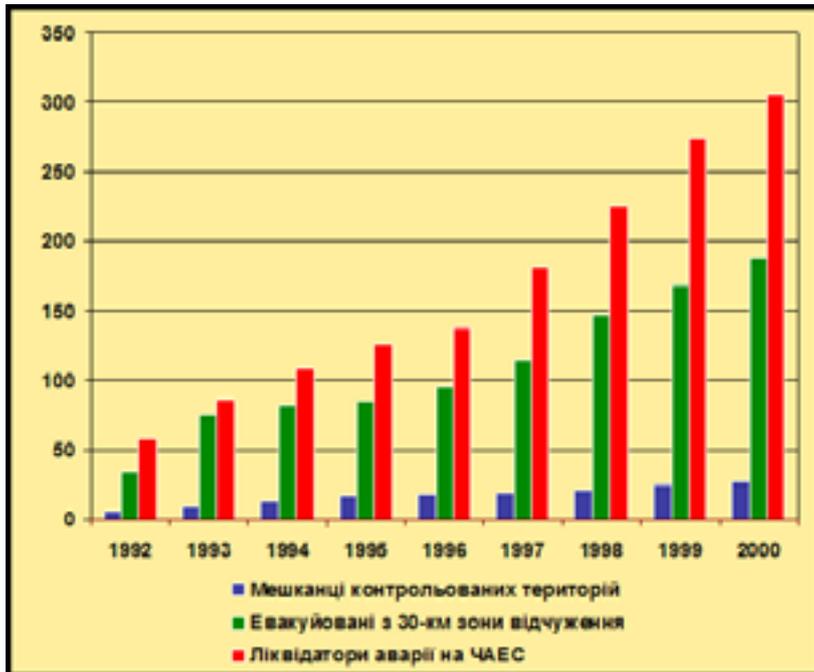


Abbildung 6-3:

Rote Balken = Liquidatoren,  
 grün = Evakuierte aus der 30-km-Zone,  
 blau = Kontrollgruppe (Ukraine ohne kontaminierte Bevölkerung)

Auch außerhalb der pädiatrischen Population fanden sich Schilddrüsenerkrankungen bei strahlenexponierten. Nyagu fand einen Anstieg benigner Schilddrüsenerkrankungen um 30-40 %, vor allem bei Liquidatoren und Evakuierten.<sup>60</sup> Dabei handelt es sich z.B. um Autoimmunthyreoditiden, und deren Komplikationen sowie Schilddrüsenunterfunktion.

#### 6.2.4. Diabetes

In Zusammenarbeit von Endokrinologen der Heinrich-Heine-Universität Düsseldorf und des Weißrussischen Endokrinologischen Beratungszentrums in Minsk wurde die Entwicklung von Diabetes bei Kindern und Jugendlichen in Weißrussland untersucht. Über den langen Zeitraum von 1980 bis 2002 wurde in zwei sehr unterschiedlich belasteten Gebieten die jährliche Neuerkrankungsrate (Inzidenz) von Diabetes mellitus Typ 1 verfolgt. Dabei wurden zum einen die Zeiträume 1980 bis

1986 und 1987 bis 2002 mit einander verglichen, zum anderen die Daten der hoch belasteten Region Gomel mit der vergleichsweise gering belasteten Region Minsk. Insgesamt wurden 643 PatientInnen aus der Region Gomel und 302 PatientInnen aus der Region Minsk in die Analyse einbezogen. In den Jahren 1980 bis 1986 (vor Tschernobyl) gab es keine signifikanten Unterschiede zwischen den Inzidenzraten in Gomel und Minsk. Dagegen wurde ein hochsignifikanter Unterschied der Inzidenzraten zwischen den beiden Regionen für die Jahre nach Tschernobyl (1987–2002) nachgewiesen ( $p < 0.001$ ). Außerdem fanden die Autoren, dass sich die Inzidenzraten vor und nach der Atomkatastrophe von Tschernobyl innerhalb der Region Minsk nicht signifikant unterschieden, wohl aber in der hochbelasteten Region Gomel ( $p < 0.05$ ), wo jährlich rund doppelt so viele Kinder und Jugendliche nach Tschernobyl an Diabetes mellitus vom Typ 1 erkrankten wie in den Jahren vor Tschernobyl. Die höchste mittlere Inzidenzrate wurde in der Region Gomel im Jahr 1998 registriert.<sup>61</sup>

60 Prof. A. Nyagu – Präsentation auf dem BfS-Workshop: Gesundheitsfolgen von Tschernobyl, München 9-10.11.2006

61 A. Zalutskaya, T. Mokhort, D. Garmayev, S. R. Bornstein: Did the Chernobyl incident cause an increase in Typ 1 diabetes mellitus incidence in children and adolescents? Diabetologia 2004 Jan; 47(1): 147-8. Strahlenlex, 416/2004, Zuckerkrank nach Tschernobyl.

### 6.2.5. Lungenerkrankungen

Svendsen, Kopalkov und Stepanova konnten in einer Studie an Kindern aus der hoch bestrahlten Region Narodichesky zeigen, dass lang anhaltende Niedrigstrahlung zu einer signifikanten Erhöhung von obstruktiven Lungenerkrankungen führte.<sup>62</sup> Die Kohorte bestand aus 415 Kindern, bei denen zwischen 1993 und 1998 regelmäßige Spirometrie-Untersuchungen durch einen Pulmologen durchgeführt wurden. Die Bodenkonzentrationen an Cäsium-137 bewegten sich zwischen 29,0 und 879 kBq/m<sup>2</sup>. Russische Forscher fanden in Bryansk zudem eine Korrelation zwischen der erhöhten Morbidität an obstruktiven Lungenerkrankungen und des Grads der radioaktiven Bodenkontamination.<sup>63</sup>

Schwangerschaftswoche radioaktivem Fallout ausgesetzt worden waren. Es ließ sich auch eine Dosis-Wirkungsbeziehung hinsichtlich der stark kontaminierten und schwach kontaminierten Regionen nachweisen.<sup>65</sup>

Diese Studien zeigen eindrücklich, dass Bestrahlung in utero entgegen der von der ICRP vertretenen Auffassung einen hirnschädigenden Effekt hat – auch in relativ kleinen Dosen.

### 6.2.6. Hirnschädigungen / Psychische Erkrankungen

Auswirkungen der radioaktiven Kontamination auf die geistig-psychischen Fähigkeiten von Kindern wurden sehr differenziert von der ukrainischen Neurologin Nyagu durchgeführt. Viele weitere Studien aus Russland und Weißrussland sind nur in russischer Sprache zugänglich und in der englischen Zusammenfassung bei Yablokov (2009) zu finden. Die Forschungsgruppe um Nyagu untersuchte die Effekte von in utero-Bestrahlung bei Kindern und Jugendlichen aus den kontaminierten Gebieten und verglich sie mit einer nicht-verstrahlten Kontrollgruppe. Im Vergleich zu dieser ließ sich bei den pränatal exponierten Kindern eine signifikante Erhöhung von kognitiven Entwicklungsstörungen, leichten geistigen Behinderungen sowie Verhaltensstörungen nachweisen. Die Ganzkörperdosen lagen bei den bestrahlten Föten zwischen 10,7 und 92,5 mSv, die Organdosis der Schilddrüse zwischen 0,2 und 2 Gy.<sup>64</sup>

Auch in Schweden wurde eine große Studie zu der Frage der Hirnschädigungen bei in utero bestrahlten Föten durchgeführt. 562.637 Personen, die zwischen 1983 und 1988 geboren wurden, waren in die Studie mit einbezogen. Die stärkste Schädigung trat bei denjenigen auf, die zwischen der 8. und 25.

62 Svendsen, ER, Kolpakov IE, Stepanova YI et al: 137 Cesium exposure and spirometry measures in Ukrainian children Affected by the Chernobyl Nuclear Accident; in: Environ Health Perspect.2010 May;118(5):720-5.

63 Yablokov, a., Nesterenko, V., Nesterenko A. (2009): Chernobyl – Consequences of the Catastrophe for People and Environment, Annals of the New York Academy of Sciences, vol. 1181, Boston, Mass, S 95 – 96

64 Nyagu, AI et al. Intelligence and Brain Damage in Children Acutely Irradiated in Utero As a Result of the Chernobyl Accident. Department of Neurology, Institute for Clinical Radiology, Research Centre for Radiation Medicine of Academy of Medical Sciences of Ukraine. <http://www.rri.kyoto-u.ac.jp/NSRG/reports/kr79/kr79pdf/Nyagu.pdf>

65 Almond, D., Edlund, L., Palme, M.: Chernobyl's subclinical legacy: Prenatal exposure to radioactive fallout and school outcomes, 2007

## 7. Mutagene und teratogene Effekte



In diesem Kapitel werden Studien vorgestellt, die die schädigende Wirkung ionisierender Strahlung auf die Fortpflanzungsfähigkeit, die Entwicklung des Kindes im Mutterleib (teratogene Effekte) und auf die Entstehung von Mutationen des Erbguts, z.B. Down-Syndrom und Chromosomenaberrationen (mutagene Effekte) darstellen. Der Anstieg der Säuglingssterblichkeit und der Totgeburtenrate zählt ebenfalls zu den teratogenen Effekten ionisierender Strahlung. Auch kam es infolge der Tschernobylkatastrophe zu einer Veränderung im Geschlechterverhältnis bei den Geburtenkohorten. Ob dies den teratogenen Effekten zuzurechnen ist oder ob es sich um epigenetische Vorgänge handelt, ist noch nicht hinreichend geklärt.

Nach bisheriger strahlenbiologischer Lehrmeinung sollten teratogene Effekte und mutagene Effekte nicht unterhalb einer Schwellendosis von 100 mSv auftreten. Die Studienergebnisse aus der Tschernobylfolgenforschung widersprechen dieser Lehrmeinung.

Die folgenden Arbeiten zu unterschiedlichen Schädigungen des Erbguts, des Fötus und des Schwangerschaftsverlaufs stammen aus den Übersichtsarbeiten von Schmitz-Feuerhake.<sup>1 2 3</sup>

### 7.1. Fehlbildungen in der Tschernobylregion

In Weißrussland gibt es seit 1979 ein zentrales Register für Fehlbildungen und andere Geburtsfehler.<sup>4</sup> Da es bereits vor Tschernobyl eingerichtet wurde, kann man die steigende Fehlbildungs-raten nach Tschernobyl mit den Raten davor vergleichen. Tabelle 7-1 von Schmitz-Feuerhake enthält Ergebnisse, in der verschiedene Arten von Fehlbildungen spezifiziert werden.<sup>5</sup>

Art der Fehlbildung	Erhöhung um
Anenzephalie	39 %
Spina bifida	29 %
Lippen/Gaumenspalten	60 %
Polidaktylie	910 %*
Verkrümmung von Gliedmaßen	240 %*
Atresie der Speiseröhre	13 %
Atresie des Rektums	80 %*
Mehrfachfehlbildungen	128 %*

\*signifikant p größ.0,05

**Tabelle 7-1:** Erhöhung der Rate angeborener Fehlbildungen in den 17 höchstbelasteten Gebieten von Weißrussland 1987–1994 in Prozent (Originalquelle: Lazjuk et al. 1997)<sup>6</sup>

1 Schmitz-Feuerhake, I. et al: (2016) Genetic Radiation Risks –A neglected Topic in the Low-Dose Debate; Korean Journal Environmental Toxicology 2016;0:e2016001,

2 Busby C, Lengfelder E Pflugbeil S, Schmitz-Feuerhake I (2009): The evidence of radiation effects in embryos and fetuses exposed to Chernobyl fallout and the question of dose response. In: Med. Conflict Survival 2009 Jan-Mar;25(1):20-40.

3 Schmitz-Feuerhake, I. (2014) Genetische Folgen ionisierender Strahlung im Niederdosisbereich: [http://www.tschernobylkongress.de/fileadmin/user\\_upload/Arnoldshain\\_Doku/Schmitz-Fgenetisches\\_Risiko2014.pdf](http://www.tschernobylkongress.de/fileadmin/user_upload/Arnoldshain_Doku/Schmitz-Fgenetisches_Risiko2014.pdf)

4 Lazjuk G., Verger, P., Gagniere, B. et al. (2003): The congenital anomalies registry in Belarus: a tool for assessing the public health impact of the Chernobyl accident. *Reprod. Toxicol.* 17: 659-666.

5 I. Schmitz-Feuerhake (2015): Das vergessene Risiko durch ionisierende Strahlung für die Nachkommen exponierter Eltern [http://www.umg-verlag.de/umwelt-medizin-gesellschaft/415\\_sf\\_z.pdf](http://www.umg-verlag.de/umwelt-medizin-gesellschaft/415_sf_z.pdf)

6 Lazjuk et al.: Changes in the Registered Anomalies in the Republic of Belarus Radiation Injury and the Chernobyl Catastrophe. *STEM CELLIS9* 97;15(suppl2):255-260

Auch Entwicklungsstörungen, die mit einer erkennbaren Genmutation einhergehen und sich als *de novo* Mutation darstellen, d.h. bei den Eltern nicht vorliegen, zeigten einen Anstieg.<sup>7</sup> Spätere Arbeiten von Lazjuk und Zatschin zeigen, dass der Anstieg der Fehlbildungen besonders in den ersten Jahren nach der Katastrophe (1987–1989) in den Zonen mit einer radioaktiven Belastung von einer Cs-137 Bodenkontamination von über 555 kBq/m<sup>2</sup> stark ausgeprägt war.<sup>8</sup>

Auch in der Ukraine kam es zu einem Anstieg der Fehlbildungen, wie Wertelecki nachweisen konnte.<sup>9 10</sup> In seiner Studie zeigt er einen signifikanten Anstieg von Neuralrohrdefekten, Mikrozephalie und Mikroophthalmie in der ukrainischen Region Polissia, etwa 200 Kilometer von Tschernobyl entfernt. Die dort gewonnenen Daten wurden mit den Fehlbildungsdaten der europäischen EUROCAT-Daten in Beziehung gesetzt. Das Studiengebiet ist bis heute hoch verstrahlt, vermutlich aufgrund eines wenig durchlässigen Bodentyps. Die lokale Bevölkerung ernährt sich von heimischen Agrarprodukten und heizt mit Feuerholz aus dem immer noch stark verstrahlten Wald. Mit 25,96 Neuralrohrdefekten auf 10.000 Lebendgeburten weist die Region Polissia die höchste Rate in ganz Europa auf.<sup>11</sup> (vgl. Tabelle 7-2 auf der folgenden Seite)

## 7.2. Fehlbildungen im restlichen Europa

Nicht nur in der ehemaligen UdSSR, sondern auch in anderen Teilen Europas kam es nach dem Super-GAU von Tschernobyl zum Anstieg von Fehlbildungen. In der DDR war es im Gegensatz zur BRD gesetzlich geregelt, dass alle Aborte und alle bis zum Alter von 16 Jahren verstorbenen Kinder autopsiert wurden. Das Fehlbildungsregister in Jena stellte 1986-1987 einen vierfachen Anstieg isolierter Fehlbildungen im Vergleich zu 1985 fest, der in den folgenden Jahren wieder abklang. Der Anstieg betraf vornehmlich das Zentrale Nervensystem und die Bauchdecke.<sup>12</sup> Eine Analyse des DDR-Zentralregisters für Fehlbildungen ergab einen Anstieg der Lippen-Gaumen-Spalten um 9,4% im Jahr 1987 (verglichen mit dem Mittelwert für 1980

und 1986, der am ausgeprägtesten in den nördlichen Gebieten auftrat, die am meisten vom radioaktiven Niederschlag betroffen waren.<sup>13</sup>

In West-Berlin ergab sich nach dem Jahresgesundheitsbericht von 1987 eine Verdopplung der Fehlbildungen bei Totgeborenen. Am häufigsten waren Hände und Füße betroffen, ferner Herz und Harnröhre, außerdem gab es vermehrte Spaltbildungen.<sup>14</sup>

Bayern ist das einzige deutsche Bundesland, in dem Daten zu kindlichen Fehlbildungen vor und nach Tschernobyl existieren. Sie wurden für die Jahre 1984 bis 1991 im Auftrag des Bayerischen Staatsministeriums für Landesentwicklung und Umweltfragen nachträglich erhoben. Im Süden des Freistaates Bayern, der durch den radioaktiven Niederschlag vergleichsweise stark belastet war, war die Fehlbildungsrate Ende 1987, sieben Monate nach dem Super-GAU, nahezu doppelt so hoch wie in Nordbayern. In den Monaten November und Dezember 1987 zeigte die Fehlbildungsrate in den bayerischen Landkreisen eine hochsignifikante Abhängigkeit von der Cäsium-Bodenkontamination. Körblein und Küchenhoff zeigten, dass das Verhältnis der Fehlbildungsraten in Süd- und Nordbayern zeitlich mit der Cäsiumbelastung der Schwangeren korreliert. Die Fehlbildungsrate in den zehn höchstbelasteten Landkreisen Bayerns im November und Dezember 1987 war nahezu achtmal so hoch wie in den 10 niedrigstbelasteten Landkreisen ( $p < 0,001$ ). Die Rate an Totgeburten zeigte eine ähnliche Verteilung.<sup>15</sup>

Scherb et al. fanden einen Zusammenhang zwischen dem Anstieg der Fehlbildungsrate nach Tschernobyl und der Cäsium-Bodenkonzentration in den bayerischen Landkreisen.<sup>16</sup>

7 Lazjuk, G., Satow, Y., Nikolaev, D., Novikova, I. (1999): Genetic consequences of the Chernobyl accident for Belarus Republic. In: IMANAKA, T. (Ed): Recent Research Activities on the Chernobyl NPP Accident in Belarus, Ukraine and Russia, KURRI-KR-7, Kyoto University, Kyoto: 174-177.

8 [https://inis.iaea.org/search/search.aspx?orig\\_q=RN:37057675](https://inis.iaea.org/search/search.aspx?orig_q=RN:37057675)

9 Wertelecki, W.: Malformations in a Chernobyl-Impacted Region. *Pediatrics* 2010;125; e836-e843, <http://www.pediatrics.org/cgi/content/full/125/4/e836>, in *Strahlentelex* 564-565,2010

10 Wertelecki, W. et al: Blastopathies and microcephaly in a Chernobyl impacted region of Ukraine, *Congenital Anomalies* 2014; 54, 125–149

11 <https://vimeo.com/66984287>

12 Lotz, B. et al.: Veränderungen im fetalen und kindlichen Sektionsgut im Raum Jena nach dem Reaktorunfall von Tschernobyl, Bonn, Vortrag: Society for Medical Documentation, Statistics and Epidemiology, 1996. zit. in Hoffmann, W.: Fallout from the Chernobyl nuclear disaster and congenital malformations in Europe. *Archives of Environmental Health* 56 (2001) 478-484.

13 Ziegowski, V., A. Hemprich: Facial cleft birth rate in former East Germany before and after the reactor accident in Chernobyl. *Mund Kiefer Gesichtschirurgie* 1999; 3:195-199; zit. in Hoffmann, W.: Fallout from the Chernobyl nuclear disaster and congenital malformations in Europe. *Archives of Environmental Health* 56 (2001) 478-484. *Strahlentelex*, 374-375/2002, S. 9 f. Inge Schmitz-Feuerhake, Fehlbildungen in Europa und der Türkei.

14 Hoffmann, W.: Fallout from the Chernobyl nuclear disaster and congenital malformations in Europe. *Archives of Environmental Health* 56 (2001) 478-484. *Strahlentelex*, 374-375/2002, S. 9 f. Inge Schmitz-Feuerhake, Fehlbildungen in Europa und der Türkei.

15 Alfred Körblein: Folgen von Tschernobyl: Fehlbildungen bei Neugeborenen in Bayern. *Umweltnachrichten* 94/2001, Umweltinstitut München e.V. Dezember 2001, S. 11-16 *Strahlentelex*, 360-361/2002, S. 5f., Fehlbildungen bei Neugeborenen in Bayern.

16 H. Scherb, E. Weigelt, Spaltgeburtenrate in Bayern vor und nach dem Reaktorunfall in Tschernobyl, *Mund Kiefer Gesichtschir* 2004, 8: 106-110.

Region	Effekte	Referenz
<b>Weißrussland</b>		
Nationales Register zu Fehlbildungen und genetischen Erkrankungen	Anenzephalie, offener Rücken, Lippen/Gaumenspalten, Polydaktylie, Verkümmern von Gliedmaßen, Downsyndrom	Lazjuk et al. 1997
Hoch belastetes Gebiet Gomel	Kongenitale Fehlbildungen	Bogdanovich 1997; Savchenko 1995
Distrikt Chechersky der Region Gomel	Kongenitale Fehlbildungen	Kulakov et al. 1993
Region Mogilev	Kongenitale Fehlbildungen	Petrova et al. 1997
Region Brest	Kongenitale Fehlbildungen	Shidlovskii 1992
<b>Ukraine</b>		
Polesky-Region Kiew	Kongenitale Fehlbildungen	Kulakov et al. 1993
Region Lygyny		Godlevsky, Nasvit 1998
<b>Türkei</b>		
	Anenzephalie, offener Rücken	Akar et al.1988/89; Caglayan et al. 1990; Güvenc et al. 1993; Mocan et al. 1990
<b>Bulgarien</b>		
Region Pleven	Fehlbildungen des Herzens und des ZNS, versch. Fehlbildungen	Moumdjiev et al. 1992
<b>Kroatien</b>		
	Fehlbildungen bei Autopsie von Totgeborenen und neonatale Todesfälle	Kruslin et al. 1998
<b>Deutschland</b>		
DDR	Kiefern- und /oder Gaumenspalte	Zieglowski, Hemprich 1999 Scherb, Weigelt 2004
Zentralregister Bayern	Kiefern- und /oder Gaumenspalte Fehlbildungen	Körblein 2003, 2004; Scherb, Weigelt 2003
Jährlicher Gesundheitsbericht von West-Berlin 1987	Fehlbildungen bei Totgeburten	Strahlentelex 1989
Fehlbildungsregister Jena	Isolierte Fehlbildungen	Lotz et al. 1996

**Tabelle 7-2:**

Übersichtstabelle über Fehlbildungen nach der Tschernobylkatastrophe nach Schmitz-Feuerhake:<sup>17</sup>

17 Busby, C, Lengfelder, E., Pflugbeil, S., Schmitz-Feuerhake, I.(2009) The evidence of radiation effects in embryos and fetuses exposed to Chernobyl fallout and the question of dose response; in: [http://acsir.org/12-Busby\\_et\\_alMCS\\_2009.pdf](http://acsir.org/12-Busby_et_alMCS_2009.pdf)

Scherb und Weigelt kommen auf der Basis der bayerischen Daten zu dem Schluss, dass es zwischen Oktober 1986 und Dezember 1991 allein in Bayern zu 1.000 bis 3.000 zusätzlichen Fehlbildungen gekommen sein muss.<sup>18</sup>

Anfang des Jahres 1987 wurde aus der vom radioaktiven Niederschlag besonders betroffenen Westtürkei und der östlichen Schwarzmeerküste von einer Häufung von Anencephalie und Neuralrohrdefekten bei Neugeborenen berichtet.<sup>19 20 21 22</sup>

### 7.3. Down-Syndrom in Deutschland und Europa

Sperling stellte fest, dass in Berlin neun Monate nach Tschernobyl die Fälle von Trisomie 21 (Down-Syndrom) signifikant anstiegen. 12 Kinder mit Down-Syndrom kamen im Januar 1987 in West-Berlin zur Welt, während normalerweise nur zwei oder drei zu erwarten gewesen wären. Eine zufällige Schwankung ist bei der hohen Signifikanz nahezu ausgeschlossen.<sup>23</sup> In acht dieser Fälle fiel der mutmaßliche Empfängnisterrin in die Zeit des höchsten in Berlin gemessenen Radioaktivitätsanstiegs<sup>24</sup>. Der beobachtete Anstieg der Down-Syndrom-Rate von 1987 wurde von Sperling et al. in einer 1994 im British Medical Journal publizierten Datenanalyse bestätigt. Sperling konnte seine Analyse auf außergewöhnlich genaue Zahlen stützen. Wegen der früheren Insellage der Stadt und der Zuständigkeit seines Instituts für die Betreuung aller Kinder mit Down-Syndrom in West-Berlin war Sperlings Zahlenmaterial im Gegensatz zu den Daten in anderen Bundesländern praktisch lückenlos. Andere Ursachen für die Häufung der Chromosomenstörung als den radioaktiven Fallout im Frühjahr konnte Sperling nicht identifizieren. Sperling nahm an, dass der radioaktive Niederschlag und insbesondere das Isotop Jod-131 mit seiner Halbwertszeit von etwa 8 Tagen, welches im Frühjahr

1986 auch in Mitteleuropa in Atemluft und Nahrungsmitteln zu finden war, kausal mit dem Anstieg zusammenhängen könnte.<sup>25</sup>

In einer erweiterten Studie untersuchten Sperling, Neitzel und Scherb gesamteuropäische Daten zum Auftreten des Down-Syndroms nach der Tschernobylkatastrophe. Mütterliche altersstandardisierte Down-Syndrom-Daten und die Anzahl der dazu korrespondierenden Lebendgeburten wurden in sieben europäischen Ländern untersucht: Bayern und West-Berlin in Deutschland, Weißrussland, Ungarn, die Lothische Region Schottlands, Nordwest-England und Schweden im Zeitraum von 1981–1992. Sie fanden in den untersuchten Regionen einen Anstieg der Fälle von Down-Syndrom 9 Monate nach dem Durchzug der Tschernobyl-Wolke, aber auch einen Sprung im Gesamttrend, also eine anhaltend gestiegene Rate an Down-Syndrom-Fällen, die mit der langfristigen radioaktiven Bodenkontamination mit Cäsium-137 einhergehen könnte.<sup>26</sup>

In Finnland wurde ebenfalls eine erhöhte Fehlbildungsrate (einschließlich Störungen des Zentralen Nervensystems und Fehlbildungen von Gliedmaßen) in den höher radioaktiv belasteten Regionen registriert. Mehr Fälle von ZNS-Defekten wurden auch in Dänemark, Ungarn und Österreich beobachtet.<sup>27</sup>

In Finnland fanden Saxén et al. für den Geburtszeitraum von August bis Dezember 1986 eine signifikante Zunahme von Frühgeburten bei Kindern, deren Mütter während der ersten drei Monate ihrer Schwangerschaft in den durch den Tschernobyl-Fallout höher belasteten Gebieten Finnlands lebten.<sup>28</sup>

In der Region Pleven in Bulgarien fielen Fehlbildungen von Herz, ZNS und Mehrfachanomalien auf. An der Universitätsklinik Zagreb in Kroatien wurden zwischen 1980 und 1993 alle toten Frühgeburten und Neugeborenen, die innerhalb von 28 Tagen nach der Geburt verstarben, autopsiert. Auch hier

18 Otto-Hug-Bericht Nr. 24. Strahlentelex, 388-389/2003, S. 6 ff., Auch in Deutschland und anderen Ländern Europas starben nach Tschernobyl deutlich mehr Säuglinge, gab es mehr Fehlbildungen und Totgeburten.

19 Güvenc, H., Uslu, M.A., Güvenc, M., Ozkici, U., Kocabay, K., Bektas, S.: Changing trend of neural tube defects in Eastern Turkey; J. Epidemiol. Community Health, 1993, 47:40-41.

20 Caglayan, S., Kayhan, B., Mentosoglu, S., Aksit, S.: Changing incidence of neural tube defects in Aegean Turkey; Pediatric and Perinatal Epidemiology, 1990, 4:264-268.

21 N. Akar, Cavadar, A.O., Arcasoy, A.: High incidence of Neural Tube defects in Bursa, Turkey; Pediatric and Perinatal Epidemiology 1988, 2:89-92.

22 Mocan, H., Bozkaya, H., Mocan, Z.M., Furtun, E.M.: Changing incidence of anencephaly in the eastern Black Sea region of Turkey and Chernobyl; Pediatric and Perinatal Epidemiology 1990, 4:264-268.

23 Strahlentelex, 5/1987, 19. März 1987, S. 1f., „Mongolismus“ 9 Monate nach Tschernobyl.

24 Strahlentelex, 166-167/1993, S. 4, Tschernobylfolgen auch in Deutschland messbar.

25 Karl Sperling, Jörg Pelz, Rolf-Dieter Wegner, Andrea Dörries, Annette Grüters, Margareta Mikkelsen, Significant increase in trisomy 21 in Berlin nine months after the Chernobyl reactor accident, temporal correlation or causal relation?, British Medical Journal 1994, 309: 158-62, 16 July 1994. Karl Sperling, Jörg Pelz, Rolf-Dieter Wegner, I. Schulzke, E. Struck, Frequency of trisomy 21 in Germany before and after the Chernobyl accident, Biomed & Pharmacother, 1991, 45, 255-262. Strahlentelex, 184-185/1994, S. 1 f., Behinderte Kinder in Berlin durch Tschernobyl.

26 Sperling, K., Neitzel, H., Scherb, H.: Evidence for an increase in trisomy 21 (Down syndrome) in Europe after the Chernobyl reactor accident; in: Genetic Epidemiology Volume 36, Issue 1, pages 48–55, January 2012

27 Hoffmann, W.: Fallout from the Chernobyl nuclear disaster and congenital malformations in Europe. Archives of Environmental Health 56 (2001) 478-484. Inge Schmitz-Feuerhake, Fehlbildungen in Europa und der Türkei, Strahlentelex, 374-375/2002, S. 9 f.

28 L. Saxén, T. Rytömaa, British Medical Journal 1989, 298: 995-997. Strahlentelex, 60-61/1989, S. 8, Vermehrt Frühgeburten behinderter Kinder in Finnland.

zeigten sich ein Anstieg von ZNS-Anomalien nach dem Super-GAU von Tschernobyl.<sup>29</sup>

#### 7.4. Totgeburten und Anstieg der Perinatalsterblichkeit in der ehemaligen UdSSR

In den ukrainischen und weißrussischen Gebieten um Tschernobyl nahmen 1987, dem Jahr nach dem Reaktorunglück, die Totgeburten und die frühe Säuglingssterblichkeit zu, was einen kausalen Zusammenhang zum radioaktiven Niederschlag, insbesondere zum plazentagängigen Cäsium nahelegt. Nach 1989 gab es in Weißrussland und in der Ukraine einen zweiten Anstieg der Perinatalsterblichkeit. Für diesen erneuten Anstieg ließ sich eine Beziehung zur Exposition schwangerer Frauen mit radioaktivem Strontium herstellen.<sup>30</sup> Aus der Differenz der statistisch zu erwartenden und der tatsächlich ermittelten Rate der Perinatalsterblichkeit ergibt sich allein für die drei ukrainischen Regionen Schitomir, Kiew-Land und Kiew-Stadt, dass 151 Kinder im Jahr 1987 und 712 Kinder in den Jahren 1988 bis 1991 zusätzlich gestorben sind. Insgesamt lässt sich somit für diese drei Regionen schließen, dass 863 Kinder aufgrund des radioaktiven Niederschlags nach Tschernobyl vor, während oder kurz nach der Geburt gestorben sind.<sup>31</sup>

In Weißrussland war im Jahr 1987 die Perinatalsterblichkeit in der hoch belasteten Region Gomel stärker erhöht als in den anderen Regionen Weißrusslands, wenn auch aufgrund der niedrigen Fallzahlen nicht signifikant.<sup>32</sup> Körblein weist jedoch darauf hin, dass in der ersten Hälfte der 1990er Jahre das Niveau der Perinatalsterblichkeit im Gebiet Gomel gegenüber den restlichen ländlichen Regionen Weißrusslands um rund 30 Prozent erhöht war. Möglicherweise handelt es sich dabei um eine Spätwirkung der Aufnahme radioaktiver Isotope in der Pubertät. Die Analyse ergab, dass zwischen 1987 und 1998 im Gebiet Gomel 431 Kinder mehr gestorben sind, als aus den Daten der Vergleichsregionen zu erwarten gewesen wären.<sup>33</sup> Diese Daten sind konsistent mit den Veränderungen der Perinatalsterblichkeit in Deutschland nach den oberirdischen Atombombentests in den 1950er und 1960er Jahren.

Kulakov et al. fanden im ukrainischen Landkreis Polessky–Kiew im Zeitraum von 1987–1989 eine Erhöhung der Perinatalsterblichkeit von 15,1% auf 17,8%. Im ersten Jahr war der Anstieg mit 37,4 % am höchsten. Hauptursache waren Totgeburten.

#### 7.5. Totgeburten und Anstieg der Perinatalsterblichkeit im restlichen Europa

1987 kam es in verschiedenen europäischen Ländern (Österreich, Dänemark, Deutschland, Italien, Norwegen, der Schweiz, Schweden, Polen, Ungarn und Griechenland) zu einem Anstieg der Totgeburtenrate. Im Zeitraum von 1986 bis 1992 kam es dadurch in den oben genannten Ländern insgesamt zu etwa 3.200 zusätzlichen Totgeburten.<sup>34</sup>

Separate Analysen für Deutschland und Polen fanden einen Anstieg der Perinatalsterblichkeit um etwa 5 Prozent gegenüber dem Trend der übrigen Jahre.<sup>35 36</sup>

Nach Tschernobyl war die Säuglingssterblichkeit in Schweden wie auch in Finnland und Norwegen hochsignifikant um 15,8 % gegenüber dem Trend der Jahre 1976 bis 2006 erhöht. Für den Zeitraum von 1987 bis 1992 errechnete Körblein insgesamt 1.209 zusätzlich gestorbene Säuglinge (95%-Konfidenzintervall: 875 bis 1.556).<sup>37</sup> Finnland ist das am stärksten von Tschernobyl belastete Land in Skandinavien. Eine finnische Studie zeigt einen deutlichen Anstieg der Frühgeburtslichkeit bei Kindern, die in den ersten vier Monaten nach Tschernobyl in den Teilen Finnlands gezeugt wurden, die die höchsten Dosisraten und Bodenbelastungen mit Cäsium-137 aufwiesen.<sup>38</sup> Scherb und Weigelt analysierten zudem die Entwicklung der Totgeburten in Finnland. Im Zeitraum von 1977 bis 1994 fanden sie hierbei einen hochsignifikanten Wendepunkt im Jahr 1987.

29 Hoffmann, W.: Fallout from the Chernobyl nuclear disaster and congenital malformations in Europe. *Archives of Environmental Health* 56 (2001) 478-484. Inge Schmitz-Feuerhake, Fehlbildungen in Europa und der Türkei, *Strahlentelex*, 374-375/2002, S. 9 f.

30 A. Körblein: Strontium fallout from Chernobyl and perinatal mortality in Ukraine and Belarus. *Radiats Biol. Radioecol.* 2003 Mar-Apr; 43(2):197-202. *Strahlentelex*, 398-399/2003, S. 5.

31 Alfred Körblein 2005: Studies of pregnancy outcome following the Chernobyl accident. Unpublished.

32 Alfred Körblein: Säuglingssterblichkeit nach Tschernobyl. Bericht Nr. 24/2003 des Otto Hug Strahleninstituts, S. 6-34.

33 Alfred Körblein 2005: Studies of pregnancy outcome following the Chernobyl accident. Unpublished.

34 H.Scherb, E Weigelt (2003): *Environ Sci & Pollut Res • Special Issue* 1 (2003): 117 – 125

35 Hagen Scherb, Eveline Weigelt: Zunahme der Perinatalsterblichkeit, Totgeburten und Fehlbildungen in Deutschland, Europa und in hoch belasteten Gebieten deutschen und europäischen Regionen nach dem Reaktorunfall von Tschernobyl im April 1986. Bericht Nr. 24/2003 des Otto Hug Strahleninstituts, S. 35-75.

36 <http://www.alfred-koerblein.de/chernobyl/deutsch/index.htm>

37 Körblein, A.: Säuglingssterblichkeit nach Tschernobyl in skandinavischen Ländern, *Strahlentelex* 510 -511, 2008

38 T. Harjulehto, T. Aro, H. Rita, T. Rytömaa, L. Saxén: The accident at Chernobyl and outcome of pregnancy in Finland. *Br Med J.* 1989; 298: 995-997. *Strahlentelex* 178-189/1994, S. 7, Neugeborenensterblichkeit nach Tschernobyl.

## 7.6. Veränderung des Geschlechterverhältnisses

Normalerweise ist das Geschlechterverhältnis, also die Rate der männlichen zu weiblichen Neugeborenen für eine Region konstant. In der kaukasischen Region beträgt es etwa 106 Jungen zu 100 Mädchen. Jede Veränderung stellt einen Indikator für mögliche Belastungen der Mütter oder der ungeborenen Kinder während der Schwangerschaft dar. Da ionisierende Strahlung Mutationen im Erbgut und Zellschäden verursacht, kann sie auch zu Frühaborten führen und somit das Geschlechterverhältnis bei der Geburt beeinflussen.

Scherb zeigte in seiner Analyse des Geschlechterverhältnisses in Europa, dass es in Abhängigkeit der Höhe des Tschernobylfallouts zu signifikant weniger Mädchengeburten kommt. Er errechnete, dass infolge der Tschernobylkatastrophe ca. 800.000 Mädchen in ganz Europa weniger geboren wurden, also vermutlich bereits als Embryonen oder Föten durch die Folgen der Strahlung verstarben und die Schwangerschaft (zum Teil sicher unbemerkt) vorzeitig mit einem Frühabort endete.<sup>39</sup>

Seit dieser Arbeit haben Scherb und Voigt zahlreiche weitere Atomstandorte (Atomkraftwerke, Atommülllager) untersucht und überall das gleiche Phänomen gefunden: Weniger Mädchengeburten in Abhängigkeit zur jeweiligen Strahlenexposition, auch wenn sich diese nur im Bereich von ca. 1 mSv bewegt<sup>40 41</sup>.

Damit zeigt sich, dass sich die Lehrmeinung von der 100 mSv-Schwelle, unter der keine genetischen oder teratogenen Schäden sichtbar werden, nicht aufrechterhalten lässt.

## 7.7. Chromosomenaberrationen

Durch ionisierende Strahlung wird die Rate chromosomaler Aberrationen gesteigert, während sie spontan nur sehr selten entstehen. Dizenrische Chromosomen als typische strahleninduzierte Aberrationen wurden bei Überlebenden der Atombombenexplosionen in Hiroshima und Nagasaki, nach Strahlenunfällen und nach beruflicher Strahlenexposition nachgewiesen.

Chromosomendefekte in Lymphozyten können als quantitativer biologischer Indikator zur Abschätzung der Körperdosis verwendet werden. Dabei wird unter dem Mikroskop im Blutausstrich der Lymphozyten nach dizenrischen oder Ringchromosomen gesucht. Ebenfalls wird mittels der Fluoreszenzmikroskopie nach Translokationen gesucht. Hierbei handelt es sich um den gegenseitigen Austausch von Chromosomenstücken – die Erbsubstanz wird vom ursprünglichen auf ein „falsches“ Chromosom übertragen. Bleibende Chromosomenaberrationen sind nicht zwangsläufig Synonym für eine Erkrankung, allerdings signalisieren sie, wie hoch das Ausmaß der Zellschädigung ist. Das Risiko für die Entwicklung einer Krebskrankheit oder für die Entwicklung einer Erbgutschädigung durch Schädigung der Eizellen oder Spermien wächst.

In den Registrierungs- und Forschungszentren der drei von der Tschernobylkatastrophe betroffenen ehemaligen Sowjetrepubliken wurde an zahlreichen kontaminierten Bevölkerungsgruppen der Nachweis für einen Anstieg von Chromosomenaberrationen geführt, nicht nur bei hochbestrahlten Gruppen wie den Liquidatoren, sondern sogar bei Reisenden, die sich nur für kurze Zeit in den Tagen nach dem Unfall im kontaminierten Gebiet aufgehalten hatten. Yablokov gibt eine Übersicht über die Befunde der Chromosomenschädigungen.<sup>42</sup> Im Folgenden werden exemplarisch einige der zahlreichen Studien dazu aufgeführt.

Schmitz-Feuerhake und Pflugbeil präsentierten auf der internationalen Konferenz der „Physicians of Chernobyl“ die Berechnungen aus Studien zu Chromosomenaberrationen von Evakuierten der 30 km Zone und der stark verstrahlten Region Gomel.<sup>43</sup> (vgl. Tabelle 7-3 auf der folgenden Seite)

39 H.Scherb, K.Voigt: Trends in the Human Sex Odds at Birth in Europe and the Chernobyl Nuclear Power Plant accident; in: *Reprod. Toxicol* 2007 Jun;23(4):593-9. Epub 2007 Apr 5, [http://www.strahlentelex.de/Stx\\_10\\_558\\_S01-04.pdf](http://www.strahlentelex.de/Stx_10_558_S01-04.pdf)

40 Scherb, H., Voigt, K., (2011): The human sex odds at birth after the atmospheric atomic bomb tests, after Chernobyl, and in the vicinity of nuclear facilities. *Environ Sci Pollut Res Int* 18(5) 697- 707.

41 Scherb, H., Voigt, K., Kusmierz, R., (2015): 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(12) 841-850.

42 Yablokov AV, Nesterenko VB, Nesterenko AV: Chernobyl - Consequences of the Catastrophe for people and environment; *Annals of the New York Academy of Sciences*, Vol 1181; 2009, S. 65 - 71

43 I. Schmitz-Feuerhake, S. Pflugbeil (2006): How reliable are the dose estimates of UNSCEAR for populations contaminated by Chernobyl fallout? A comparison of results by physical reconstruction and biological dosimetry

Region	Untersuchte	Datum der Untersuchung	Methode	Resultat Mittlere Erhöhung + Besonderheiten	Autor	Bemerkungen
Evakuierte aus Pripjat und Umgebung	43 Erwachsene	1986	Dic	18-Mal, keine Überdispersion	Maznik et al. 1997	Resultat des Autors 430 mSv
Evakuierungszone	60 Kinder	1986	Dic+cr	15-Mal, Keine Überdispersion	Mikhalevich et al. 2000	Resultat des Autors 400 mSv
Evakuierte aus Pripjat und Umgebung	102 Erwachsene, 10 Kinder	1987–2001	Dic+cr	Maximum 18-Mal in 1987, danach Rückgang aber noch erhöht	Maznik 2004	Resultat des Autors 360 mSv
Evakuierungszone	244 Kinder	1991	Dic+cr	circa 100-Mal *)	Sevan´kaev et al. 1993	Dosiskalkulation nach IAEA (1991) 1-8 mSv
Evakuierte aus Pripjat	24 Kinder	1991–1992	Dic	circa 3-Mal *)	DeVita et al. 2000	
Evakuierte der 30 km Zone	12 Erwachsene	1995	Dic+cr	7–10 Mal *)	Pilinskaya et al. 1999	
Bewohner der Evakuierungszone	33 nicht evakuierte Erwachsene	1998-1999	Dic+cr	5.5-Mal	Bezdrobnaia et al. 2002	

**Tabelle 7-3:**

Biologische Dosimetrie bei Evakuierten der 30-km-Zone  
**Dic** dicentrische Chromosomen, **cr** Ringchromosomen

\*) Abschätzung durch die Autoren

Untersuchte	Datum der Untersuchung	Methode	Resultat Mittlere Erhöhung & Besonderheiten	Autor	Bemerkungen
43 schwangere Frauen 18 Kleinkinder	1986–1987	Dic+cr	5-Mal 40-Mal	Feshenko et al. 2002	
8 Personen	1988–1990	Dic+cr	circa 40-Mal *)	Serezhenkov et al. 1992	Vergleich mit ESR
330 gesunde Erwachsene	1988–1990	Dic+cr, Tralo, FISH	15-Mal 6,5-Mal	Domracheva et al. 2000	
46 Patienten mit hämatologischen Krebserkrankungen	1988–1990	Dic+cr, Tralo, FISH	(6-18)-Mal (6,5-16)-Mal	Domracheva et al. 2000	
35 Erwachsene	1990	Dic	circa 30-Mal *) Überdispersion; 2 multiaberrante Zellen	Verschaeve et al. 1993	
36 Kinder	1994	Dic	(3,2-8)-Mal	Barale et al. 1998	
20 Kinder	1996	Tralo, FISH	3-Mal signifikant	Scarpato et al. 1997	Kontrollen aus Pisa
70 Kinder	1996	Dic+cr	18-Mal	Gemignani et al. 1999	10 Jahre nach dem Unfall

**Tabelle 7-4:**

Biologische Dosimetrie Einwohner von Gomel und Gomel-Region

**Dic** dicentrische Chromosomen, **cr** Ringchromosomen,  
**Tralo** Translokationen

\*) Abschätzung durch die Autoren

Aus der Zahl der Chromosomenaberrationen lassen sich Rückschlüsse auf die Strahlendosis ziehen, der die Untersuchten ausgesetzt sein mussten. Neben den zytogenetischen Studien führen Schmitz-Feuerhake und Pflugbeil bei den Dosisberechnungen auch die Ergebnisse von Imanaka and Koide an, die allein für die externe Dosis auf eine durchschnittliche Strahlendosis von 20-320 mSv kommen (vgl. Tabelle 7-4).

Das Phänomen der Überdispersion sowie das Vorkommen multiaberranter Zellen weisen auf die Exposition durch Alpha-Strahlung hin, z.B. durch Plutonium (vgl. Tabelle 7-5).

Region	<sup>137</sup> Cs kBq/m <sup>2</sup>	Untersuchte	Datum der Untersu- chung	Methode	Resultat Mittlere Erhöhung & Besonderheiten	Autor	Bemerkungen
Ukraine / Region Lugyny Malahovka		130 Kinder	1988–1990	Dic+cr	Erhöhung bis zu 6.6-Mal in 1990	Eliseeva et al. 1994	Effekt nicht erklärbar auf- grund von <sup>137</sup> Cs
Russland/Kaluga Region Mladenik Ogor	140 43	17 Erwachsene 16 Erwachsene	1989	Dic+cr	ca. 5-Mal *) ca. 2-Mal *)	Bochkov et al. 1991	
Russland/Provinz Bryansk Clynka Yordevka Klincy	633 444 230	61 Erwachsene 432 Erwachsene 170 Erwachsene	1989–1998	Dic+cr	7-Mal 1.5-Mal 2-Mal	Sevan'kaev 2000	2 multiaberrante Zellen
Russland/Kaluga Region Uljanovo Chicdra	140 100	666 Erwachsene 548 Erwachsene			4-Mal 2.5-Mal		27 multiaberrante Zellen
Kaluga-Bryansk Region Provinz Uljanova Provinz Chicdra	200 100	333 Kinder & Jugendliche 407 Kinder & Jugendliche	1989–1998 1990–2003	Dic+cr	3-Mal 3.7-Mal keine Erhöhung	Sevan'kaev et al. 2005	Physikalische Abschätzungen (bis 2001) 11.4 mSv und 6.7 mSv
Ukraine Region	> 550	6 Erwachsene	1991	Dic	ca. 5-Mal*)	Ganina et al. 1994	
Bryansk and Provinz Bryansk	> 550	1300	1992	instabil; stabil	5 % > 400 mSv 1 % 1000 mSv	Vorob'ev et al. 1994	Physikalische Abschätzungen 17-35 mSv, multiaberrante Zellen
Provinz Bryansk Mirnye	> 1100	100 Erwachsene	1993	cr	4-Mal, 6 multiaberrante Zellen	Salomaa et al. 1997	Kontrollen von Krasnye Rog < 37 kBq/m <sup>2</sup> (Dics 0,43%, multiaberrante Zellen 2)

**Tabelle 7-5:**

Biological dosimetry in highly contaminated regions <sup>137</sup>Cs 37 kBq/m<sup>2</sup>  
**Dic** dicentrische Chromosomen, **cr** Ringchromosomen

\*) Abschätzung durch die Autoren

Einigen der oben aufgeführten Studien sollen im Folgenden kurz näher erläutert werden. Stepanova et al. zeigten in ihrer Studie an 87 Kindern (Gruppe 1: Kinder von Überlebenden einer akuten Strahlenerkrankung, Geburt zwischen 1987–1988; Gruppe 2: Evakuierte Kinder aus der Region Pripjat, Geburt zwischen 1983–1985; Kontrollgruppe: Kinder aus nicht kontaminierten Regionen), dass sowohl die Kinder der Überlebenden von akuten Strahlenerkrankungen als auch die Kinder, die aus der Pripjat-Region evakuiert wurden, eine signifikante Erhöhung von Chromosomen-Aberrationen gegenüber der Kontrollgruppe aufwiesen.<sup>44</sup>

Pilinskaya et al. untersuchten über einen Zeitraum von 14 Jahren verschiedene stark kontaminierte Gruppen von Tschernobyl-Opfern (Überlebende vom akuten Strahlenerkrankungen, Liquidatoren und Personen aus kontaminierten Regionen) und fanden bei allen Gruppen einen erheblichen Anstieg der chromosomalen Aberrationen und stellten fest, dass auch relativ geringe Dosen Chromosomenaberrationen verursachen können.<sup>45</sup>

Baleva et al. beschrieben genetische Instabilität als Folge von lang andauernder radioaktiver Exposition und die Rolle der DNS-Reparaturmechanismen in Bezug auf unterschiedliche Krankheiten wie Krebs oder Fehlbildungen bei Kindern.<sup>46</sup> Aus einer Gesamtpopulation von 104.555 russischen Kindern wurden 608 Kinder ausgewählt, die in kontaminierten Regionen der Provinz Bryansk lebten. Die Kinder waren entweder evakuiert oder umgesiedelt worden oder Kinder von Liquidatoren. Die Cäsium-Bodenkontamination der Region überstieg 1.665 kBq/m<sup>2</sup>. Als Kontrollgruppe diente eine Kohorte von Kindern aus der Provinz Bryansk ohne radioaktive Bodenkontamination. Gruppe 1 waren Kinder, die vor Tschernobyl geboren waren, Gruppe 2 Kinder, die in utero und danach kontaminiert wurden (Geburt 1987–1988), Gruppe 3 waren Kinder, die zwischen 1988 und 1993 geboren wurden und Gruppe 4 Kinder, die zwischen 1995 und 2000 geboren wurden. Die Kinder aus den bestrahlten Zonen zeigten einen signifikanten Anstieg von Chromosomenaberrationen in Bezug zu der Kontrollgruppe, sowohl dizentrische und Ringchromosomen als auch Translokationen. Beim Vergleich der bestrahlten Gruppen untereinander zeigten die Kinder, die vor 1986 geboren waren, eine höhere Rate an Re-

paraturmechanismen. Alle Kinder, die in utero Strahlung ausgesetzt waren oder in der Zeit nach Tschernobyl geboren waren, verfügten über deutlich weniger chromosomale Reparaturmechanismen. Die Fähigkeit ihrer Körperzellen, adaptiv mittels Reparaturmechanismen der Strahlenbelastung zu begegnen, war schneller erschöpft. Die Häufung von Fehlbildungen, perinataler Mortalität und das erhöhte Krebsrisiko in den bestrahlten Populationen aller drei von Tschernobyl betroffenen ehemaligen Sowjetrepubliken dürfte auch auf diese Folgeerscheinung der chronischen Strahlenexposition zusammenhängen.

44 Stepanova, E. I., Misharina, J.A. (1997): Cytogenic effects in children born to participants in the cleanup of the Chernobyl accident consequences – acute radiation syndrome survivors and children evacuated from Pripjat (IAEA CN 67/19) [https://inis.iaea.org/search/search.aspx?orig\\_q=RN:29017301](https://inis.iaea.org/search/search.aspx?orig_q=RN:29017301)

45 Pilinskaia MA, Shemetun AM, Dybski SS, Dybskaia EB, Pedan LR, Shemetun EV: The results of 14 year cytogenetic monitoring of priority follow-up groups of Chernobyl accident victims in: Vest Ross Akad Med Nauk. 2001;(10):80-4.

46 Alla E. Sipyagina, Larisa S. Baleva, Nataliya M. Karakhan, Vladimir S. Sukhorukov: Role of Postradiation Genome Instability in Evaluating the Development of Radiation-Determined Pathology in Children After the Chernobyl; In AASCIT Journal of Medicine 2015; 1(2): 18-22 Accident and Investigation Perspectives

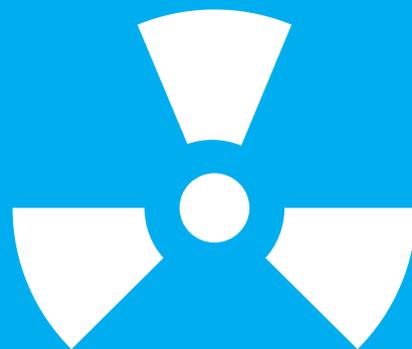




## **Teil B:** 5 Jahre Leben mit Fukushima

Überblick über die gesundheitlichen  
Folgen der Atomkatastrophe

## 1. Der Beginn der Atomkatastrophe



Am 11. März 2011 ereignete sich vor der Ostküste Japans ein Erdbeben der Größenordnung 9,0 auf der Richterskala. Das sogenannte Tōhoku-Erdbeben führte zu einem Tsunami, der entlang der Küste massive Zerstörungen anrichtete. Mehr als 15.000 Menschen starben als direkte Folge des Erdbebens und des Tsunamis, mehr als 500.000 Menschen mussten evakuiert werden. Auch mehrere Atomkraftwerke wurden durch die Naturkatastrophe beeinträchtigt. Während die Lage in den meisten von ihnen jedoch unter Kontrolle gebracht werden konnte, wurde das Atomkraftwerk Fukushima Dai-ichi durch das Erdbeben stark beschädigt und die Stromversorgung zum Kühlsystem unterbrochen, sodass es zur Kernschmelze der Brennstäbe in den Reaktoren 1 bis 3 kam.

Der durch das Beben ausgelöste Tsunami erschwerte die Situation zusätzlich. Die verantwortliche Betreiberfirma Tokyo Electric Power Company (TEPCO) begann damit, Dampf aus den Reaktoren abzulassen. Größere Explosionen durch ansteigenden Druck im Inneren der Reaktoren sollten so verhindert werden. Der Dampf trug jedoch auch große Mengen radioaktiver Partikel in die Atmosphäre – eine Gefahr für die Bevölkerung, die zum damaligen Zeitpunkt als das geringere Übel angesehen wurde.

Während Japan in Bezug auf Notfallplanungen bei Erdbeben und Tsunamis zu den am besten vorbereiteten Ländern der Welt gehört, waren die japanischen Behörden vom dreifachen Super-GAU und der Ausbreitung der radioaktiven Wolke hoffnungslos überfordert. Am Abend des 11. März wurde eine erste Evakuierung aus der Drei-Kilometer-Zone angeordnet, am Abend des 12. März dann aus einer Zone von 20 Kilometer um die havarierten Reaktoren. Zu diesem Zeitpunkt hatte schon die erste Wasserstoffexplosion im Reaktor 1 stattgefunden. 200.000 Menschen wurden insgesamt aufgefordert, ihre Häu-

ser zu verlassen.<sup>1</sup> Der damalige japanische Regierungschef Naoto Kan gab nachträglich zu Protokoll, dass die Metropolregion Tokio-Yokohama mit mehr als 30 Millionen Einwohnern „nur um ein Haar“ der radioaktiven Kontamination entgangen war. In den Tagen nach Beginn der Atomkatastrophe wehte der Wind vor allem Richtung Osten, so dass ein Großteil des radioaktiven Niederschlages (schätzungsweise rund 76%) über dem Pazifik erfolgte.<sup>2</sup> An einem einzigen Tag, dem 15. März 2011, kam der Wind von Südosten, so dass sich bis heute eine Spur radioaktiver Kontamination mehr als 30 km nach Nordwesten bis zur Kleinstadt Iitate zieht. Ein einziger Tag mit Wind aus dem Norden in diesen Tagen hätte große Teile Tokios verstrahlt und zur Evakuierung der japanischen Hauptstadt geführt. Ex-Premier Kan gibt zu, dies hätte „den Kollaps unseres Landes bedeutet“ und macht „eine Reihe glücklicher Zufälle“ und „göttliche Fügung“ dafür verantwortlich, dass es nicht so weit gekommen war.<sup>3</sup>

Am 14. und 15. März führten mehrere Explosionen zur Zerstörung der Reaktoren 2 und 3 und verursachten ein Feuer im Abklingbecken des Reaktors 4. Um die Brennstäbe zu kühlen, trafen die Verantwortlichen von TEPCO die umstrittene Entscheidung, Meerwasser in die Reaktorgebäude zu pumpen. Diese Maßnahme konnte jedoch einen weiteren Temperaturanstieg nicht verhindern, da die Brennstäbe bereits freigelegt wa-

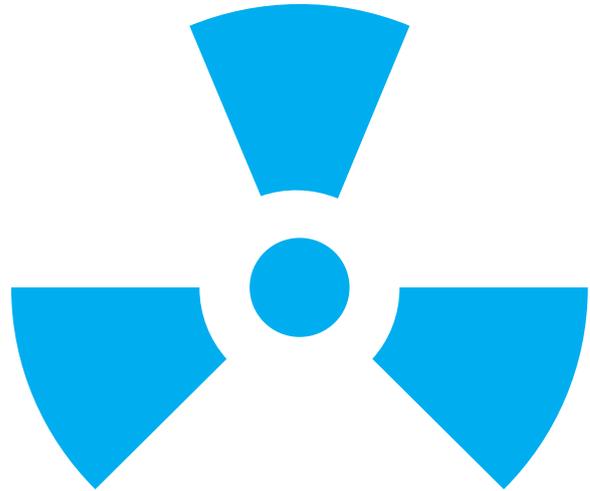
1 International Atomic Energy Agency (IAEA). „Fukushima Nuclear Accident Update“, 12.03.11. [www.iaea.org/newscenter/news/2011/fukushima120311.html](http://www.iaea.org/newscenter/news/2011/fukushima120311.html).

2 Evangeliou N et al. „Global deposition and transport efficiencies of radioactive species with respect to modelling credibility after Fukushima (Japan, 2011)“. J Environ Radioact., 2015 Nov;149:164-75. <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/26254209>

3 Wagner W. „Ex-Premier Kan über Fukushima-Katastrophe: ‚Die Frage war, ob Japan untergeht‘“. Spiegel Online, 09.10.15. <http://www.spiegel.de/politik/ausland/ex-premier-ueber-fukushima-die-frage-war-ob-japan-untergeht-a-1056836.html>

ren. Laut TEPCO und WissenschaftlerInnen der Universität von Nagoya schmolzen 100% aller Brennstäbe im Reaktor 1, 70–100% der Brennstäbe im Reaktor 2 und 63% der Brennstäbe im Reaktor 3.<sup>4,5</sup> Das Kühlwasser wurde in den Reaktoren radioaktiv verseucht und floss in großen Mengen zurück in die Grundwasserreservoirs und ins offene Meer.

Am 25. März wurden Bewohner in einem Umkreis von 30 Kilometer um das Atomkraftwerk gebeten, freiwillig ihre Häuser und die kontaminierte Region zu verlassen. Am 12. April wurden die Kernschmelzen in Fukushima zum Atomunfall der Stufe 7 erklärt, der höchsten Stufe auf der Internationalen Bewertungsskala für Nukleare Ereignisse (INES), die zuvor nur von der Atomkatastrophe von Tschernobyl erreicht worden war. Am 22. April dehnte die japanische Regierung ihre Evakuierungsempfehlungen schließlich auf die Dörfer Katsurao, Namie, Iitate und Teile von Kawamata und Minami-Soma und damit auf Ortschaften aus, die bis zu 50 Kilometer entfernt von den havarierten Reaktorgebäuden liegen. Jodtabletten verteilten die Behörden nicht an die Bevölkerung, so dass diese dem radioaktiven Jod-131 ungeschützt ausgesetzt wurde. Die Weltgesundheitsorganisation WHO kritisiert dies in ihrem Bericht zur Atomkatastrophe und gibt an, dass die zu erwartenden Schilddrüsendosen der Bevölkerung sich durch die Unterlassung dieser wichtigen präventiven Maßnahme erhöht hätten.<sup>6</sup> In ihrem offiziellen Bericht vom Juni 2012 kam die unabhängige Untersuchungskommission des japanischen Parlaments zu dem Schluss, dass es sich bei der Atomkatastrophe von Fukushima nicht bloß um die Folge einer Naturkatastrophe handelte, sondern vielmehr um ein „Unglück von Menschenhand“:



*„Die Kommission stellt fest, dass sich die Situation zunehmend verschlechterte, da das Krisenmanagement des Kantei [Büro des japanischen Premierministers], der Aufsichtsbehörden und anderer verantwortlicher Institutionen nicht richtig funktionierte. (...) Die Verwirrung der Anwohner über die Evakuierung hatte ihre Ursache in der Fahrlässigkeit der Aufsichtsbehörden und ihrem jahrelangen Versagen, ausreichende Maßnahmen für den Fall eines Atomunglücks zu implementieren, sowie der Untätigkeit vorheriger Regierungen und Aufsichtsbehörden bezüglich des Krisenmanagements. Das Krisenmanagementsystem des Kantei und der Aufsichtsbehörden sollte die öffentliche Gesundheit und Sicherheit schützen, versagte jedoch in dieser Funktion.“<sup>7</sup>*

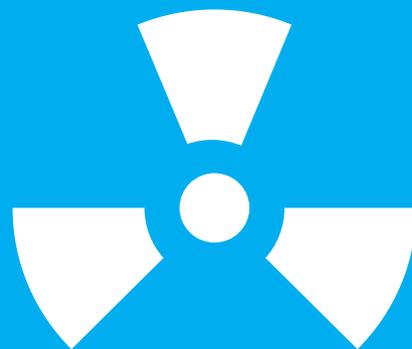
4 Japanese Atomic Information Forum (JAIF). „TEPCO: Melted fuel ate into containment vessel“. Earthquake Report No. 278, 01.12.11. [www.jaif.or.jp/english/news\\_images/pdf/ENGNEWS01\\_1322709070P.pdf](http://www.jaif.or.jp/english/news_images/pdf/ENGNEWS01_1322709070P.pdf).

5 Kumai H. „Researchers: More than 70% of No. 2 reactor's fuel may have melted“. Asahi Shimbun, 27.09.15. <http://ajw.asahi.com/article/0311disaster/fukushima/AJ201509270023>

6 World Health Organisation (WHO). „Preliminary dose estimation from the nuclear accident after the 2011 Great East Japan Earthquake and Tsunami“. 23.05.1212, p.49. [http://whqlibdoc.who.int/publications/2012/9789241503662\\_eng.pdf](http://whqlibdoc.who.int/publications/2012/9789241503662_eng.pdf)

7 The National Diet of Japan. „The official report of The Fukushima Nuclear Accident Independent Investigation Commission of the National Diet of Japan“. 05.07.12, p 18–19. [http://www.nirs.org/fukushima/naaic\\_report.pdf](http://www.nirs.org/fukushima/naaic_report.pdf)

## 2. Emissionen und Kontamination



Die multiplen Kernschmelzen von Fukushima stellen die größte Atomkatastrophe seit dem Super-GAU von Tschernobyl im Jahr 1986 dar. Seit März 2011 treten täglich radioaktive Isotope aus den havarierten Reaktoren aus. Die Katastrophe dauert bis zum heutigen Tag an, auch wenn die Atomindustrie und Institutionen der Atomlobby wie die Internationale Atomenergie Organisation (IAEO) gerne von einem singulären Ereignis sprechen, das sich im Frühjahr 2011 ereignete und seitdem unter Kontrolle sei. Dabei werden jedoch die kontinuierlichen Emissionen langlebiger Radionuklide wie Cäsium-137 oder Strontium-90 in die Atmosphäre, das Grundwasser und den Ozean ignoriert sowie die Rekontamination der Region durch Stürme, Überflutungen, Waldbrände, Pollenflug, Niederschlag oder gar durch Dekontaminationsarbeiten, die immer wieder zum Aufwirbeln und zur Verbreitung radioaktiver Isotope führen.<sup>1</sup> So wurden bereits deutlich außerhalb der Evakuierungszonen – auch mehrere Jahre nach Beginn der Atomkatastrophe – relevante Neukontaminationen mit Cäsium-137, aber auch mit Strontium-90 festgestellt.<sup>2</sup>

Im Bayerischen Wald wird selbst 30 Jahre nach dem Super-GAU von Tschernobyl noch so viel radioaktives Cäsium-137 in Wildtieren und Pilzen gemessen, dass diese als Strahlenmüll entsorgt werden müssen – 30 Jahre entsprechen gerade einmal

der Halbwertszeit von Cäsium-137.<sup>3,4</sup> Es ist davon auszugehen, dass ein ähnliches Schicksal auch der Flora und Fauna in den betroffenen Gebieten in Japan droht. Eine Dekontamination bewaldeter Flächen, ganzer Gebirgszüge oder anderer dicht bewachsener Zonen ist aussichtslos und wird gar nicht erst versucht, so dass die Gefahr radioaktiver Exposition auch in mehreren Jahrzehnten in Fukushima und den Nachbarpräfekturen noch Thema sein wird. Das ursprüngliche Ziel, sämtliche kontaminierte Regionen wieder bewohnbar zu machen, haben die japanischen Behörden bereits als unrealistisch verworfen.<sup>5</sup>

Die Auswaschung radioaktiver Stoffe in Böden und Grundwasser stellt eine zusätzliche Gefahr für die Menschen in der Region dar. Hinzu kommen Lecks und Unfälle auf dem Gelände des Atomkraftwerks, vor allem aus den rissigen Kellergewölben der Reaktorgebäude und den eilig zusammengeschweißten Containern für radioaktiv kontaminiertes Kühlwasser, die jetzt schon zahlreiche Lecks aufweisen. Bis heute fließen TEPCOs eigenen Angaben zufolge jeden Tag unkontrolliert ca. 300 Tonnen radioaktive Abwässer in den Ozean – mehr als 500.000 Tonnen seit Beginn der Atomkatastrophe.<sup>6</sup> Die Menge und Zusammensetzung der radioaktiven Isotope schwankt dabei so stark, dass

1 Higaki S, Hirota M. „The reductive effect of an anti-pollinosis mask against internal exposure from radioactive materials dispersed from the Fukushima Daiichi Nuclear Disaster“. *Health Phys.* 2013 Feb;104(2):227-31, Februar 2013. [www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/23274827](http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/23274827).

2 Steinhauser G et al. „Post-Accident Sporadic Releases of Airborne Radionuclides from the Fukushima Daiichi Nuclear Power Plant Site“. *Environ. Sci. Technol.* 2015, 49, 14028–14035. <http://pubs.acs.org/doi/pdf/10.1021/acs.est.5b03155>

3 Bundesministerium für Gesundheit. „Radioaktive Belastung von Wildschweinen“. 08.04.11. [http://bmg.gv.at/home/Schwerpunkte/VerbraucherInnenengesundheit/Radioaktive\\_Belastung\\_von\\_Wildschweinen](http://bmg.gv.at/home/Schwerpunkte/VerbraucherInnenengesundheit/Radioaktive_Belastung_von_Wildschweinen).

4 Hawley C. „A Quarter Century after Chernobyl: Radioactive Boar on the Rise in Germany“. *Spiegel Online*, 30.07.10. [www.spiegel.de/international/zeitgeist/a-quarter-century-after-chernobyl-radioactive-boar-on-the-rise-in-germany-a-709345.html](http://www.spiegel.de/international/zeitgeist/a-quarter-century-after-chernobyl-radioactive-boar-on-the-rise-in-germany-a-709345.html).

5 Aoki M et al. „Government secretly backtracks on Fukushima decontamination goal“. *The Asahi Shimbun*, 16.06.13. <http://ajw.asahi.com/article/0311disaster/fukushima/AJ201306160022>.

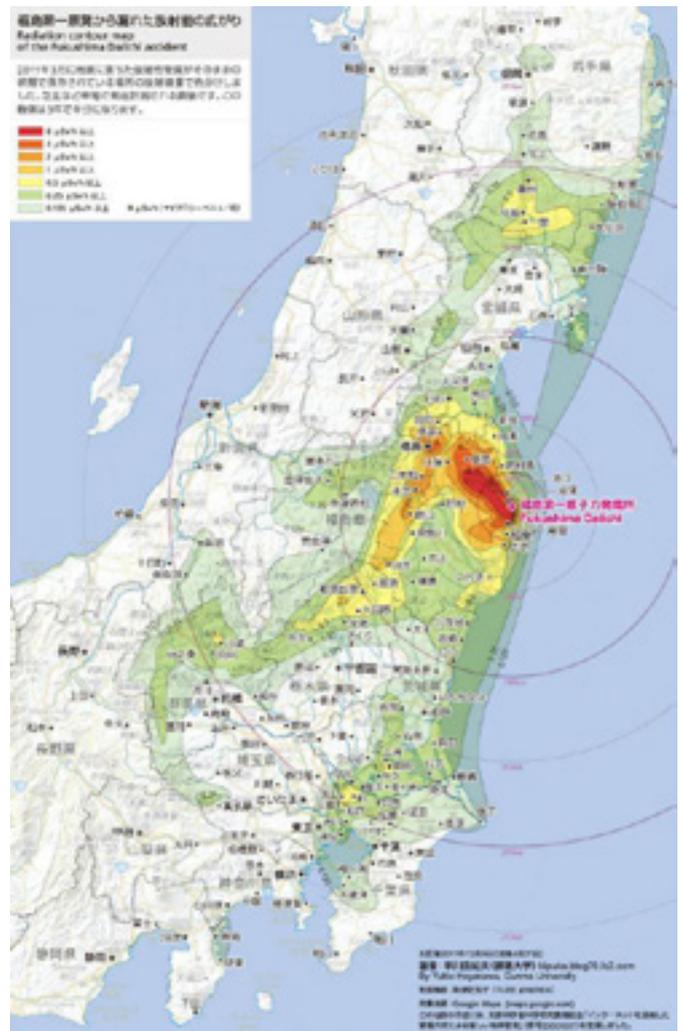
6 Tsukimori O, Hamada K. „Japan government: Fukushima plant leaks 300 tpd of contaminated water into sea | Reuters“. *Reuters*, 07. 08.13. <http://www.reuters.com/article/2013/08/07/us-japan-fukushima-water-idUSBRE9760AU20130807>.

keine zuverlässigen Aussagen über die konkreten Folgen für Meeresflora und -fauna gemacht werden können. Klar ist jedoch, dass auch immer mehr Strontium-90 ins Meer gespült wird – ein radioaktives Isotop, das in lebenden Organismen ähnlich wie Kalzium in Knochen und Zähne eingebaut wird, eine signifikante Akkumulation in der marinen Nahrungskette erfährt und aufgrund seiner langen biologischen und physikalischen Halbwertszeit über ca. 300 Jahre die Umgebung verstrahlt.<sup>7</sup>

Schätzungsweise 23% des radioaktiven Niederschlags der Atomkatastrophe von Fukushima ging über dem japanischen Festland nieder.<sup>8</sup> Die am schwersten betroffenen Regionen liegen dabei auf der Osthälfte und im Zentrum der japanischen Hauptinsel Honshu, während die Westküste der Insel durch eine topographische Wetterscheide größtenteils vom radioaktiven Niederschlag verschont blieb. Doch auch weit im Süden und Norden des Inselstaats wurden erhöhte Ortsdosisleistungen gemessen.<sup>9</sup> So kamen Menschen in ganz Japan in Kontakt mit radioaktiven Isotopen – über eingeatmete Luft, verstrahltes Wasser oder kontaminierte Lebensmittel. Daher ist es wichtig, die Strahlenbelastung der Bevölkerung nicht nur für Fukushima und die benachbarten Präfekturen Chiba, Gunma, Ibaraki, Iwate, Miyagi und Tochigi zu messen, sondern auch weiter entfernt gelegene Präfekturen zu erfassen, die ebenfalls vom radioaktiven Niederschlag betroffen sind. So erhielten sowohl Tokio als auch die Präfekturen Kanagawa, Saitama, Shizuoka und Tokai am 15. und 21. März relevante Mengen radioaktiven Niederschlags.<sup>10</sup> Grünteepflanzen in der Präfektur Shizuoka, 400 km südlich von Fukushima und 140 km südlich von Tokio, wurden so stark radioaktiv kontaminiert, dass der 2011 geerntete Tee aus dem Handel gezogen werden musste.<sup>11</sup> Die Karte der Universität von Gunma zeigt die radioaktive Kontamination der japanischen Hauptinsel Honshu Ende 2012.

Die unterschiedlichen Wege, auf denen Menschen mit Radioaktivität infolge der Atomkatastrophe in Berührung kommen können, sind:

- » Äußere Strahleneinwirkung durch sogenannten „cloud-shine“, also die direkte Strahleneinwirkung durch die ra-



**Abbildung 2-1:**

Karte der radioaktiven Kontamination Nordostjapans

dioaktive Wolke, wobei hier alle Radioisotope in Frage kommen, beispielsweise Xenon-133, Jod-131 und Cäsium-137

- » Äußere Strahleneinwirkung durch sogenannten „ground-shine“, also die direkte Strahleneinwirkung durch bodennahe (terrestrische) strahlende Partikel, vor allem Gammastrahler wie Barium-137m, ein Zerfallsprodukt von Cäsium-137
- » Äußere Strahleneinwirkung durch oberflächliche Kontamination von Haut, Haaren und Kleidung, vor allem durch Betastrahler wie Cäsium-137, Strontium-90 oder Jod-131
- » Innere Strahleneinwirkung durch Inhalation von radioaktiven Partikeln mit der Atemluft, insbesondere Alpha-

7 Kiger PJ. „Fukushima’s Radioactive Water Leak: What You Should Know“. National Geographic, 09.08.13. <http://news.nationalgeographic.com/news/energy/2013/08/130807-fukushima-radioactive-water-leak/>

8 Evangeliou N et al. „Global deposition and transport efficiencies of radioactive species with respect to modelling credibility after Fukushima (Japan, 2011)“. J Environ Radioact. 2015 Nov;149:164-75. <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/26254209>

9 Hirose K. „Fukushima Dai-ichi nuclear power plant accident: summary of regional radioactive deposition monitoring results“. J. Environ. Radioact. 111, 13-17. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jenvrad.2011.09.003>

10 Priest ND. „Radiation doses received by adult Japanese populations living outside Fukushima Prefecture during March 2011, following the Fukushima 1 nuclear power plant failures“. J Environ Radioact 2012 Dec; 114:162-170. [www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/22770771](http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/22770771).

11 Shizuoka Prefectural Government. „Test Results for Radioactivity on Tea Produced in Shizuoka Prefecture“. 20.05.11. [www.pref.shizuoka.jp/sangyou/sa-340/20110520\\_test\\_results\\_radio\\_activity.html](http://www.pref.shizuoka.jp/sangyou/sa-340/20110520_test_results_radio_activity.html).

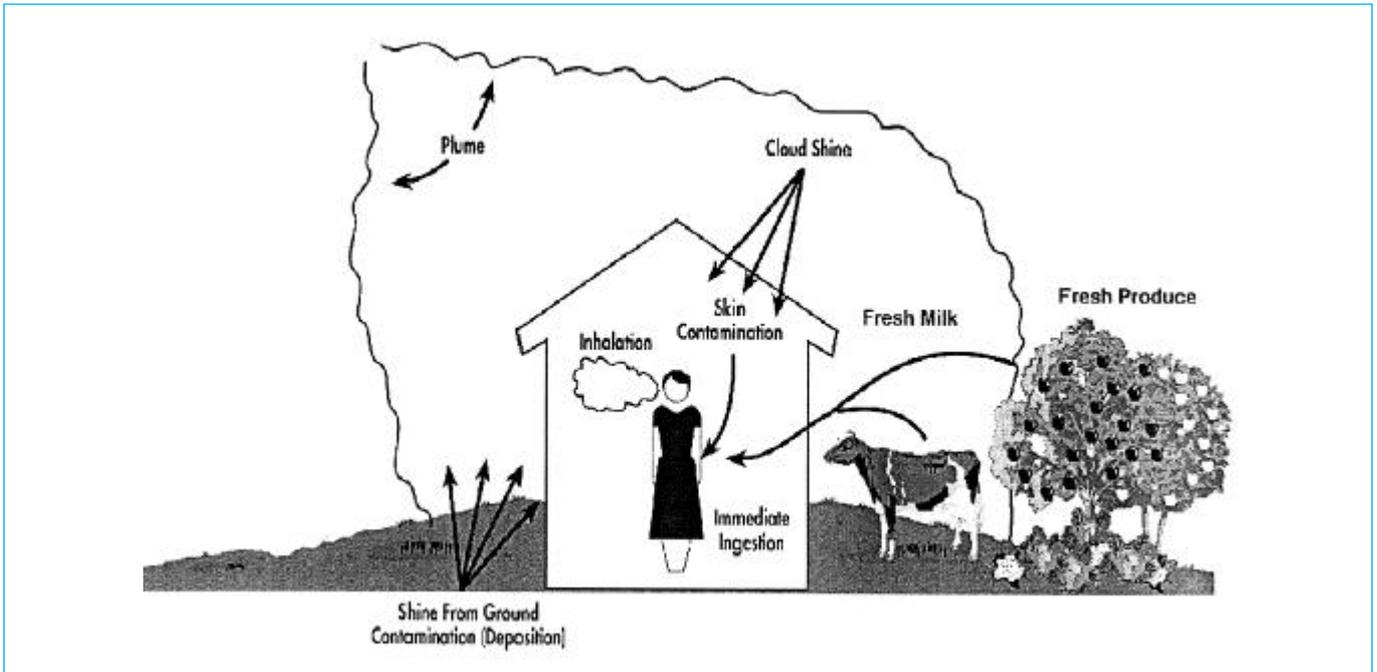


Abbildung 2-2:

Darstellung der unterschiedlichen Expositionspfade mit Radioaktivität

strahler wie Plutonium oder Betastrahler wie Cäsium-137, Strontium-90 und Jod-131

- » Innere Strahleneinwirkung durch Ingestion von radioaktiven Partikeln mit Nahrung oder Trinkwasser, insbesondere Alphastrahler wie Plutonium oder Betastrahler wie Cäsium-137, Strontium-90 und Jod-131

Für die Berechnung individueller und kollektiver Strahlendosen ist es somit von Bedeutung, sowohl die Gesamtmenge radioaktiver Emissionen als auch die Strahlenwerte der Atemluft sowie der Nahrung zu kennen. In den folgenden Kapiteln soll kurz auf die zur Verfügung stehenden Daten bezüglich der jeweiligen Strahlendosis eingegangen werden.

## 2.1. Atmosphärische Emissionen

Der Rauch der vier größeren Explosionen und des Feuers im Abklingbecken von Reaktor 4, das Verdampfen des Kühlwassers und das bewusste Entlüften der unter Druck stehenden Reaktoren führten wiederholt zum Ausstoß radioaktiver Isotope in die Atmosphäre. Über den Umfang dieser in der Fachliteratur auch als ‚source term‘ (‚Quellterm‘) bezeichneten Gesamtemissionsmenge herrscht, ähnlich wie bei der Atomkatastrophe von Tschernobyl, bis heute Dissens. Während Wissenschaftler unabhängiger Institutionen tendenziell höhere Werte errechneten, zitieren die WHO oder der Wissenschaftliche Ausschuss der Vereinten Nationen zur Untersuchung der Auswirkungen der

atomaren Strahlung (UNSCEAR) die weitaus geringeren Zahlen der Japanischen Atomenergie-Agentur (JAEA) für ihre Berechnungen.<sup>12</sup>

So errechneten die Wissenschaftler Stohl et al. am Norwegischen Institut für Luftforschung (Norsk institutt for luftforskning – NILU), dass im Zeitraum vom 12. bis zum 19. März etwa 35,8 PBq (Konfidenzintervall 23,3 – 50,1) Cäsium-137 durch das Fukushima Atomkraftwerk Dai-ichi ausgestoßen wurden.<sup>13</sup> Die JAEA jedoch schätzt die Ausstoßmenge von Cäsium-137 mit 13 PBq deutlich niedriger ein.<sup>14</sup>

Es erscheint angemessen, eine Metaanalyse aller vorliegenden Quelltermberechnungen heranzuziehen. Die wohl umfassendste Betrachtung der Emissionsabschätzungen stellt dabei die Über-

12 Terada H et al. „Atmospheric discharge and dispersion of radionuclides during the Fukushima Dai-ichi Nuclear Power Plant accident. Part II: verification of the source term and analysis of regional-scale atmospheric dispersion“. J Environ Radioact 2012 Oct; 112: 141–154. www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0265931X12001373.

13 Stohl A et al. „Xenon-133 and caesium-137 releases into the atmosphere from the Fukushima Dai-ichi nuclear power plant: determination of the source term, atmospheric dispersion, and deposition“. Atmos. Chem. Phys. Discuss. 11, Nr. 10 (20.10.11): 28319–28394.

14 Terada H et al. „Atmospheric discharge and dispersion of radionuclides during the Fukushima Dai-ichi Nuclear Power Plant accident. Part II: verification of the source term and analysis of regional-scale atmospheric dispersion“. J Environ Radioact 2012 Oct; 112: 141–154. www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0265931X12001373.

sichtsarbeit von Aliyu et al. vom September 2015 dar.<sup>15</sup> Hier werden die Angaben aus 14 verschiedenen wissenschaftlichen Arbeiten verglichen und einer kritischen Analyse unterzogen. Die Schätzungen der einzelnen Radioisotope werden dabei wie folgt angegeben:

Radioisotop	Freigesetzte Menge	Quellen
Jod-131	150-160 PBq	Masson 2011
Cäsium-137	12-55 PBq	IRSN 2012, Masson 2011, Kantei 2011, Stohl 2012
Strontium-90	0,01-0,14 PBq	Povinec 2012

**Tabelle 2-1:**

Abschätzungen atmosphärischer Emissionen durch die Atomkatastrophe von Fukushima<sup>16, 17, 18, 19, 20, 21</sup>

Die Berechnung der Emissionsmengen ist für die Abschätzung der Strahlendosis und somit für die Prognose zukünftig zu erwartender Gesundheitsfolgen höchst relevant. Es sollte selbstverständlich sein, dass zum Schutz der Öffentlichkeit die glaubhaftesten und verlässlichsten Daten herangezogen werden, da das Ziel sein muss, Menschen vor den Folgen der Strahlung adäquat zu schützen. Es ist daher nicht verständlich, weshalb von Seiten der WHO oder UNSCEAR statt der Daten unabhängiger und neutraler Institutionen die niedrigst-möglichen Schätzungen herangezogen wurden. Verwunderlich ist zudem die Beschränkung auf die Daten der JAEA, da gerade diese Institu-

tion im Zuge der Atomkatastrophe vom japanischen Parlament beschuldigt wurde, durch Korruption, Kollusion und mangelnde Sorgfalt zu den Ereignissen im Atomkraftwerk Fukushima Dai-ichi beigetragen zu haben. Sie als neutrale Quelle in diesem Zusammenhang zu zitieren, verbietet sich somit von selbst.

Zudem gilt es zu beachten, dass sich sämtliche Schätzungen der Emissionsmengen auf den Ausstoß während der ersten Tage und Wochen der Atomkatastrophe beschränken, obwohl bis heute täglich weiter Radioaktivität aus den Reaktoren austritt – vor allem durch Verdunstung von radioaktiv kontaminiertem Kühlwasser. An dieser Stelle muss zudem erwähnt werden, dass zusätzlich zu den bekannten radioaktiven Stoffen Jod-131, Cäsium-137 und Strontium-90 auch deren kurzlebiger Isotope Jod-133, Cäsium-134 und Strontium-89 freigesetzt wurden – im Fall von radioaktivem Cäsium beispielsweise in einem Verhältnis von 1:1 Cäsium-134 zu Cäsium-137, so dass die Angabe der freigesetzten Mengen Cäsium-137 nur die Hälfte der tatsächlich gesundheitsrelevanten Stoffe wiedergibt. Zusätzlich gelangten eine Vielzahl strahlender Partikel in die Atmosphäre, deren Auswirkungen auf die menschliche Gesundheit zum Teil noch nicht adäquat untersucht wurden. Laut Angaben der japanischen Regierung wurden im Zuge der Atomkatastrophe relevante Mengen folgender Stoffe freigesetzt: Plutonium-239 und -240, Barium-140, Tellur-127m, Tellur-129m, Tellur-131m, Tellur-132, Ruthenium-103, Ruthenium-106, Zirkonium-95, Cer-141, Cer-144, Neptunium-239, Yttrium-91, Praseodymium-143, Neodymium-147, Curium-242, Jod-132, Jod-135, Antimon-129, Molybdän-99 und Xenon-133.<sup>22</sup> Diese Stoffe wurden in die Emissionsschätzungen der JAEA nicht mit einbezogen, obwohl sie zum Teil in Grundwasser-, Sediment- und Bodenproben in der Präfektur Fukushima gefunden wurden.<sup>23</sup> Durch die Beschränkung auf die Daten der JAEA für die Abschätzung der Emissionen laufen sowohl die Publikationen der WHO als auch von UNSCEAR Gefahr, die gesundheitlichen Folgen systematisch zu unterschätzen.

15 Aliyu AS et al. „An overview of current knowledge concerning the health and environmental consequences of the Fukushima Daiichi Nuclear Power Plant (FDNPP) accident“. *Environ. Internat.* 85 (2015) 213-228. <http://cricket.biol.sc.edu/chernobyl/papers/Sadiq-et-al-EI-2015.pdf>

16 Masson O et al. „Tracking of airborne radionuclides from the damaged Fukushima Dai-ichi nuclear reactors by European networks.“ *Environ. Sci. Technol.* 45, 7670–7677. <http://dx.doi.org/10.1021/es2017158>.

17 IRSN, 2012. Fukushima, one year later. Initial Analyses of the Accident and Its Consequences. Institut de Radioprotection et de Surete Nucleaire

18 Masson, O et al. „Tracking of airborne radionuclides from the damaged Fukushima Dai-ichi nuclear reactors by European networks.“ *Environ. Sci. Technol.* 45, 7670–7677. <http://dx.doi.org/10.1021/es2017158>.

19 Report of Japanese Government to the IAEA Ministerial Conference on Nuclear Safety – The Accident at TEPCO’s Fukushima Nuclear Power Plant“. June 2011. [www.kantei.go.jp/foreign/kan/topics/201106/iaea\\_houkokusho\\_e.html](http://www.kantei.go.jp/foreign/kan/topics/201106/iaea_houkokusho_e.html)

20 Stohl A et al. „Xenon-133 and caesium-137 releases into the atmosphere from the Fukushima Dai-ichi nuclear power plant: determination of the source term, atmospheric dispersion, and deposition“. *Atmos. Chem. Phys. Discuss.* 11, Nr. 10 (20.10.11): 28319–28394.

21 Povinec PP et al. „Radiostrontium in the western North Pacific: characteristics, behavior, and the Fukushima impact“. *Environ Sci Technol.* 2012 Sep 18;46(18):10356-63. <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/22873743>

Abschließend ist neben der Gesamtmenge der einzelnen Radioisotope nicht zuletzt auch deren räumliche Verteilung von Relevanz. Studien griechischer und französischer Wissenschaftler zufolge ereignete sich der Großteil des radioaktiven Niederschlags (ca. 76%) über dem Pazifischen Ozean und etwa 23% über dem japanischen Festland. Infolge des radioaktiven Niederschlags über der Hauptinsel Honshu stieg die Ortsdosisleistung dort von durchschnittlich 0,05 mSv/h vor Beginn der Atomkatastrophe auf das 10- bis 760-fache mit Werten zwi-

22 Nuclear Emergency Response Headquarters. „Report of Japanese Government to the IAEA Ministerial Conference on Nuclear Safety – The Accident at TEPCO’s Fukushima Nuclear Power Plant“, 07.06.11. [www.iaea.org/newscenter/focus/fukushima/japan-report/](http://www.iaea.org/newscenter/focus/fukushima/japan-report/).

23 Zheng J et al. „Isotopic evidence of plutonium release into the environment from the Fukushima DNPP accident“. *Sci. Rep.* 2 (08.03.12). [doi:http://www.nature.com/srep/2012/120308/srep00304/full/srep00304.html](http://www.nature.com/srep/2012/120308/srep00304/full/srep00304.html).

schen 0,5 und 38 mSv/h.<sup>24</sup> Die restlichen 2 % der radioaktiven Emissionen verteilten sich Analysen zufolge über Kanada (40 TBq), den USA (95 TBq), Grönland (5 TBq), dem Nordpol (69 TBq), Europa (14 TBq), vor allem Russland, Schweden und Norwegen sowie anderen Teilen Asiens (47 TBq), vor allem Russland, den Philippinen und Südkorea.<sup>25</sup> Die Tatsache, dass sich der Großteil des Niederschlags über dem Ozean ereignete, ist zwar als Glücksfall für die Bewohner der umliegenden Prä-fektoren zu werten, bedeutet jedoch keineswegs, dass diese Strahlenmengen keine Gefahr mehr für die menschliche Gesundheit darstellen, wie im folgenden Kapitel erörtert werden soll.

## 2.2. Emissionen in den Pazifischen Ozean

Die radioaktive Verseuchung des Pazifischen Ozeans vor der japanischen Ostküste stellt den wohl schwerwiegendsten ökologischen Schaden der Atomkatastrophe von Fukushima dar. Neben dem direkten radioaktiven Niederschlag über dem Meer sind die anhaltenden Freisetzungen von kontaminiertem Wasser aus den havarierten Atomreaktoren ein weiterer wichtiger Faktor für die radioaktive Verseuchung des Pazifiks. Zur Kühlung der Reaktoren werden seit fast drei Jahren kontinuierlich enorme Wassermengen in die Reaktorgebäude gepumpt. Dadurch fallen täglich große Mengen von radioaktivem Abwasser an, die seit Beginn der Katastrophe ununterbrochen ins Meer abgelassen werden, in Grundwasserdepots versickern oder in der Atmosphäre verdunsten. In der Frage nach der Gesamtmenge der radioaktiven Verseuchung des Pazifiks geht die Forschungsgruppe von Kawamura et al. der Japanischen Atomenergie Organisation JAEA von insgesamt 124 PBq Jod-131 und 11 PBq Cäsium-137 aus. Allerdings bezieht sich die Studie der JAEA nur auf einen sehr engen Zeitraum zwischen dem 21. März und 6. April 2011. Bezüglich der radioaktiven Freisetzungen zwischen dem 11. und 21. März, also in den zehn Tagen direkt nach den ersten Explosionen im Atomkraftwerk, schreibt der Autor: „No direct release into the ocean was assumed before March 21 because the monitoring data were not available during this period.“ Ähnlich wird mit dem radioaktiven Niederschlag nach dem 6. April 2011 verfahren: „There is no information on the amounts released into the atmosphere from April 6. It was

assumed, therefore, that the radioactive materials were not released into the atmosphere from April 6.“<sup>26</sup>

Die andauernde radioaktive Kontamination des Ozeans wird somit nicht berücksichtigt, obwohl selbst die Betreiberfirma TEPCO zugibt, dass seit Beginn der Katastrophe täglich rund 300 Tonnen radioaktiv belastetes Abwasser ins Meer fließen. Forscher der französischen Atombehörde IRSN schätzten immerhin, dass zwischen März und Juli 2011 eine Menge von 12-41 PBq Cäsium-137 in den Pazifik freigesetzt wurde.<sup>27</sup> Die Emissionen von Strontium-90, die ebenfalls in substantiellen Mengen in den Ozean gelangt sein dürfte und eine mindestens ebenso große Gefährdung der marinen Nahrungskette darstellt, werden in den meisten Studien ebenfalls nicht berücksichtigt. Eine Ausnahme bildet die Forschungsgruppe um Povinec der Universität von Bratislava, die von einer Gesamtemissionsmenge von 0,1-2,2 PBq Strontium-90 in den Pazifik ausgeht.<sup>28</sup>

Radioisotop	Freigesetzte Menge	Quellen
Jod-131	124 PBq	Kawamura 2011
Cäsium-137	12-41 PBq	Bailly du Bois 2012
Strontium-90	0,1-2,2 PBq	Povinec 2012

**Tabelle 2-2:**

Ab-schätzungen der Emissionen durch die Atomkatastrophe von Fukushima in den Pazifik<sup>29 30 31</sup>

24 Aliyu AS et al. „An overview of current knowledge concerning the health and environmental consequences of the Fukushima Daiichi Nuclear Power Plant (FDNPP) accident“. *Environ. Internat.* 85 (2015) 213-228. <http://cricket.biol.sc.edu/chernobyl/papers/Sadiq-et-al-EI-2015.pdf>

25 Evangeliou N et al. „Global deposition and transport efficiencies of radioactive species with respect to modelling credibility after Fukushima (Japan, 2011)“. *J Environ Radioact.* 2015 Nov;149:164-75. <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/26254209>

26 Kawamura H et al. „Preliminary Numerical Experiments on Oceanic Dispersion of 131I and 137Cs Discharged into the Ocean because of the Fukushima Daiichi Nuclear Power Plant Disaster“. *Journal of Nuclear Science and Technology*, 01.11.11. [www.tandfonline.com/doi/pdf/10.1080/18811248.2011.9711826](http://www.tandfonline.com/doi/pdf/10.1080/18811248.2011.9711826).

27 Bailly du Bois P et al. „Estimation of marine source-term following Fukushima Dai-ichi accident.“ *J Environ Radioact.* 2012 Dec;114:2-9. <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/22172688>

28 Povinec PP et al. „Radiostrontium in the western North Pacific: characteristics, behavior, and the Fukushima impact“. *Environ Sci Technol.* 2012 Sep 18;46(18):10356-63. <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/22873743>

29 Kawamura H et al. „Preliminary Numerical Experiments on Oceanic Dispersion of 131I and 137Cs Discharged into the Ocean because of the Fukushima Daiichi Nuclear Power Plant Disaster“. *Journal of Nuclear Science and Technology*, 01.11.11. [www.tandfonline.com/doi/pdf/10.1080/18811248.2011.9711826](http://www.tandfonline.com/doi/pdf/10.1080/18811248.2011.9711826).

30 Bailly du Bois P et al. „Estimation of marine source-term following Fukushima Dai-ichi accident.“ *J Environ Radioact.* 2012 Dec;114:2-9. <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/22172688>

31 Povinec PP et al. „Radiostrontium in the western North Pacific: characteristics, behavior, and the Fukushima impact“. *Environ Sci Technol.* 2012 Sep 18;46(18):10356-63. <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/22873743>

Trotz dieser gravierenden Mängel in der Erfassung der Gesamtemissionsmenge in den Pazifik und der andauernden wissenschaftlichen Diskussion um die realistischsten Schätzungen besteht international Konsens, dass die Atomkatastrophe von Fukushima schon jetzt die schwerwiegendste radioaktive Verseuchung der Weltmeere aller Zeiten darstellt – neben den Folgen der oberirdischen Atomwaffentests, dem radioaktiven Niederschlag von Tschernobyl und den radioaktiven Emissionen nuklearer Wiederaufbereitungsanlagen wie Sellafield und La Hague.<sup>32 33 34</sup>

Messungen des Meerwassers in der Nähe des Atomkraftwerks Fukushima, durchgeführt von der IAEA und der deutschen Gesellschaft für Anlagen- und Reaktorsicherheit (GRS), zeigten Konzentrationen radioaktiven Jods von 130.000 Bq/l, und radioaktivem Cäsium von bis zu 63.000 Bq/l.<sup>35 36 37</sup> Der „Normalwert“ von Cäsium-137 im oberflächlichen Meereswasser des Nordpazifiks beträgt laut Woods Hole Oceanographic Institution (WHOI) durchschnittlich 0,004 Bq/l, wobei auch diese Menge nicht natürlichen Ursprungs ist, sondern strahlendes Erbe oberirdischer Atomwaffentests.<sup>38</sup> Einen Normwert für Jod-131 im Ozean gibt es aufgrund der geringen Halbwertszeit nicht – normales Meerwasser enthält kein Jod-131.

Die Meereskontamination hat direkte Auswirkungen auf die marine Flora und Fauna. Die Gewässer nordöstlich des Atomkraftwerks Fukushima zählten vor der Atomkatastrophe zu den wichtigsten Fischereigeieten der Welt. Etwa die Hälfte des japanischen Fischfangs kam aus diesem Gebiet. Nun zeigen Fische und andere Meerestiere, die vor den Präfekturen Fukushima und Ibaraki gefangen werden, zum Teil so stark erhöhte Strahlenwerte, dass sie wie radioaktiver Abfall entsorgt werden

müssen.<sup>39 40</sup> Die Kontamination des Pazifischen Ozeans wird durch den anhaltenden Zufluss von radioaktiven Abwässern in Zukunft zudem weiter steigen.

Von der Atomindustrie wird oft behauptet, der Verdünnungseffekt vermindere die Auswirkungen des ins Meer abgelassenen radioaktiven Abfalls auf die Umwelt und die marine Nahrungskette. Es muss jedoch bedacht werden, dass die radioaktiven Partikel durch Verdünnung nicht verschwinden, sondern sich lediglich über ein größeres Gebiet verteilen. Dies ist aus zwei Gründen gefährlich: Durch die Verbreitung radioaktiver Kontamination im Pazifischen Ozean sind mehr Menschen potentiell betroffen, da es keine sichere Untergrenze für Radioaktivität gibt.<sup>41</sup> Sogar die kleinste Strahlendosis kann, mit Wasser oder Nahrung aufgenommen, Krankheiten verursachen. Zweitens kommt es im Zuge von Meeresbeben oder Stürmen zum Aufwirbeln sedimentierter langlebiger Radioisotope wie Cäsium-137 und Strontium-90, die immer wieder erneut über die trophische Kaskade zu einer Ansammlung von Radioaktivität in Fischen führen. In zahlreichen Planktonproben vor der Küste von Fukushima wurden bereits 2012 deutlich erhöhte Konzentrationen von Cäsium-137 gemessen.<sup>42</sup> Vom Plankton gelangt das radioaktive Cäsium-137 in kleinere Fische, die von größeren Fischen gefressen werden, die wiederum auf den Fischmärkten rund um den Pazifik landen.<sup>43</sup> Insbesondere das knochenaffine Strontium mit seiner langen biologischen Halbwertszeit, aber auch die radioaktiven Isotope des Cäsiums stellen durch Bioakkumulation in der marinen Nahrungskette somit eine Gefährdung auch für die Bevölkerung der Anrainerstaaten sowie für alle potentiellen Konsumenten von Algen, Meeresfrüchten und Fisch aus den betroffenen Gebieten dar. Besonders in einem Land wie Japan, in dem diese Nahrungsmittel einen großen Teil der Ernährung ausmachen, ist die langfristige radioaktive Kontamination von Meerestieren und Algen ein relevanter Faktor, wie im folgenden Kapitel näher erläutert werden soll.

32 Institut de Radioprotection et de Sûreté Nucléaire (IRSN). „Synthèse actualisée des connaissances relatives à l'impact sur le milieu marin des rejets radioactifs du site nucléaire accidenté de Fukushima Dai-ichi“. 26.10.11. [www.irsn.fr/fr/actualites\\_presse/actualites/documents/irsn-ni-impact\\_accident\\_fukushima\\_sur\\_milieu\\_marin\\_26102011.pdf](http://www.irsn.fr/fr/actualites_presse/actualites/documents/irsn-ni-impact_accident_fukushima_sur_milieu_marin_26102011.pdf).

33 Woods Hole Oceanographic Institution (WHOI). „Researchers Assess Radioactivity Released to the Ocean from the Fukushima Daiichi Nuclear Power Facility“. 06.12.11. [www.who.edu/page.do?pid=7545&tid=282&cid=123049&ct=162](http://www.who.edu/page.do?pid=7545&tid=282&cid=123049&ct=162).

34 IAEA. „Worldwide marine radioactivity studies (WOMARS) – Radionuclide levels in oceans and seas“. Januar 2005. [www-pub.iaea.org/MTCD/publications/PDF/TE\\_1429\\_web.pdf](http://www-pub.iaea.org/MTCD/publications/PDF/TE_1429_web.pdf).

35 IAEA. „Fukushima Nuclear Accident Update“. 31.03.11. [www.iaea.org/newscenter/news/2011/fukushima310311.html](http://www.iaea.org/newscenter/news/2011/fukushima310311.html).

36 Weiss D. „Contamination of water, sediments and biota of the Northern Pacific coastal area the vicinity of the Fukushima NPP“. Gesellschaft für Anlagen- und Reaktorsicherheit, 31.10.11. [www.eurosafe-forum.org/userfiles/2\\_2\\_%20paper\\_marine%20environment\\_Fukushima\\_20111031.pdf](http://www.eurosafe-forum.org/userfiles/2_2_%20paper_marine%20environment_Fukushima_20111031.pdf).

37 Buessler K et al. „Impacts of the Fukushima nuclear power plants on marine radioactivity“. *Environ Sci Technol.* 2011 Dec 1;45(23):9931-5. 01.12.11. [www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/22013920](http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/22013920).

38 WHOI. „Radiation in the Ocean“. Center for Marine and Environmental Radiation, 2013. <http://www.ourradioactiveocean.org/>.

39 Weiss D. „Contamination of water, sediments and biota of the Northern Pacific coastal area the vicinity of the Fukushima NPP“. Gesellschaft für Anlagen- und Reaktorsicherheit, 31.10.11. [www.eurosafe-forum.org/userfiles/2\\_2\\_%20paper\\_marine%20environment\\_Fukushima\\_20111031.pdf](http://www.eurosafe-forum.org/userfiles/2_2_%20paper_marine%20environment_Fukushima_20111031.pdf).

40 Japanese Ministry of Agriculture, Forestry and Fisheries (MAFF). „Results of the emergency monitoring inspections – provisional translation“. 13.04.11. [www.jfa.maff.go.jp/e/inspection/pdf/20110413\\_fukushima\\_kou-nago\\_en.pdf](http://www.jfa.maff.go.jp/e/inspection/pdf/20110413_fukushima_kou-nago_en.pdf).

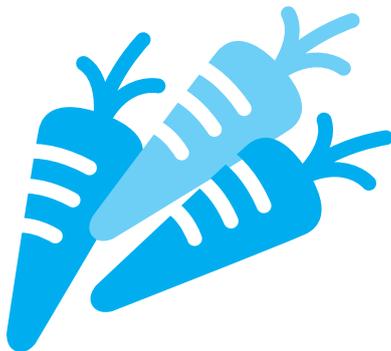
41 National Academy of Sciences Advisory Committee on the Biological Effects of Ionizing Radiation (BEIR). „BEIR VII report, phase 2: Health risks from exposure to low levels of ionizing radiation“. 2006. [www.nap.edu/openbook.php?record\\_id=11340&page=8](http://openbook.nap.edu/openbook.php?record_id=11340&page=8).

42 Aliyu AS et al. „An overview of current knowledge concerning the health and environmental consequences of the Fukushima Daiichi Nuclear Power Plant (FDNPP) accident“. *Environ. Internat.* 85 (2015) 213-228. <http://cricket.biol.sc.edu/chernobyl/papers/Sadiq-et-al-El-2015.pdf>

43 Buessler KO et al. „Fukushima-derived radionuclides in the ocean and biota off Japan.“ *Proc. Natl. Acad. Sci. USA* 109, 5984-5988. [www.pnas.org/content/109/16/5984.full.pdf](http://www.pnas.org/content/109/16/5984.full.pdf)

### 2.3. Radioaktive Kontamination von Lebensmitteln

Neben der Gesamtmenge der Emissionen spielt die radioaktive Kontamination von Nahrungsmitteln und Trinkwasser eine bedeutende Rolle bei der Gesamtstrahlenlast, der eine Person infolge einer Atomkatastrophe ausgesetzt ist. Wie bereits erwähnt, gibt es keinen „sicheren Grenzwert“ für Radioaktivität bei Nahrungsmitteln und Trinkwasser. Potentiell können sogar geringste Mengen zu Zellschäden, zur Mutationen des Erbguts und zur Krebsentstehung führen.<sup>44</sup> Laut Schätzungen der Gesellschaft für Reaktorsicherheit (GRS) wird eine Person durch die Aufnahme natürlicher Radionuklide in Nahrungsmitteln und Trinkwasser normalerweise ungefähr 0,3 mSv an interner Strahlung pro Jahr ausgesetzt. Um übermäßigen Gesundheitsrisiken vorzubeugen, kann dieser Wert als „akzeptabler Richtwert“ für die Strahlenbelastung durch Nahrungs- und Flüssigkeitsaufnahme betrachtet werden. Um dieses Niveau nicht zu überschreiten, sollte die Menge an Cäsium-137 8 Bq/kg in Milch und Babynahrung sowie 16 Bq/kg in allen anderen Nahrungsmitteln nicht übersteigen. Radioaktives Jod, mit seiner kurzen Halbwertszeit, sollte in Lebensmitteln überhaupt nicht auftauchen. In Japan beträgt das zugelassene Niveau von radioaktivem Cäsium-137 allerdings 50 Bq/kg in Milch und Babynahrung und 100 Bq/kg in allen anderen Nahrungsmitteln. Für radioaktives Jod-131 beträgt das zugelassene Niveau 100 Bq/kg für Säuglingsnahrung, 300 Bq/kg für Milch und andere Flüssigkeiten und 2.000 Bq/kg für feste Lebensmittel.<sup>45</sup> Damit sind die japanischen Grenzwerte zwar strenger als die der Europäischen Union (siehe Tabellen), aber weiterhin nicht niedrig genug, um übermäßige Gesundheitsrisiken wirksam zu verhindern.



	Säuglingsnahrung und Milchprodukte	Andere Nahrungsmittel
Japan	50 Bq/kg	100 Bq/kg
EU	370 Bq/kg	600 Bq/kg
Forderung der IPPNW	8 Bq/kg	16 Bq/kg

**Tabelle 2-3:**  
Grenzwerte für radioaktives Cäsium (Cs-134/Cs-137)<sup>46</sup>

	Säuglingsnahrung	Milch und Flüssigkeiten	Feste Nahrungsmittel
Japan	100 Bq/kg	300 Bq/kg	2.000 Bq/kg
EU	150 Bq/kg	500 Bq/kg	2.000 Bq/kg
Forderung der IPPNW	0 Bq/kg	0 Bq/kg	0 Bq/kg

**Tabelle 2-4:**  
Grenzwerte für radioaktives Jod (v.a. I-131)<sup>47</sup>

Die Kernschmelzen von Fukushima verursachten vor allem in den ersten Monaten eine bedeutende Verseuchung von Nahrungsmitteln und Trinkwasser. Laut IAEO ergaben eine Woche nach dem Erdbeben nahezu alle Gemüse- und Milchproben in den Präfekturen Ibaraki und Fukushima Werte von Jod-131 und Cäsium-137, die die japanischen Grenzwerte für Radioaktivität in Nahrungsmitteln übertrafen.<sup>48</sup> In den Monaten nach der Katastrophe wurden immer wieder sehr hohe Kontaminationen in Lebensmitteln gefunden:

- » **Obst und Gemüse:** Außerhalb der Evakuierungszone in der Präfektur Fukushima fand sich in der Untersuchung des japanischen Wissenschaftsministeriums (MEXT) eine Woche nach dem Erdbeben verseuchtes Gemüse in den Gemeinden Iitate, Kawamata, Tamura, Ono, Minamisoma, Iwaki, Tsukidate, Nihonmatsu, Sirakawa, Sukagawa, Ootama, Izumizaki und Saigou, einige mit Konzentrationen von Jod-131 in Höhe von 2.540.000 Bq/kg und von Cäsium-137 in Höhe von 2.650.000 Bq/kg. Einen Monat nach den Kernschmelzen wurden in einigen Regionen nach wie vor Jod-131 Konzentrationen über

44 National Academy of Sciences Advisory Committee on the Biological Effects of Ionizing Radiation (BEIR). „BEIR VII report, phase 2: Health risks from exposure to low levels of ionizing radiation“. 2006. [www.nap.edu/openbook.php?record\\_id=11340&page=8](http://www.nap.edu/openbook.php?record_id=11340&page=8)

45 Foodwatch. Kalkulierter Strahlentod“. 20.09.11. [www.foodwatch.org/uploads/tx\\_abdownloads/files/foodwatch\\_report\\_kalkulierterStrahlentod\\_20110920.pdf](http://www.foodwatch.org/uploads/tx_abdownloads/files/foodwatch_report_kalkulierterStrahlentod_20110920.pdf)

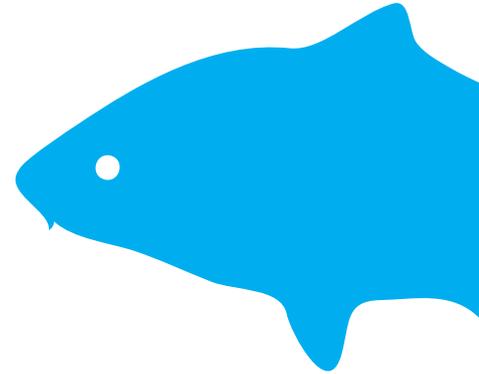
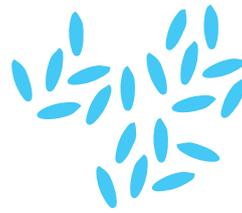
46 Foodwatch. „Strahlen-Grenzwerte für Lebensmittel“. 23.10.2012. <https://www.foodwatch.org/de/informieren/strahlenbelastung/mehr-zum-thema/eu-grenzwerte>

47 Foodwatch. „Strahlen-Grenzwerte für Lebensmittel“. 23.10.2012. <https://www.foodwatch.org/de/informieren/strahlenbelastung/mehr-zum-thema/eu-grenzwerte>

48 IAEA. „Fukushima Nuclear Accident Update“, 24.03.11. [www.iaea.org/newscenter/news/2011/fukushima240311.html](http://www.iaea.org/newscenter/news/2011/fukushima240311.html)

100.000 Bq/kg und Cäsium-137 Konzentrationen über 900.000 Bq/kg festgestellt.<sup>49</sup> In der Präfektur Ibaraki, ca. 100 km südlich des Atomkraftwerks von Fukushima, fand die Regierung Spinat mit Konzentrationen von radioaktivem Jod bis zu 54.100 Bq/kg und radioaktivem Cäsium bis zu 1.931 Bq/kg. Neben Spinat enthielten andere Gemüseproben ebenfalls Radioisotope, vor allem Senfpflanzen mit 1.200 Bq/kg Jod-131, Petersilie mit 12.000 Bq/kg Jod-131 und 110 Bq/kg Cäsium-137 und Shiitake-Pilze mit 8.000 Bq/kg Cäsium-137. Geringere Radioaktivität wurde im Salat, in Zwiebeln, Tomaten, Erdbeeren, Weizen und Gerste gefunden.<sup>50</sup>

- » **Milch:** In den Wochen nach Beginn der Katastrophe warnte selbst die IAEA vor dem Verzehr von Milch aus der Präfektur Fukushima, da sie gefährliche Mengen von radioaktivem Jod-131 und Cäsium-137 enthielt.<sup>51</sup>
- » **Rindfleisch:** Der Rindfleischvertrieb musste für einige Zeit beschränkt werden, da die radioaktiven Isotope in Rindfleisch aus den Präfektoren Fukushima, Tochigi, Miyagi, Iwate die zulässigen Grenzwerte überschritten.<sup>52</sup>
- » **Reis:** Laut der Präfekturregierung Fukushimas wurde im Bezirk Onami und in der Stadt Date verseuchter Reis mit Cäsiumkonzentrationen bis zu 1.050 Bq/kg gefunden.<sup>53</sup> Bis heute überschreitet Reis aus Fukushima in Stichproben immer wieder die gesetzlich festgelegten Grenzwerte.<sup>54</sup> Gerüchte, dass kontaminierter Reis mit unkontaminiertem so lange gemischt wird, bis die Grenzwerte erreicht werden, konnten bislang nicht ausgeräumt werden.
- » **Trinkwasser:** Die IAEA warnte im Frühjahr 2011, dass die Grenzwerte von Jod-131 in Trinkwasserproben überschritten wurden, die vom 17. bis 23. März in den Präfektoren Fukushima, Ibaraki, Tochigi, Gunma, Chiba und



Saitamar gesammelt wurden.<sup>55</sup> Sogar in nördlichen Bezirken Tokios enthielt Leitungswasser zwischenzeitlich bis zu 210 Bq/l Jod-131, so dass auch hier vor der Verwendung als Trinkwasser gewarnt wurde.<sup>56</sup>

- » **Fisch und Meeresfrüchte:** In Fischen und Meeresfrüchten, die in der Nähe des Atomkraftwerks Fukushima Daiichi gefangen wurden, findet man bis heute erhöhte Cäsium-Konzentrationen von mehr als 10.000 Bq/kg – in Extremfällen sogar bis zu 740.000 Bq/kg.<sup>57 58 59 60</sup>
- » **Tee:** Nach Aussage der Präfekturregierung von Shizuoka wurden ca. 400 Kilometer von Fukushima entfernt Teeblätter gefunden, die mit 679 Bq/kg radioaktivem Cäsium-137 verseucht waren. Im Juni 2011 wurde aus Japan stammender, radioaktiv belasteter Grüner Tee in Frankreich entdeckt.<sup>61</sup>

49 Ministry of Education, Culture, Sports, Science and Technology (MEXT). „Important Information from Japanese Government, Readings of Dust Sampling“. 18.04.11. [http://eq.wide.ad.jp/files\\_en/110418dust\\_1000\\_en.pdf](http://eq.wide.ad.jp/files_en/110418dust_1000_en.pdf)

50 Ibaraki Prefectural Government. „Ibaraki Prefecture Agricultural Products Test Results“. 08.08.11. [www.pref.ibaraki.jp/bukyoku/seikan/kokuko/en/links/agriculture\\_radiation.html](http://www.pref.ibaraki.jp/bukyoku/seikan/kokuko/en/links/agriculture_radiation.html)

51 IAEA. „Fukushima Nuclear Accident Update“. 20.03.11. [www.iaea.org/newscenter/news/2011/fukushima200311.html](http://www.iaea.org/newscenter/news/2011/fukushima200311.html)

52 TEPCO. „Current Status of Fukushima Daiichi Nuclear Power Station“. 27.01.12. [www.tepco.co.jp/en/nu/fukushima-np/f1/images/f12np-gaiyou\\_e\\_3.pdf](http://www.tepco.co.jp/en/nu/fukushima-np/f1/images/f12np-gaiyou_e_3.pdf)

53 Japanese Atomic Information Forum (JAIF). „Cesium detected from more Fukushima rice“. Earthquake Report No. 276, 29.11.11. [www.jaif.or.jp/english/news\\_images/pdf/ENGNEWS01\\_1322541949P.pdf](http://www.jaif.or.jp/english/news_images/pdf/ENGNEWS01_1322541949P.pdf)

54 Ministry of Health, Labour and Welfare. „Emergency monitoring test results“. Juli 2015. <http://www.mhlw.go.jp/file/04-Houdouhappyou-11135000-Shokuhinzenbu-Kanshianzenka/0000091483.pdf>

55 IAEA. „Fukushima Nuclear Accident Update“, 20.03.11. [www.iaea.org/newscenter/news/2011/fukushima200311.html](http://www.iaea.org/newscenter/news/2011/fukushima200311.html)

56 „Regarding the Limitation of Tap Water for Infants to Intake – Disaster Information 65th – Translation Edition“. Multilingual Support Center for the Tohoku Earthquake out at Pacific Ocean, 23.03.11. <http://eqinfo.jp.net/?p=2999>

57 Weiss D. „Contamination of water, sediments and biota of the Northern Pacific coastal area the vicinity of the Fukushima NPP“. Gesellschaft für Anlagen- und Reaktorsicherheit, 31.10.11. [www.eurosafe-forum.org/userfiles/2\\_2\\_%20paper\\_marine%20environment\\_Fukushima\\_20111031.pdf](http://www.eurosafe-forum.org/userfiles/2_2_%20paper_marine%20environment_Fukushima_20111031.pdf)

58 TEPCO. „Nuclide Analysis results of seafood, 20 km from Fukushima Daiichi nuclear power plant“. 15.03.13. [http://www.tepco.co.jp/nu/fukushima-np/f1/smp/2013/images/fish\\_130315-j.pdf](http://www.tepco.co.jp/nu/fukushima-np/f1/smp/2013/images/fish_130315-j.pdf)

59 World Health Organization (WHO). „Preliminary dose estimation from the nuclear accident after the 2011 Great East Japan Earthquake and Tsunami“. 23.03.12. [http://www.who.int/ionizing\\_radiation/pub\\_meet/fukushima\\_dose\\_assessment/en](http://www.who.int/ionizing_radiation/pub_meet/fukushima_dose_assessment/en)

60 TEPCO. „Analyzed result of nuclide in fish – Port in Fukushima Daiichi NPS“. 18.08.15. [http://www.tepco.co.jp/en/nu/fukushima-np/f1/smp/2015/images/fish01\\_150818-e.pdf](http://www.tepco.co.jp/en/nu/fukushima-np/f1/smp/2015/images/fish01_150818-e.pdf)

61 Shizuoka Prefectural Government, „Test Results for Radioactivity on Tea Produced in Shizuoka Prefecture“.

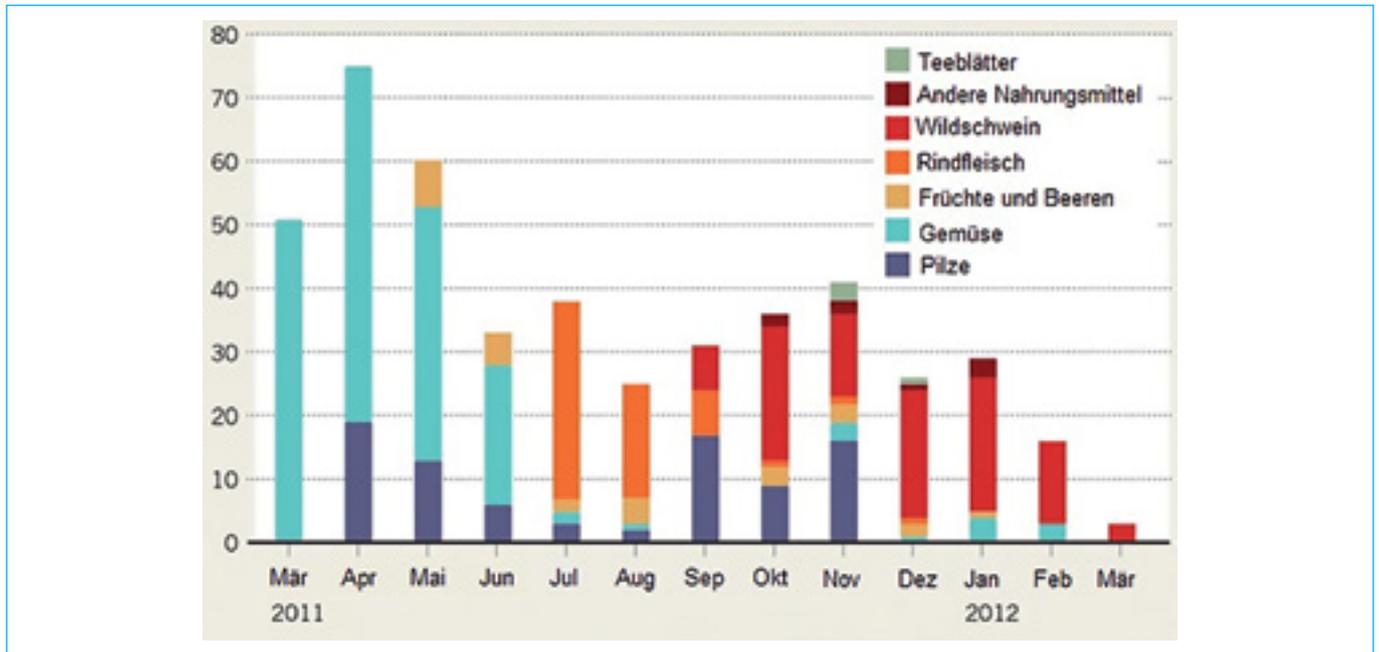


Abbildung 2-3:

Verlauf radioaktiver Kontamination von Nahrungsmitteln 2011/2012<sup>62</sup>

Die Graphik 9-3 aus der Fachzeitschrift Nature zeigt die Anzahl grenzwertüberschreitender Nahrungsmittelproben und veranschaulicht den Verlauf der radioaktiven Kontamination ausgewählter Nahrungsmittel im Jahr nach den atomaren Kernschmelzen.

Durch Handelsrestriktionen und präventive Maßnahmen konnte die radioaktive Belastung der meisten Nahrungsmittel in Japan schrittweise reduziert werden, wobei auch der natürliche radioaktive Zerfall eine nicht unerhebliche Rolle gespielt hat. Ausnahmen bilden weiterhin Fische, Meeresfrüchte, Wild, Waldfrüchte und selbst angebaute Feldfrüchte aus den verstrahlten Gebieten. Dennoch kam es vor allem im ersten Jahr nach Beginn der Katastrophe zu relevanten Aufnahmen von Radioaktivität mit Nahrung und Trinkwasser. Eine wissenschaftliche Abschätzung der individuell und kollektiv erhaltenen Strahlendosis durch kontaminierte Nahrungsmittel wäre für die Gesamtabschätzung des Erkrankungsrisikos der betroffenen Bevölkerung dringend notwendig.

Die WHO und UNSCEAR, deren Aufgabe dies eigentlich sein sollte, beziehen sich in ihren Berichten aber ausschließlich auf die Nahrungsmitteldatenbank der IAEA – einer Organisation, die mit dem Ziel gegründet wurde, „sichere und friedliche Atomtechnologien zu fördern“ und „den Beitrag der Atomenergie für Frieden, Gesundheit und Wohlstand weltweit zu be-

schleunigen und zu vergrößern“.<sup>63</sup> Die Verantwortlichen in der IAEA werden von nationalen Atomorganisationen bestimmt, so dass die IAEA einen profunden Interessenskonflikt bei der Beurteilung der Folgen von Atomkatastrophen hat. Die IAEA-Datenbank verzeichnet für das erste Jahr der Atomkatastrophe 125.826 Nahrungsmittelstichproben, von denen allerdings 2/3 (66,9 %) ausschließlich Rindfleischproben sind.<sup>64</sup> Die übrigen rund 40.000 Proben werden zwar grob nach Monat und Lokalität eingeteilt, können jedoch kaum als repräsentativ für die großen Mengen an Nahrungsmitteln angesehen werden, die in den verstrahlten Gebieten verzehrt wurden.

Wenn in ganz Japan, einem Land mit einer Bevölkerung von mehr als 120 Millionen Menschen, im Monat nur 6 bis 81 Eier getestet werden, dann kann man hieraus keine aussagekräftigen Rückschlüsse über die Gesamtbelastung aller Eier im Land ziehen. Dasselbe gilt für die gerade einmal 11 Süßwasserfischproben oder die 63 Saftproben, die im Laufe des ersten Jahres der Atomkatastrophe von der IAEA ausgewertet wurden. Von den rund 135 radioaktiven Isotopen wurden die Nahrungsmittelproben zudem ausschließlich auf Jod-131, Cäsium-134 und Cäsium-137 getestet. Das gesundheitlich besonders bedenkliche Strontium-90 wurde dabei ignoriert. Auch ist weiterhin völlig unklar, ob diese Proben in hoch-, mittel- oder niedrig kon-

63 IAEA, „Atoms for Peace“, 1957, [www.iaea.org/About](http://www.iaea.org/About)

64 UNSCEAR. „2013 Report, Annex A – Levels and effects of radiation exposure due to the nuclear accident after the 2011 great East-Japan earthquake and tsunami – Attachment C-8: FAO/IAEA food database“. July 2014. [http://www.unscear.org/docs/reports/2013/UNSCEAR\\_2013A\\_C-8\\_FAO\\_IAEA\\_food\\_database\\_2014-07.pdf](http://www.unscear.org/docs/reports/2013/UNSCEAR_2013A_C-8_FAO_IAEA_food_database_2014-07.pdf)

62 Gibney E. „Fukushima Data show rise and fall in food radioactivity.“ Nature, 27.02.15. <http://www.nature.com/news/fukushima-data-show-rise-and-fall-in-food-radioactivity-1.17016>

taminierten Gebieten gesammelt wurden. Die oben aufgeführten Nahrungsmittelstichproben, die von den japanischen Behörden getestet wurden, übersteigen die Proben der IAEO-Datenbank hinsichtlich der radioaktiven Belastung um ein Vielfaches. Die folgende Tabelle zeigt die maximalen Messwerte von Gemüseproben in der IAEO-Datenbank (hier zitiert aus dem WHO-Bericht zu Fukushima von 2012)<sup>65</sup> und vergleichbare Proben des japanischen Wissenschaftsministeriums MEXT.<sup>66</sup> Eine Erklärung, weshalb diese Proben nicht in die Datenbank der IAEO aufgenommen wurden, bleiben sowohl die IAEO als auch die WHO schuldig.

Die Prognose gesundheitlicher Folgen kann nur so genau sein wie die Daten, auf denen eine solche Berechnung basiert. Art und Umfang der Auswahl von Nahrungsmittelproben beeinflussen die Höhe der Strahlendosiswerte und somit die Prognose etwaiger Gesundheitsfolgen. Daten, deren Glaubhaftigkeit durch selektive Stichproben, Vernachlässigung unabhängiger Quellen und den Vorwurf des politischen Missbrauchs massiv eingeschränkt ist, eignen sich weder für die Berechnung gesundheitlicher Folgen noch als Grundlage für öffentliche Gesundheitsempfehlungen. Eine wissenschaftlich haltbare Abschätzung der individuellen und kollektiven Strahlendosis durch Aufnahme kontaminierter Nahrungsmittel ist in Japan daher bis heute nicht möglich – und politisch wohl auch nicht gewünscht.

Radioisotope	WHO/IAEO	MEXT
Jod-131	54.100 Bq/kg	2.540.000 Bq/kg
Cäsium-131	41.000 Bq/kg	2.650.000 Bq/kg

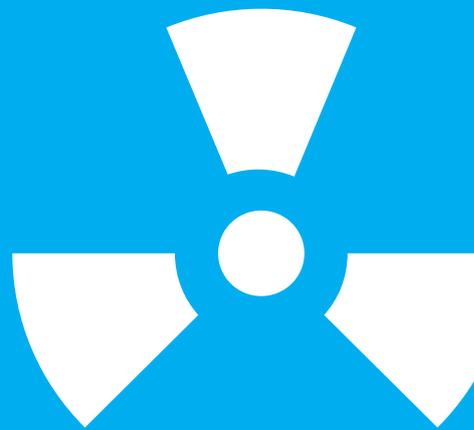
**Tabelle 2-5:**

Differenz der maximalen Messwerte von Gemüseproben

65 WHO. „Preliminary dose estimation from the nuclear accident after the 2011 Great East Japan Earthquake and Tsunami“. 23.03.12, S.106, Tabelle A8.2. [http://whqlibdoc.who.int/publications/2012/9789241503662\\_eng.pdf](http://whqlibdoc.who.int/publications/2012/9789241503662_eng.pdf)

66 MEXT. „Important Information from Japanese Government, Readings of Dust Sampling“. 18.04.11. [http://eq.wide.ad.jp/files\\_en/110418dust\\_1000\\_en.pdf](http://eq.wide.ad.jp/files_en/110418dust_1000_en.pdf)

### 3. Auswirkungen der Atomkatastrophe auf die menschliche Gesundheit



Ionisierende Strahlung ist seit langem als krebserregender Faktor bekannt.<sup>1</sup> Beruflich strahlenexponierte Arbeiter erkranken signifikant häufiger als nicht exponierte, selbst wenn die offiziellen Dosisgrenzwerte eingehalten werden. Eine Metaanalyse von Daten aus 15 Ländern aus dem Jahr 2007 konnte zeigen, dass bei strahlenexponierten Menschen ein signifikanter Zusammenhang zwischen Strahlendosis und Krebsrate besteht, ohne dass eine untere Schwellendosis erkennbar ist.<sup>2</sup> Auch der BEIR VI- Bericht des Beratungskomitees der US-Akademie der Wissenschaften zu den Biologischen Effekten von Ionisierender Strahlung geht nicht von einer unteren Schwellendosis aus und besagt, dass selbst die geringste Strahlung potentiell gefährliche Gewebeschäden und genetische Mutationen verursachen kann. Die Exposition einer großen Bevölkerungsgruppe mit niedrigen Strahlendosen kann daher einen ähnlich hohen Effekt haben wie die Exposition einer kleinen Bevölkerungsgruppe mit einer hohen Strahlendosis. Das Dosis-Risiko-Modell des BEIR-VII Berichts besagt, dass die Exposition einer Bevölkerung von 100.000 Menschen mit durchschnittlich 1 mSv dazu führen würde, dass im Schnitt 20 Menschen (Konfidenzintervall 9 bis 35) eine Krebserkrankung entwickeln. Dieselbe Zahl an Krebsfällen wäre zu erwarten, wenn 1.000 Menschen mit durchschnittlich 100 mSv verstrahlt würden. In beiden Fällen wird ein Risikofaktor von 0,2 pro Personen-Sievert für die Krebsinzidenz angenommen (Konfidenzintervall 0,09-0,35).<sup>3</sup> Auch die WHO geht in ihrem Fukushima-Bericht von 2013 mittlerweile von

einem Risikofaktor von 0,2/PSv für die Krebsinzidenz aus.<sup>4</sup> Der Risikofaktor für Mortalität ist dabei etwa halb so groß (0,1/PSv, Konfidenzintervall 0,05-0,19).

Bezieht man dieses Modell auf die Situation in Japan nach der Atomkatastrophe von Fukushima, so ergibt sich folgendes Bild: Die höchsten Strahlendosen werden vermutlich Arbeiter auf dem Kraftwerksgelände erhalten haben. Hierbei handelt es sich jedoch um eine relativ kleine Gruppe. Niedrig dosierte Strahlung allerdings betrifft durch den radioaktiven Niederschlag, die kontinuierliche Verstrahlung des Ozeans und die Kontamination von Wasser und Nahrungsmitteln einen enorm großen Anteil der japanischen Bevölkerung, vor allem die Bewohner der am schwersten kontaminierten Präfekturen. Doch auch die Einwohner der Metropolregion Tokio sind betroffen sowie Konsumenten im ganzen Land, die Produkte mit erhöhten Strahlendosen verzehren. Diese radioaktive Belastung wird die Bevölkerung zum Teil über sehr lange Zeit beeinflussen – Strontium-90 oder Cäsium-137 haben physikalische Halbwertszeiten von 28 bzw. 30 Jahren und werden erst in etwa 300 Jahren auf ein akzeptables Maß zerfallen sein.

Die chronische Belastung großer Bevölkerungsteile mit Niedrigdosisstrahlung stellt in den kommenden Jahrzehnten gesundheitspolitisch die größte Herausforderung dar. Eine Krebserkrankung trägt kein Herkunftssiegel, sodass ein individueller Krankheitsfall nie kausal auf ein bestimmtes Ereignis zurückgeführt werden kann. Auch hat Japan eine relative hohe Grundlast an „natürlich“ vorkommenden Krebserkrankungen – ca. jeder zweite Mensch erkrankt im Laufe seines Lebens an Krebs. Dennoch ist es möglich, mit entsprechend angelegten epidemiolo-

1 WHO. „Cancer prevention“. [www.who.int/cancer/prevention/en](http://www.who.int/cancer/prevention/en)

2 Cardis E et al. „The 15-Country Collaborative Study of Cancer Risk among Radiation Workers in the Nuclear Industry: estimates of radiation-related cancer risks“. *Radiat Res.* 2007 Apr;167(4):396-416, April 2007. [www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/17388693](http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/17388693)

3 National Academy of Sciences Advisory Committee on the Biological Effects of Ionizing Radiation (BEIR). „BEIR VII report, phase 2: Health risks from exposure to low levels of ionizing radiation“. 2006, S. 279, Tabelle 12.5. [www.nap.edu/openbook.php?record\\_id=11340&page=8](http://www.nap.edu/openbook.php?record_id=11340&page=8)

4 WHO. „Global report on Fukushima nuclear accident details health risks“. 28.02.13. [www.who.int/mediacentre/news/releases/2013/fukushima\\_report\\_20130228/en/index.html](http://www.who.int/mediacentre/news/releases/2013/fukushima_report_20130228/en/index.html)

gischen Studien die Zahl der zusätzlichen, strahleninduzierten Krebserkrankungen aus dem „Hintergrundrauschen“ der natürlichen Krebsinzidenz hervorzuheben und nachzuweisen. Die deutsche-KiKK Studie, die einen signifikanten Anstieg von Kinderkrebsfällen rund um deutsche Atomkraftwerke nachwies, hat dies anschaulich zeigen können.<sup>5</sup> Solche Untersuchungen liegen jedoch nicht im Interesse der japanischen Behörden und der mächtigen Atomlobby. Daher behaupten ihre Organisationen auch, dass „kein erkennbarer Anstieg von Krebserkrankungen in der betroffenen Bevölkerung zu erwarten sei, der mit der Strahlenexposition in Verbindung gebracht werden kann.“<sup>6</sup> In den folgenden zwei Kapiteln soll diese Behauptung anhand der zwei betroffenen Gruppen kritisch hinterfragt werden: der beruflich exponierten Arbeiter und der Allgemeinbevölkerung. Anschließend wird dann noch einmal separat auf die Ergebnisse der laufenden Schilddrüsenkrebs-Studien der Medizinischen Hochschule Fukushima eingegangen werden, da dies bisher die einzige Studie ist, in der tatsächlich Krebsfälle nachweisbar mit der Atomkatastrophe von Fukushima in Verbindung gebracht werden können.

### 3.1. Gesundheitliche Auswirkungen auf die Arbeiter

Die wohl höchsten Strahlendosen erhielten in Fukushima, ähnlich wie in Tschernobyl, die KraftwerksmitarbeiterInnen und Rettungskräfte. Die AutorInnen des UNSCEAR-Berichts zu Fukushima vom Herbst 2013 geben an, dass seit Beginn der Atomkatastrophe ca. 25.000 Menschen auf dem Gelände des Atomkraftwerks Fukushima Dai-ichi tätig gewesen seien.<sup>7</sup> Nur etwa 15% dieser Arbeiter waren direkt bei TEPCO angestellt, der Rest setzte sich aus Leiharbeitern, Volontären und Mitarbeitern von Subunternehmen zusammen, denen in der Regel die nötige Ausbildung für die Arbeit mit radioaktiven Gefahrstoffen fehlte und die größtenteils unvorbereitet und inadäquat ausgerüstet in die Einsätze im Katastrophengebiet geschickt wurden.

Die WHO rechnet in ihrem Bericht vom Februar 2013 mit 23.172 ArbeiterInnen:

- » Etwa 67% von ihnen, also ca. 15.500, seien während des ersten Jahres der Atomkatastrophe (März 2011-April 2012) Strahlendosen von etwa 5 mSv ausgesetzt gewe-

sen.<sup>8</sup> Gemäß gängiger WHO-Risikomodelle (Risikofaktor für Krebsinzidenz 0,2/PSv mit einem Konfidenzintervall von 0,09-0,35/PSv) muss davon ausgegangen werden, dass es in dieser Gruppe aufgrund der Strahlenbelastung durch den Einsatz auf dem Kraftwerksgelände während des ersten Jahres der Atomkatastrophe zu ca. 15 (KI 7-27) zusätzlichen Krebsfällen kommt, etwa zur Hälfte mit tödlichem Verlauf. Das zusätzliche Risiko des einzelnen Arbeiters, durch die Strahlenbelastung an Krebs zu erkranken, beträgt also ca. 0,1 % (KI 0,05-0,17 %).

- » 33%, also ca. 7.600 Arbeiter, seien während des ersten Jahres der Atomkatastrophe Strahlendosen von etwa 30 mSv ausgesetzt gewesen. Es muss angenommen werden, dass es in dieser Gruppe aufgrund der radioaktiven Strahlenbelastung durch den Einsatz auf dem Kraftwerksgelände während des ersten Jahres der Atomkatastrophe zu ca. 46 (KI 20-80) zusätzlichen Krebsfällen kommt, etwa die Hälfte von diesen tödlich verlaufend. Das zusätzliche Risiko des einzelnen Arbeiters dieser Gruppe, durch die Strahlenbelastung an Krebs zu erkranken beträgt also ca. 0,6% (CI 0,3-1,0 %).
- » 75 Arbeiter seien laut WHO Strahlendosen zwischen 100 und 199 mSv ausgesetzt gewesen. Da keine Individualdosiswerte veröffentlicht wurden, kann für diese Gruppe nur ein grober Schätzwert bezüglich der zu erwartenden Krebserkrankungen angegeben werden. Es dürften jedoch zwischen 1 und 5 zusätzliche Krebsfälle in dieser Population zu erwarten sein. Das zusätzliche Risiko dieser Arbeiter, an Krebs zu erkranken, beträgt je nach Strahlenbelastung zwischen 1 und 7%.
- » 12 Arbeiter seien laut WHO inneren Strahlendosen von 100-590 mSv sowie zusätzlich etwa 100 mSv externer Strahlung ausgesetzt. Da ebenfalls keine Individualdosiswerte veröffentlicht wurden, kann für diese Gruppe wieder nur ein grober Schätzwert bezüglich der zu erwartenden Krebserkrankungen angegeben werden. Es dürften zwischen 0 und 3 zusätzliche Krebsfälle in dieser Population zu erwarten sein. Das zusätzliche Risiko dieser Arbeiter, durch die Strahlenbelastung an Krebs zu erkranken, beträgt je nach Strahlenbelastung zwischen 0 und 25%.

Insgesamt lässt sich somit durch die WHO-Daten abschätzen, dass von den 23.172 Arbeitern, die während des ersten Jahres auf dem Kraftwerksgelände tätig waren, 28-115 aufgrund ihrer Arbeit eine Krebserkrankung entwickeln werden und 14-58 an einer Krebserkrankung infolge der Strahlenexposition versterben werden.

5 Kaatsch P et al. „Leukaemia in young children living in the vicinity of German nuclear power plants“. Int J Cancer. 1220:721-726, 2008. [www.rachel.org/lib/leukemias\\_near\\_german\\_nukes.080215.pdf](http://www.rachel.org/lib/leukemias_near_german_nukes.080215.pdf)

6 UNSCEAR. „Report of the United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation – Sixtieth session“. UN General Assembly Official Records, 68th session, supplement No. 46, 27.05.13. [www.un.org/Docs/journal/asp/ws.asp?m=A/68/46](http://www.un.org/Docs/journal/asp/ws.asp?m=A/68/46)

7 UNSCEAR. „Report of the United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation – Sixtieth session“. UN General Assembly Official Records, 68th session, supplement No. 46, 27.05.13. [www.un.org/Docs/journal/asp/ws.asp?m=A/68/46](http://www.un.org/Docs/journal/asp/ws.asp?m=A/68/46)

8 WHO. „Global report on Fukushima nuclear accident details health risks“. 28.02.13. [www.who.int/mediacentre/news/releases/2013/fukushima\\_report\\_20130228/en/index.html](http://www.who.int/mediacentre/news/releases/2013/fukushima_report_20130228/en/index.html)

Es muss bei all diesen Schätzungen jedoch betont werden, dass es sich bei den zugrunde liegenden Zahlen zum einen über vorläufige Daten lediglich aus dem ersten Jahr der Atomkatastrophe handelt, zum anderen, dass diese Zahlen durchaus umstritten sind:

- » Kurzlebige Radioisotope wie Jod-132 und Jod-133 wurden bei den Schätzungen nicht berücksichtigt, so dass sogar UNSCEAR angibt, dass die interne Strahlenbelastung wohl um etwa 20% nach oben korrigiert werden muss.<sup>9</sup>
- » Doch selbst diese korrigierten Dosisangaben stellen laut Angaben von UNSCEAR systematische Unterschätzungen dar, da ein Großteil der Strahlung zum Zeitpunkt der Messung wegen des raschen Zerfalls von Jod-131 bereits nicht mehr nachweisbar gewesen sein dürfte.<sup>10</sup>
- » Zudem ist zu kritisieren, dass sich Organisationen wie die WHO oder UNSCEAR ausschließlich auf die Daten beschränken, die ihnen von TEPCO zur Verfügung gestellt werden. Dabei ist lange bekannt, dass Mitarbeiter mehrerer Subunternehmen in den offiziellen Zahlenwerken des Kraftwerksbetreibers nicht aufgeführt werden, ihre Daten vermutlich nie erhoben wurden.<sup>11 12</sup>
- » Einige Arbeiter beklagen, dass sie niemals medizinischen Untersuchungen unterzogen wurden. Berichte über fehlende oder schadhafte Strahlenmessgeräte, bewusste Manipulation von Dosimetern (beispielsweise durch Abdeckung mit Bleischutzhüllen) und gefälschte Messergebnisse lassen zusätzlich an der Glaubhaftigkeit der TEPCO-Daten zweifeln.<sup>13 14 15</sup>

- » Auch werden durch die bisherige Konzentration auf die Belastung mit radioaktivem Jod die gesundheitlichen Effekte durch andere Radioisotope wie Cäsium-137, Strontium-90 oder Plutonium vernachlässigt. Die WHO geht in ihrem Gesundheitsbericht zu Fukushima sogar davon aus, dass die interne Strahlenbelastung ausschließlich auf Jod-131 zurückzuführen ist und schließt jegliche Inkorporation anderer, in den Emissionen der havarierten Kraftwerke enthaltenen Radioisotope kategorisch aus – entgegen aller Erkenntnisse der Strahlenforschung und den Erfahrungen aus Tschernobyl.<sup>16</sup>

All diese Faktoren führen zu einer systematischen Unterschätzung der gesundheitlichen Risiken für Tausende von Menschen, die im Zuge ihrer Arbeit auf dem Kraftwerksgelände Radioaktivität ausgesetzt waren – oft ohne entsprechende Ausbildung oder adäquate Schutzmaßnahmen. Ebenfalls müssen die zehntausenden Aufräum- und DekontaminationsarbeiterInnen bedacht werden, die unter zum Teil prekären Arbeitssituationen oder gar auf Freiwilligenbasis radioaktiven Staub aus Regenrinnen fegen, kontaminierte Erde abtragen oder verstrahlte Baumkronen abspritzen, oft nur mit einem einfachen Mundschutz vor der Ingestion radioaktiver Partikel geschützt. Zusammenfassend lässt sich sagen, dass die gesundheitlichen Risiken der beruflich strahlenexponierten Menschen in der Atomkatastrophe von Fukushima auf Basis der derzeit verfügbaren Daten nicht adäquat einzuschätzen sind.

### 3.2. Gesundheitliche Auswirkungen auf die Allgemeinbevölkerung

Anders als die beruflich exponierten ArbeiterInnen, die auf dem Kraftwerksgelände zum Teil hohen Dosen ausgesetzt waren und sind, leidet der Großteil der japanischen Bevölkerung durch radioaktive Kontamination von Nahrungsmitteln, Wasser, Böden und Luft unter einer verhältnismäßig geringeren Strahlenbelastung. Dennoch ist, aufgrund des Umfangs dieser Gruppe, hier bei weitem die größte Zahl konkreter Gesundheitsfolgen zu erwarten. Eine Beispielrechnung verdeutlicht das: Geht man von den Angaben von UNSCEAR aus, so wird die japanische Bevölkerung von rund 127 Millionen Menschen einer Lebenszeitdosis von ca. 48.000 Personen-Sievert (PSv) ausgesetzt sein, wobei sich der Großteil dieser zusätzlichen Strahlendosis auf die am schwersten verstrahlten Präfekturen beschränken dürfte. Bei Verwendung des von BEIR VII postulierten und von der WHO mittlerweile ebenfalls benutzten Risikofaktors von 0,2/PSv (KI 0,09-0,35) für die Krebsinzidenz ist in der japanischen Gesamt-

9 UNSCEAR. „Report of the United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation – Sixtieth session“. UN General Assembly Official Records, 68th session, supplement No. 46, 27.05.13. [www.un.org/Docs/journal/asp/ws.asp?m=A/68/46](http://www.un.org/Docs/journal/asp/ws.asp?m=A/68/46)

10 UNSCEAR. „Report of the United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation – Sixtieth session“. UN General Assembly Official Records, 68th session, supplement No. 46, 27.05.13. [www.un.org/Docs/journal/asp/ws.asp?m=A/68/46](http://www.un.org/Docs/journal/asp/ws.asp?m=A/68/46)

11 Hackenbroch V et al. „A Hapless Fukushima Clean-Up Effort“. Der Spiegel, 05.04.11. [www.spiegel.de/international/world/a-hapless-fukushima-clean-up-effort-we-need-every-piece-of-wisdom-we-can-get-a-754868-2.html](http://www.spiegel.de/international/world/a-hapless-fukushima-clean-up-effort-we-need-every-piece-of-wisdom-we-can-get-a-754868-2.html)

12 Sato J, Tada T. „TEPCO fails to submit dose data on 21,000 Fukushima plant workers“. The Asahi Shimbun, 28.02.13. <http://ajw.asahi.com/article/0311disaster/fukushima/AJ201302280086>

13 Sato J et al. „TEPCO subcontractor used lead to fake dosimeter readings at Fukushima plant“. The Asahi Shimbun, 21.07.12. <http://ajw.asahi.com/article/0311disaster/fukushima/AJ201207210069>

14 McCurry J. „Life as a Fukushima clean-up worker“. The Guardian, 06.03.13. [www.theguardian.com/environment/2013/mar/06/fukushima-clean-up-radiation-public-criticism](http://www.theguardian.com/environment/2013/mar/06/fukushima-clean-up-radiation-public-criticism)

15 „TEPCO subcontractor tries to underreport workers' radiation exposure“. Kyodo News, 21.07.12.

16 WHO. „Global report on Fukushima nuclear accident details health risks“. 28.02.13, S. 48-49. [www.who.int/mediacentre/news/releases/2013/fukushima\\_report\\_20130228/en/index.html](http://www.who.int/mediacentre/news/releases/2013/fukushima_report_20130228/en/index.html)

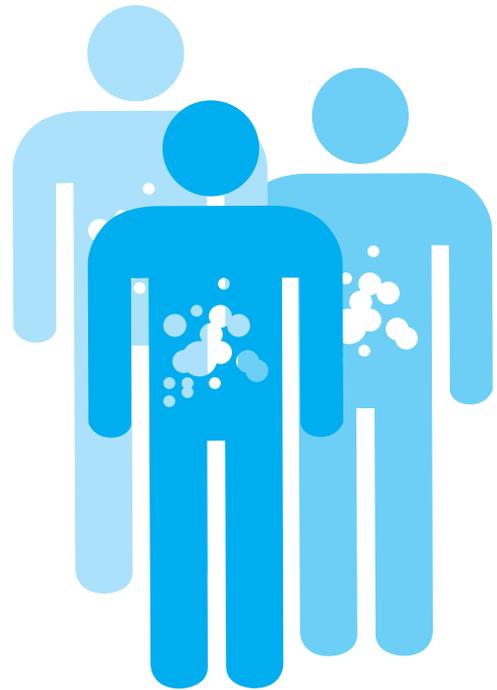
bevölkerung von ca. 9.600 (KI 4.300-16.800) strahlenbedingten Krebsfällen aufgrund der Atomkatastrophe von Fukushima auszugehen, etwa die Hälfte davon tödlich verlaufend.

Orientiert man sich an den Dosisberechnungen des WHO-Berichts zu Fukushima, kommt man sogar auf höhere Zahlen. Die WHO geht für das erste Jahr der Atomkatastrophe von einer individuellen Jahresdosis von 3-25 mSv für einzelne Bevölkerungsgruppen in den am schwersten verstrahlten Gebieten aus (knapp 1 Million Menschen), und von durchschnittlich 0,316 mSv (KI 0,1-1 mSv) für die restliche Bevölkerung Japans (rund 126 Millionen Menschen).<sup>17</sup>

Je nachdem, welchen Faktor man zur Hochrechnung der Lebenszeitdosis wählt (das 2-fache oder 3-fache der Dosis des 1. Jahres), kommt man auf eine kollektive Lebenszeitdosis von 110.000–165.000 PSv und somit bei einem Risikofaktor von 0,2/PSv (KI 0,09-0,35) für die Krebsinzidenz auf 9.900–57.750 zusätzliche Krebsfälle in ganz Japan. Alternative Rechenmodelle die einen höheren Risikofaktor für die Krebsinzidenz von 0,4/PSv nutzen kommen sogar auf 22.000–66.000 zusätzliche Krebsfälle.<sup>18</sup> Neuere epidemiologische Studien legen nahe, dass dieser Risikofaktor das tatsächliche Krebsrisiko realistischer wiedergibt als der niedrigere Risikofaktor im BEIR VII-Bericht.<sup>19</sup>

Unabhängig davon, welchen Dosis-schätzungen, Lebenszeit-Hochrechnungen oder Risikofaktoren man am ehesten Glauben schenkt – klar ist, dass es aufgrund der freigesetzten Radioaktivität in den kommenden Jahrzehnten in Japan zu einer nicht unerheblichen Zahl von Krebserkrankungen kommen wird – Leukämien, Lymphome und solide Tumorerkrankungen, deren Zusammenhang mit der Atomkatastrophe von Fukushima im Einzelfall nicht beweisbar sein wird. Reihenuntersuchungen oder besondere Vorsorgeprogramme für die Allgemeinbevölkerung sind, außer für die Kinder in der Präfektur Fukushima, bei denen in regelmäßigen Abständen Schilddrüsenuntersuchungen stattfinden sollen, nicht vorgesehen.

Zudem ist mittlerweile bekannt, dass ionisierende Strahlung nicht nur zur Entstehung von Krebs, sondern auch zu Herz-Kreislauf-Erkrankungen und einer Reihe anderer Krankheiten führt – zum Teil mit ähnlichen Risikofaktoren wie im Bereich der



Krebserkrankungen.<sup>20 21</sup> Auch genetische Folgeschäden und transgenerationale Effekte ionisierender Strahlung sind heutzutage hinlänglich bekannt und beispielsweise in der neuen Übersichtsarbeit von Scherb et al. anhand zahlreicher Beispiele erläutert.<sup>22</sup> Insbesondere eine Verschiebung des Geschlechterverhältnisses zugunsten der männlichen Neugeborenen ist durch Einwirkung ionisierender Strahlung auf eine Bevölkerung zu verzeichnen. Ob sich dieser Effekt auch in Fukushima im Laufe der nächsten Jahre zeigen wird, bleibt abzuwarten und sollte genauer untersucht werden.

Einschränkend ist anzumerken, dass die Berechnungen von Erkrankungsfällen und die Abschätzung von Gesundheitsfolgen auf einer Vielzahl von Annahmen beruhen, zum Beispiel der Gesamtmenge der emittierten Radioaktivität, der Aufnahme strahlender Partikel mit der Nahrung und gewisser risikorelevanter Verhaltensweisen.<sup>23</sup> Die oben aufgeführten Rechnungen

17 WHO. „Health risk assessment from the nuclear accident after the 2011 Great East Japan Earthquake and Tsunami based on a preliminary dose estimation“. 2013. S. 39. [www.who.int/iris/bitstream/10665/78218/1/9789241505130\\_eng.pdf](http://www.who.int/iris/bitstream/10665/78218/1/9789241505130_eng.pdf)

18 Paulitz H et al. „Auf der Grundlage der WHO-Daten sind in Japan zwischen 22.000 und 66.000 Krebserkrankungen zu erwarten“ IPPNW, 14.03.13. [www.ipnw.de/commonFiles/pdfs/Atomenergie/Fukushima/Fukushima\\_Erwartete\\_Krebserkrankungen\\_Japan\\_mit\\_WHO-Daten.pdf](http://www.ipnw.de/commonFiles/pdfs/Atomenergie/Fukushima/Fukushima_Erwartete_Krebserkrankungen_Japan_mit_WHO-Daten.pdf)

19 Thiel et al. „Gefahren ionisierender Strahlung: Ergebnisse des Ulmer Expertentreffens vom 19. Oktober 2013“. IPPNW, 15.01.14. [www.ipnw.de/strahlung](http://www.ipnw.de/strahlung)

20 Little MP et al. „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* 2012, 120, 1503-1511.

21 Shimizu Y et al. „Radiation exposure and circulatory disease risk: Hiroshima and Nagasaki atomic bomb survivor data, 1950-2003“. *BMJ* 2010, 340, b5349.

22 Scherb, H et al. „Ionizing radiation and the human gender proportion at birth – A concise review of the literature and complementary analyses of historical and recent data.“ *Early Human Development* 91 (2015) 841–850. <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/26527392>

23 WHO. „Preliminary dose estimation from the nuclear accident after the 2011 Great East Japan Earthquake and Tsunami“. 23.03.12. [http://www.who.int/ionizing\\_radiation/pub\\_meet/fukushima\\_dose\\_assessment/en](http://www.who.int/ionizing_radiation/pub_meet/fukushima_dose_assessment/en)

beziehen sich auf die Schätzungen der kollektiven Lebenszeitdosis von UNSCEAR und auf Dosisberechnungen der WHO. Es wurde bereits dargestellt, dass diese Angaben mit zahlreichen Unsicherheiten behaftet sind und systematischen Unterschätzungen unterliegen, so dass die tatsächlichen Kollektivdosen sowie die Zahl der Erkrankungs- und Todesfälle um ein Mehrfaches höher liegen dürften. Gründe dafür sind u.a.:

- » Die Gesamtmenge an freigesetzten radioaktiven Partikeln liegt vermutlich deutlich über den von UNSCEAR und WHO verwendeten Daten (siehe „Atmosphärische Emissionen“).
- » Die Belastung der Bevölkerung innerhalb der 20-km-Zone vor und während der Evakuierung wurde bei den Dosisabschätzungen ignoriert.<sup>24</sup>
- » Die Menge und Auswahl der für die Berechnung der Strahlendosen verwendeten Nahrungsmittelproben war unzureichend, bzw. unausgewogen (siehe auch „Radioaktive Kontamination von Lebensmitteln“).
- » Die Unabhängigkeit der AutorInnen beider Berichte muss in Frage gestellt werden. Maßgebliche Teile des WHO-Berichts wurde beispielsweise von Mitgliedern der IAEA verfasst, einer Institution mit dem selbst erklärten Ziel, „weltweit die Nutzung der Atomenergie zu fördern.“<sup>25</sup>

Die Berechnung von Gesundheitsrisiken kann naturgemäß immer nur so präzise sein wie die Annahmen, auf denen sie beruht. Eine Bewertung, die auf Daten basiert, deren Belastbarkeit aufgrund fehlender Objektivität, selektiver Probenauswahl, Datenverzerrung und Unterschlagung relevanter Fakten zu hinterfragen ist, kann nicht als Grundlage für Gesundheitsempfehlungen akzeptiert werden.

---

24 WHO. „Preliminary dose estimation from the nuclear accident after the 2011 Great East Japan Earthquake and Tsunami“. 23.03.12. [http://www.who.int/ionizing\\_radiation/pub\\_meet/fukushima\\_dose\\_assessment/en](http://www.who.int/ionizing_radiation/pub_meet/fukushima_dose_assessment/en)

25 IAEA. „Atoms for Peace“. 1957. [www.iaea.org/About](http://www.iaea.org/About)

## 4. Schilddrüsen-Reihenuntersuchungen in der Präfektur Fukushima

Durch die Freisetzung von radioaktivem Jod ist in den betroffenen Regionen von einem erhöhten Risiko für Schilddrüsenkrebserkrankungen auszugehen. Laut UNSCEAR wurden die Schilddrüsen von Kleinkindern in der Präfektur Fukushima im ersten Jahr der Atomkatastrophe einer Dosis von 15-83 mGy ausgesetzt, „gut die Hälfte davon durch Aufnahme radioaktiv kontaminierter Nahrung“.<sup>1,2</sup> Zum Vergleich: die durchschnittliche jährliche Schilddrüsendosis durch natürliche Hintergrundstrahlung beträgt typischerweise 1 mGy.<sup>3</sup> Es handelt sich bei diesen Dosisangaben natürlich stets um Schätzungen. Die wahren Dosen sind abhängig von einer Vielzahl diätetischer und habitueller Variablen, sowie individueller Gesundheitsfaktoren, so dass einzelne Menschen durchaus höhere oder niedrigere Dosen erhalten haben können. Da radioaktiver Niederschlag vor Präfekturgrenzen nicht Halt macht und radioaktives Jod in Milch, Meeresfrüchten, Fleisch, Leitungswasser, Gemüse und Reis gefunden wurde, sind auch Kleinkinder in anderen Teilen des Landes betroffen: Es wird geschätzt, dass im Rest Japans Kleinkinder im ersten Jahr der Atomkatastrophe im Schnitt eine

Schilddrüsendosis von 2,6-15 mGy erhalten haben. UNSCEAR schätzt eine kollektive Lebenszeit-Schilddrüsendosis von 112.000 Personen-Gy für ganz Japan.<sup>4</sup> Errechnet man mithilfe des DDREF-korrigierten Risikofaktors des BEIR-VII Berichts von 0,009/PGy<sup>5</sup> die Anzahl der zu erwartenden Schilddrüsenkrebsfälle durch die Radioaktivität der Atomkatastrophe in Japan, kommt man auf eine Zahl von ca. 1.000 zusätzlichen Fällen. Diese Zahl dürfte aufgrund der zahlreichen, oben bereits angesprochenen Probleme mit den UNSCEAR-Daten allerdings viel zu niedrig liegen.

Um von Beginn an die Entwicklung der Schilddrüsenkrebsfälle in der Bevölkerung zu überwachen, hat die Medizinische Universität von Fukushima (FMU) den sogenannten „Fukushima Health Management Survey“ begonnen. Diese prospektive Studie stellt die einzige groß angelegte wissenschaftliche Untersuchung von Langzeitfolgen der Atomkatastrophe in Fukushima dar und soll an dieser Stelle näher beleuchtet werden.

Die Studie wurde von dem umstrittenen japanischen Wissenschaftler Shunichi Yamashita initiiert, der u.a. dadurch bekannt wurde, dass er den Menschen in Fukushima dazu riet, mehr zu lächeln, da dies dazu führen würde, Strahlenschäden zu verhindern, und der allgemein die gesundheitlichen Folgen ionisierender Strahlung entgegen aller wissenschaftlicher Erkennt-

1 UNSCEAR, „Sources, effects and risks of ionizing radiation – UNSCEAR 2013 Report; Volume I – Report to the General Assembly – Scientific Annex A: Levels and effects of radiation exposure due to the nuclear accident after the 2011 great east-Japan earthquake and tsunami“. 02.04.14, S. 9, Paragraph 30. [www.unscear.org/docs/reports/2013/13-85418\\_Report\\_2013\\_Annex\\_A.pdf](http://www.unscear.org/docs/reports/2013/13-85418_Report_2013_Annex_A.pdf)

2 UNSCEAR, „Sources, effects and risks of ionizing radiation – UNSCEAR 2013 Report; Volume I – Report to the General Assembly – Scientific Annex A: Levels and effects of radiation exposure due to the nuclear accident after the 2011 great east-Japan earthquake and tsunami“. 02.04.14, S. 87, Tabelle 10. [www.unscear.org/docs/reports/2013/13-85418\\_Report\\_2013\\_Annex\\_A.pdf](http://www.unscear.org/docs/reports/2013/13-85418_Report_2013_Annex_A.pdf)

3 UNSCEAR, „Sources, effects and risks of ionizing radiation – UNSCEAR 2013 Report; Volume I – Report to the General Assembly – Scientific Annex A: Levels and effects of radiation exposure due to the nuclear accident after the 2011 great east-Japan earthquake and tsunami“. 02.04.14, S. 86, Paragraph 211. [www.unscear.org/docs/reports/2013/13-85418\\_Report\\_2013\\_Annex\\_A.pdf](http://www.unscear.org/docs/reports/2013/13-85418_Report_2013_Annex_A.pdf)

4 UNSCEAR, „Sources, effects and risks of ionizing radiation – UNSCEAR 2013 Report; Volume I – Report to the General Assembly – Scientific Annex A: Levels and effects of radiation exposure due to the nuclear accident after the 2011 great east-Japan earthquake and tsunami“. 02.04.14, S. 198, Tabelle C16. [www.unscear.org/docs/reports/2013/13-85418\\_Report\\_2013\\_Annex\\_A.pdf](http://www.unscear.org/docs/reports/2013/13-85418_Report_2013_Annex_A.pdf)

5 National Academy of Sciences Advisory Committee on the Biological Effects of Ionizing Radiation (BEIR). „BEIR VII report, phase 2: Health risks from exposure to low levels of ionizing radiation“. 2006, S. 279, Tabelle 12.5. [www.nap.edu/openbook.php?record\\_id=11340&page=8](http://www.nap.edu/openbook.php?record_id=11340&page=8)

nisse verharmlost.<sup>6</sup> Noch viel schwerer wiegt vermutlich jedoch die Tatsache, dass er als Berater der zuständigen Notfallbehörden maßgeblich die Verteilung von Jodtabletten verhinderte – eine Entscheidung, die selbst er im Nachhinein als falsch bezeichnete.<sup>7</sup> So müssen die Ergebnisse der von ihm geleiteten Studie aufgrund mangelnder Objektivität zumindest kritisch betrachtet werden. 2012 wurde bekannt, dass die internationale Atomlobbyorganisation IAEA finanziell Einfluss auf die Medizinische Universität in Fukushima nimmt, was die wissenschaftliche Unabhängigkeit der Studie zusätzlich in Frage stellt.<sup>8</sup> Von Seiten der Elternorganisationen in Fukushima wurde zudem vielfach kritisiert, dass die Untersuchungen an der FMU mit einer Dauer von 2-3 Minuten zu kurz und oberflächlich seien, dass die Ultraschallbilder der Kinder den Familien vorenthalten werden und dass Arztpraxen in der Präfektur schriftlich ermahnt wurden, Kinder aus der Studie nicht nachzuuntersuchen und keine Zweitmeinungen abzugeben. Betroffene Kinder, die außerhalb der Präfektur leben, wurden ebensowenig in die Studie eingeschlossen wie zahlreiche Kinder, deren Familien nach der Katastrophe die Präfektur verlassen hatten. All diesen Kritikpunkten zum Trotz stellt die Schilddrüsenstudie der Präfektur Fukushima die weltweit umfangreichste Untersuchung verstrahlter Kinder dar und soll daher an dieser Stelle eingehend diskutiert werden. Die FMU-Studie besteht aus zwei getrennten Teilen: einer sogenannten Baseline-Studie und einer Hauptuntersuchung.

#### 4.1. Die Baseline-Studie

Im Rahmen der sog. Baseline-Studie („preliminary baseline screening“) sollte zwischen Oktober 2011 und März 2014 die Prävalenz, also die natürliche Häufigkeit von Schilddrüsenkrebsfällen in der pädiatrischen Bevölkerung der Präfektur Fukushima festgestellt werden. In der Präfektur lebten zum Zeitpunkt der Kernschmelzen schätzungsweise 360.000 Kinder im Alter von 0–18 Jahren. Die jährliche Rate von Neuerkrankungen (Inzidenz) von Schilddrüsenkrebs bei Kindern unter 19 Jahren in Japan wird vom japanischen Gesundheitsministerium mit 0,35 pro 100.000 angegeben.<sup>9</sup> Bei einer Bevölkerung von 360.000 Kindern war somit damit zu rechnen, dass etwa ein neuer Schilddrüsenkrebsfall im Jahr festgestellt wird – entweder dadurch, dass die Erkrankung Symptome zeigt oder durch ei-

nen Zufallsbefund. Man weiß, dass durch Reihenuntersuchungen ein sogenannter „Screening-Effekt“ auftritt, also durch die Untersuchung gesunder Probanden auch schon frühe Erkrankungsstadien diagnostiziert werden, die normalerweise erst viel später symptomatisch geworden wären. Man rechnete also damit, dass man in den dreieinhalb Jahren der Baseline-Studie mehr als nur die rechnerisch zu erwartenden 3-4 Krebserkrankungen diagnostizieren würde. Bei diesen überzähligen Fällen ging man davon aus, dass sie in sehr frühen Stadien und daher ohne akute Gefährdung für die PatientInnen diagnostiziert würden.

Die tatsächlichen Ergebnisse der Baseline-Studie zeichneten jedoch ein anderes Bild: Bei 537 Kindern wurden solch auffällige Befunde im Ultraschall identifiziert, dass Feinnadelbiopsien durchgeführt werden mussten. Die mikroskopische Aufarbeitung ergab insgesamt 114 Krebsverdachtsfälle. Die überwiegende Mehrheit von ihnen präsentierte sich in der weiteren Beobachtung aggressiv, sodass 101 dieser Kinder aufgrund von Tumorstreuung (Metastasenbildung) oder gefährlich großem Wachstum des Tumors operiert werden mussten. Ein Fall stellte sich nach der Operation als gutartiger Tumor heraus, bei 100 der operierten Fälle bestätigte sich die Krebsdiagnose (97 klassische papilläre Schilddrüsenkarzinome und 3 schlecht differenzierte Schilddrüsenkarzinome).<sup>10</sup> Schon nach Abschluss der Baseline-Studie stellten sich somit unangenehme Fragen bezüglich der Ursachen dieser unerwartet hohen Zahl aggressiver Schilddrüsentumoren.

#### 4.2. Die Hauptuntersuchung

Den zweiten Teil der Schilddrüsenuntersuchungen bildet die seit April 2014 laufende Hauptuntersuchung („full scale screening“). Hierbei handelt es sich um die Nachuntersuchung aller Kinder, die in die Baseline-Studie eingeschlossen waren, sowie zusätzlich die Untersuchung aller Kinder, die kurz nach dem Atomunglück geboren wurden. Die Zielgruppe dieser Untersuchung ist somit etwas größer als die der Baseline-Studie. Geplant ist derzeit, diese Kinder bis zum Abschluss des 20. Lebensjahres alle 2 Jahre und anschließend alle 5 Jahre zu untersuchen. In der Hauptuntersuchung wurden zwischen April 2014 und September 2015 von insgesamt 379.952 Kindern bislang 199.772 (52,6%) untersucht. Validierte Ergebnisse liegen bislang nur von 182.547 Kindern vor (48,0 %). Bei 124 von ihnen waren bislang aufgrund schwerer Veränderungen im Ultraschall Feinnadelbiopsien notwendig. Die mikroskopische Aufarbeitung ergab insgesamt 39 neue Krebsverdachtsfälle. 15 dieser Kinder mussten auf Grund von Metastasen oder gefährlich großem Wachstum des Tumors bislang operiert werden; bei

6 Yamashita, S. „Rede vom 21.03.11“. <https://www.youtube.com/watch?v=UOgaBUDFeb4>

7 „Authorities jump gun on iodine pills / Premature distribution risked ill effects on health, depleted emergency supplies“. The Yomiuri Shimbun, 22.03.11. <http://www.nationmultimedia.com/2011/03/21/headlines/Authorities-jump-gun-on-iodine-pills-30151398.html>

8 MOFA. „Practical arrangements between Fukushima Medical University and the International Atomic Energy Agency on Cooperation in the area of human health“. 15.12.12. [http://www.mofa.go.jp/policy/energy/fukushima\\_2012/pdfs/fukushima\\_iaea\\_en\\_06.pdf](http://www.mofa.go.jp/policy/energy/fukushima_2012/pdfs/fukushima_iaea_en_06.pdf)

9 Katanoda K et al. „An updated report of the trends in cancer incidence and mortality in Japan“. Jpn J Clin Oncol. 43(5):492-507, Mai 2013. [www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/23493744](http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/23493744).

10 Fukushima Medical University. „Final Report of Thyroid Ultrasound Examination (Preliminary Baseline Screening)“. 31.08.15. <http://fmu-global.jp/?wpdmdl=1222>

allen bestätigte sich die Diagnose eines papillären Schilddrüsenkarzinoms.<sup>11</sup>

Die Gesamtzahl von Kindern mit bestätigten Schilddrüsenkrebsdiagnosen liegt somit mittlerweile bei 115 (Stand Dezember 2015). Ihre Schilddrüsen mussten wegen Metastasierung oder zu schnellem Wachstums der Tumoren operiert werden. Bei 37 weiteren Kindern besteht der akute Verdacht auf ein Schilddrüsenkarzinom. Sie warten noch auf eine Operation.

An dieser Stelle sei darauf hingewiesen, dass Schilddrüsenkrebs zwar prinzipiell zu den malignen Erkrankungen mit einer guten Prognose gehört, eine Krebserkrankung jedoch unabhängig von der Prognose für die betroffenen Patienten und ihre Familien stets einen schweren Schicksalsschlag darstellt. Nach einer Operation, die natürlich auch mit gewissen Risiken einhergeht, sind lebenslange Nachkontrollen sowie die dauerhafte Einnahme von Schilddrüsenhormonen notwendig, verbunden mit regelmäßigen Arztbesuchen, Blutabnahmen sowie klinischen und sonographischen Untersuchungen. Auch besteht das Risiko eines erneuten Tumorwachstums im Sinne eines Rezidivs. Eine Bagatellisierung der Schilddrüsenkrebsfälle ist also keinesfalls gerechtfertigt.

Besonders besorgniserregend ist bei der Betrachtung der bisherigen Ergebnisse der Hauptuntersuchung die Tatsache, dass die Krebserkrankung bei 15 Kindern im Zeitraum zwischen der Erst- und der Zweituntersuchung auftrat. Auch die Anzahl der anderen pathologischen Schilddrüsenbefunde nahm im Verlauf zu: Während im Erstscreening die Rate an Knoten und Zysten in der Schilddrüse noch bei 48,5% lag, fand man solche Veränderungen in der Nachuntersuchung bei 58,9% der Kinder. Das bedeutet, dass bei 32.227 Kindern, bei denen im ersten Screening noch gar keine Schilddrüsenanomalien gefunden wurden, nun Zysten oder Knoten festgestellt wurden – bei 308 von ihnen sogar so große, dass eine weitere Abklärung dringend notwendig wurde. Zusätzlich wurde bei 656 Kindern mit kleinen Zysten oder Knoten im Erst-Screening in der Nachuntersuchung ein so rasches Wachstum festgestellt, dass weitergehende Diagnostik eingeleitet werden musste. Die Familien dieser Kinder müssen fortan mit der Sorge leben, dass bei ihrem Kind in einigen Jahren eine Krebserkrankung festgestellt wird, machen sich Vorwürfe und fragen, weshalb nicht mehr zum Schutz ihrer Kinder getan wurde, bzw. wird.

Anhand der Daten der Hauptuntersuchung sollte eine Berechnung der Inzidenz, also der jährlichen Neuerkrankungsrate, nun möglich sein. Leider werden die Daten bezüglich der neu diagnostizierten Schilddrüsenkrebsfälle von den Behörden zurückgehalten, so dass nicht bekannt ist, zu welchem Zeitpunkt ge-

nau das Erstscreening erfolgte. Geht man davon aus, dass zwischen den beiden Untersuchungen wie vorgesehen 2 Jahre liegen, dann ist von einer jährlichen Inzidenz von derzeit 3,8 neuen Fällen pro Jahr pro 100.000 Kinder auszugehen. Zur Erinnerung: die jährliche Inzidenz für Schilddrüsenkrebs bei Kindern lag in Japan vor den Kernschmelzen von Fukushima bei 0,35 pro 100.000. Dieser Anstieg in der Inzidenz von Schilddrüsenkrebs bei Kindern um mehr als das Zehnfache lässt sich nicht mehr mit einem sogenannten „Screening-Effekt“ begründen.

### 4.3. Prognosen

Gleichzeitig legt die Zahl der bislang noch nicht untersuchten Kinder nahe, dass über die jährliche Inzidenz hinaus noch mit einem weiteren Anstieg der Schilddrüsenkrebsfälle zu rechnen ist. Mehr als 67.000 strahlenexponierte Kinder aus der Präfektur Fukushima wurden erst gar nicht in die Untersuchung eingeschlossen, mehr als 180.000 Kinder warten weiterhin auf ihre Zweituntersuchung. Eine weitere besorgniserregende Tatsache ist, dass außerhalb der Präfektur Fukushima Kinder erst gar nicht untersucht wurden – obwohl bekannt ist, dass der radioaktive Niederschlag mit Jod-131 bis in die nördlichen Stadtteile von Tokio reichte und Hunderttausende weiterer Kinder in den Tagen und Wochen nach Beginn der Atomkatastrophe von erhöhten Strahlenwerten betroffen waren. Ohne Reihenuntersuchungen werden die zusätzlichen Krebsfälle, die in dieser Bevölkerung zu erwarten sind, nie mit der gefährlichen Strahlung in einen kausalen Zusammenhang gebracht werden können und Krebsfälle evtl. zu spät entdeckt werden.

Besonders bedrückend ist in diesem Zusammenhang die Tatsache, dass die Behörden die betroffene Bevölkerung wider besseres Wissen nicht durch die Vergabe von Jodtabletten vor den schädlichen Wirkungen des Jod-131 schützten. Die unabhängige Untersuchungskommission des japanischen Parlaments hält in ihrem offiziellen Bericht fest: „Obwohl der positive Effekt einer rechtzeitigen Verabreichung von Jodtabletten vollständig bekannt war, waren die Kommandozentrale für nukleare Notfälle und die Regierung der Präfektur nicht in der Lage, die Öffentlichkeit richtig zu beraten.“<sup>12</sup> Schwer verständlich ist auch die Tatsache, dass die japanische Regierung die zulässige Höchstgrenze für die Strahlenexposition von Kindern am 19. April 2011 auf 3,8 µSv pro Stunde an hob (entsprechend 20 mSv pro Jahr bei einer durchschnittlichen Exposition von 14 Stunden am Tag).<sup>13</sup> Erst nach Protesten von Elternorganisationen, WissenschaftlerInnen und ÄrztInnen hob die Regierung die neuen Richtlinien am 27. Mai 2011 wieder auf und kehrte

11 Fukushima Medical University. „The 21st Prefectural Oversight Committee Meeting for Fukushima Health Management Survey“. 03.12.15. <http://fmu-global.jp/survey/proceedings-of-the-21st-prefectural-oversight-committee-meeting-for-fukushima-health-management-survey>

12 The National Diet of Japan. „The official report of The Fukushima Nuclear Accident Independent Investigation Commission of the National Diet of Japan“. 05.07.12. [http://www.nirs.org/fukushima/naic\\_report.pdf](http://www.nirs.org/fukushima/naic_report.pdf)

13 MEXT. „Notification of interim policy regarding decisions on whether to utilize school buildings and outdoor areas within Fukushima Prefecture“. 19.04.11. [www.mext.go.jp/english/incident/1306613.htm](http://www.mext.go.jp/english/incident/1306613.htm)

zu dem alten zulässigen Höchstwert von 0,2  $\mu\text{Sv}$  pro Stunde (entsprechend 1 mSv pro Jahr) zurück.<sup>14</sup> Diese Faktoren werden in den ersten Wochen und Monaten dazu beigetragen haben, dass Kinder in den betroffenen Gebieten eine erhöhte Strahlendosis erhielten.

Zusammenfassend lässt sich feststellen, dass Reihenuntersuchungen dabei helfen können, die Inzidenz von Schilddrüsenerkrankungen zu dokumentieren und gefährliche Verläufe frühzeitig zu entdecken und zu behandeln. Dabei muss jedoch kritisch angemerkt werden, dass andere maligne Erkrankungen, wie beispielsweise solide Tumore, Leukämien oder Lymphome, nicht-maligne gesundheitliche Folgen wie Katarakte, endokrinologische und kardiovaskuläre Erkrankungen sowie genetische Konsequenzen der radioaktiven Exposition der Bevölkerung nicht adäquat untersucht und durch den Fokus auf die Schilddrüsenkrebsfälle aus der öffentlichen Wahrnehmung gedrängt werden. Die Tatsache, dass außerhalb des Schilddrüsen screenings keine weiteren Reihenuntersuchungen bei den betroffenen Kindern in den belasteten Präfekturen durchgeführt werden, ist nach den Erfahrungen von Tschernobyl nicht nachvollziehbar. Umfangreiche Studien durch unabhängige Wissenschaftler werden benötigt, um das wahre Ausmaß der Krankheitslast in der betroffenen Bevölkerung quantifizieren zu können.

---

14 MEXT. „Immediate Measures toward Reducing the Radiation Doses that Pupils and Others Receive at Schools, etc. in Fukushima Prefecture“. 27.05.11. [http://radioactivity.mext.go.jp/en/important\\_information/0001](http://radioactivity.mext.go.jp/en/important_information/0001)

## 5. Auswirkungen der Atomkatastrophe auf das Ökosystem

Neben den Auswirkungen auf die Menschen in den verstrahlten Gebieten ist auch eine nähere Betrachtung der Folgen erhöhter Radioaktivität auf die Tier- und Pflanzenwelt von Bedeutung. Tiere und Pflanzen sind Teil desselben Ökosystems wie der Mensch und stehen mit diesem in vielfältigen Interdependenzen, nicht nur im Hinblick auf die menschliche Ernährung, die nahezu vollständig aus tierischen und pflanzlichen Produkten besteht. Wir leben in einer komplexen Symbiose mit zahlreichen Spezies der Flora und Fauna, sodass Veränderungen in diesen Systemen auch uns betreffen. Aus den Effekten, die chronische Belastung mit niedrig-dosierter Radioaktivität auf Tiere und Pflanzen haben, lassen sich unter Umständen Rückschlüsse auf die Folgen für Menschen ziehen. Zudem haben viele Lebewesen kürzere Erbfolgen als der Mensch, so dass genetische Effekte sowohl *in vitro* als auch *in vivo* besser zu beobachten und zu untersuchen sind. Aus all diesen Gründen ist eine Untersuchung der nicht-menschlichen Biota von immenser Bedeutung für die Erforschung der Folgen einer Atomkatastrophe. In den letzten fünf Jahren wurde eine wachsende Anzahl wissenschaftlicher Arbeiten publiziert, die sich mit den morphologischen, genetischen und physiologischen Folgen ionisierender Strahlung für die Tier- und Pflanzenwelt von Fukushima befassen.

Die Forschungsgruppe um Watanabe et al. fand 2015 beispielsweise einen signifikanten Zusammenhang zwischen Strahldosen und morphologischen Abnormalitäten an japanischen Momi-Tannen in kontaminierten Gebieten rund um das havarierte Atomkraftwerk.<sup>1</sup> Je näher die Tannen an den havarierten Reaktoren standen, umso ausgeprägter waren auch die Veränderungen, so dass eine Dosis-Wirkungsbeziehung anzunehmen

ist. Auch zeitliche Verläufe waren an den untersuchten Tannen abzulesen, da die gravierendsten Mutationen in Haupttrieben zu finden waren, die im Frühjahr 2012, also ein Jahr nach Beginn der Atomkatastrophe zu wachsen begannen. Da Pflanzen ortsständig sind, lassen sich an ihnen hervorragend lokale Effekte nachvollziehen.

Anders ist dies bei Tieren, die sich in der freien Wildnis bewegen können, so dass lokale Effekte nur schwer nachvollziehbar sind. Eine besondere Rolle spielen daher ortsständige Spezies, wie beispielsweise Bläulings-Schmetterlinge, die ihr Leben in einem sehr begrenzten Radius verbringen. Hiyama et al. konnten 2012 bei Untersuchungen solcher Bläulinge in Fukushima eine signifikante Zunahme pathologischer Befunde zeigen, die direkt proportional zur radioaktiven Kontamination ihrer Nahrung waren: eine Reduktion der Körper- und Flügelgröße, eine größere Zahl an morphologischen Mutationen und eine erhöhte Sterblichkeitsrate.<sup>2</sup> Laboruntersuchungen bestätigten die strahlenabhängige Zunahme genetischer Mutationen und morphologischer Veränderungen in den Schmetterlingen.<sup>3</sup> Zudem zeigten sich in späteren Generationen von Schmetterlingen höhere Mutationsraten als in der 1. Generation. Dies legt eine Vererbbarkeit von Mutationen und eine Akkumulation von genetischen Schäden über Generationen nahe.<sup>4</sup> Auch größere Tiere lassen sich durchaus im Rahmen gut aufgebauter Studien untersuchen. Murase et al. betrachteten eine Habichtspezies vor und nach dem atomaren Super-GAU in Fukushima und fanden,

1 Watanabe Y. et al. „Morphological defects in native Japanese fir trees around the Fukushima Daiichi Nuclear Power Plant“. *Sci. Rep.* 5, 13232. <http://dx.doi.org/10.1038/srep13232>

2 Hiyama A et al. „The biological impacts of the Fukushima nuclear accident on the pale grass blue butterfly“. *Nature Scientific Reports* 2, Art 570 (2012). [www.nature.com/articles/srep00570](http://www.nature.com/articles/srep00570)

3 Møller AP, Mousseau TA. „Low-dose radiation, scientific scrutiny, and requirements for demonstrating effects“. *BMC Biol.* 2013 11:92. <http://bmcbiol.biomedcentral.com/articles/10.1186/1741-7007-11-92>

4 Taira W et al. „Fukushima’s Biological Impacts: The Case of the Pale Grass Blue Butterfly“. *J Hered* (2014) 105 (5): 710-722.

dass die Reproduktionsfähigkeit der Vögel direkt proportional zur gemessenen Strahlendosis unterhalb der Nester abnahm.<sup>5</sup> Diese Ergebnisse deuten auf Effekte der Strahlung auf die Keimbahn der Vögel hin. Insgesamt gingen in den untersuchten Gebieten proportional zur Umgebungsstrahlung die Anzahl von Vögeln, Schmetterlingen und Zikaden zurück.<sup>6,7</sup>

Noch relevanter für mögliche Rückschlüsse auf den Menschen sind die Studien an Primaten in den verstrahlten Gebieten. Im April 2012 wurden bei wilden Affen aus den Wäldern der Stadt Fukushima Blutbildveränderungen festgestellt. Als Kontrollgruppe wurde eine Affenpopulation herangezogen, die ca. 400 Kilometer nördlich von Fukushima lebt. Während in den Muskeln der Affen aus Fukushima Cäsiumkonzentrationen zwischen 78 und 1.778 Bq/kg festgestellt wurden, lagen die Cäsiumwerte der Kontrollgruppe unterhalb der Nachweisgrenze. Proportional zu der Höhe der Cäsiumkonzentration im Muskel wurde bei den Affen von Fukushima eine Reduktion von roten und weißen Blutkörperchen gemessen, sodass von einer Dosis-Wirkungsbeziehung auszugehen ist.<sup>8</sup>

Es wäre unwissenschaftlich, direkte Rückschlüsse solcher Tier- und Pflanzenstudien auf die Auswirkungen ionisierender Strahlung auf den Menschen zu ziehen. Dennoch können die Erkenntnisse dieser Forschung auch nicht ignoriert werden, insbesondere nicht, wenn es um die Frage nach genetischen und transgenerationellen Strahleneffekten geht, also konkret um die Folgen für nachfolgende Generationen. Gerade hier können Tiermodelle mit ihren schnellen Generationenfolgen dabei helfen, Wissenslücken zu schließen und die komplexe Interaktion ionisierender Strahlung mit lebendem Gewebe im Allgemeinen und dem Erbgut der Keimbahnzellen im Besonderen besser zu verstehen. Die Untersuchung der nicht-menschlichen Biota in Fukushima ist ein Forschungsgebiet, das künftig noch viele wichtige Erkenntnisse liefern dürfte.

5 Murase K et al. „Effects of the Fukushima Daiichi nuclear accident on goshawk reproduction“. *Sci. Rep.* 2015, 5. <http://dx.doi.org/10.1038/srep09405>

6 Mousseau TA et al. „Genetic and Ecological Studies of Animals in Chernobyl and Fukushima“. *Journal of Heredity*, Volume 105, Issue 5. S. 704-709.

7 Aliyu AS et al. „An overview of current knowledge concerning the health and environmental consequences of the Fukushima Daiichi Nuclear Power Plant (FDNPP) accident“. *Environ. Internat.* 85 (2015) 213-228. <http://cricket.biol.sc.edu/chernobyl/papers/Sadiq-et-al-EI-2015.pdf>

8 Ochiai K et al. „Low blood cell counts in wild Japanese monkeys after the Fukushima Daiichi nuclear disaster“. *Nature Scientific Reports* 2014:4:5793. <http://www.nature.com/srep/2014/140724/srep05793/pdf/srep05793.pdf>

## 6. Ausblick

Aus den oben angeführten Erkenntnissen wird deutlich, dass die Situation in Fukushima noch lange nicht unter Kontrolle ist und die Aufarbeitung der Folgen für Mensch und Umwelt erst am Anfang steht. Die grundlegenden Angaben zum Quellterm sowie zur Kontamination von Böden, Ozean und Nahrungsmitteln sind auch fünf Jahre nach Beginn der Katastrophe zwischen Atomlobby und unabhängigen Wissenschaftlern umstritten. Die gesundheitlichen Folgen für beruflich exponierte Arbeiter und die Allgemeinbevölkerung werden durch die Atomindustrie und ihre Lobbyorganisationen wie die IAEA systematisch klein gerechnet. Mit markigen Aussagen und beschönigenden Berichten wird vor allem von Seiten der japanischen Behörden immer wieder versucht, einen schnellen Schlussstrich unter die Debatte um die Atomkatastrophe von Fukushima zu ziehen.

Dabei muss klargestellt werden, dass diese noch lange nicht vorbei ist. Täglich fließen laut Angaben von TEPCO ca. 300 Tonnen radioaktives Abwasser ins Meer.<sup>1</sup> Die Dekontaminationsbemühungen sind ins Stocken geraten und werden immer wieder durch Verwehung radioaktiver Partikel zunichte gemacht. Die Dekontamination von Bergzügen, Wäldern und Feldern hat sich selbst im erfolgsverwöhnten und technikgläubigen Japan als illusorisch herausgestellt. Die Behörden gehen optimistisch von einem „Abschirmeffekt“ aufgrund der Auswaschung von Radionukliden in den Boden aus und graben radioaktive Nuklide in tiefere Bodenschichten, versäumen es aber, den Anstieg der öffentlichen Strahlenexposition durch radioaktives Cäsium-137 im Grundwasser und in der Nahrungskette zu berücksichtigen.<sup>2</sup>

Die gefährliche Bergung des radioaktiven Materials aus den havarierten Kraftwerksblöcken wird noch mehrere Jahrzehnte dauern und viele Milliarden Steuergelder verschlingen.<sup>3</sup> Cäsium-137 hat eine Halbwertszeit von rund 30 Jahren. Das bedeutet, dass für etwa drei Jahrhunderte relevante Strahlenmengen in Feldern, Wiesen und Wäldern verbleiben werden. Der 30 Jahre nach Tschernobyl immer noch radioaktiv belastete süddeutsche Wald ist dafür ein abschreckendes Beispiel.

Nach nur fünf Jahren eine abschließende Aussage über Langzeitfolgen einer Atomkatastrophe treffen zu wollen, bei der es vor allem um Krebs- und Herz-Kreislaufkrankungen geht, die erst nach Jahren und Jahrzehnten klinisch manifest werden, wäre unwissenschaftlich. Ebendies wird jedoch von den japanischen Behörden, der IAEA und UNSCEAR versucht, wenn diese behaupten, dass es zu keinen „relevanten“ oder „messbaren“ Strahlenfolgen in der betroffenen Bevölkerung kommen wird. Die Menschen in den betroffenen Gebieten brauchen glaubhafte Informationen, Aufklärung und Unterstützung, nicht Vertuschung, fingierte Studien und falsche Hoffnungen. Tatsächlich geht es Organisationen wie der IAEA nicht in erster Linie um die Gesundheit der Bevölkerung, sondern um die Profite und politische Macht der Atomindustrie in Japan und weltweit. Während die japanische Atomindustrie jahrzehntelang mit ihren Reaktoren immense Gewinne erzielte, müssen die Kosten der umfangreichen Dekontaminations- und Aufräumarbeiten in Fukushima von Generationen japanischer Steuerzahler finanziert werden – die der Atomenergie mittlerweile mehrheitlich

1 Tsukimori O, Hamada K. „Japan government: Fukushima plant leaks 300 tpd of contaminated water into sea | Reuters“. Reuters, 07. 08.13. <http://www.reuters.com/article/2013/08/07/us-japan-fukushima-water-idUSBRE9760AU20130807>.

2 MAFF. „Towards the recovery and restoration of the Great East Japan Earthquake disaster area“. MAFF Topics, Dezember 2011. [http://www.maff.go.jp/j/pr/aff/1112/mf\\_news\\_00.html](http://www.maff.go.jp/j/pr/aff/1112/mf_news_00.html)

3 „IAEA calls for improvements at Japan's Fukushima plant“. BBC News Asia, 22.04.13. <http://www.bbc.co.uk/news/world-asia-22246464>.

kritisch gegenüber stehen. Um die Atomindustrie zu schützen, wurde in Japan ein gewaltiger Vertuschungsapparat geschaffen, der nun sogar unliebsame journalistische Berichterstattung unter Strafe stellt und als „Geheimnisverrat“ definiert.<sup>4</sup>

Der öffentliche Diskurs zu Fukushima sollte nicht um Profite, Macht und politischen Einfluss geführt werden, sondern das Schicksal und die Gesundheit der betroffenen Menschen im Blick haben – derjenigen, die wegen der Atomkatastrophe alles verloren haben, die um ihre Gesundheit und die ihrer Kinder bangen und ein Leben ohne Angst vor der Strahlung einfordern. Die Gesundheitsrisiken für die japanische Bevölkerung müssen in einer Weise von unabhängigen Wissenschaftlern geprüft werden, dass jeder Verdacht auf Beeinflussung durch die Atomindustrie und ihre politischen Unterstützer ausgeschlossen ist. Umfangreiche Studien werden benötigt, um die gesundheitlichen Konsequenzen für die betroffene Bevölkerung zu verstehen, Erkrankungen frühzeitig zu erkennen und zukünftige Generationen durch neue Erkenntnisse vor den Folgen ionisierender Strahlung besser zu schützen. In der Debatte über die Gesundheitsfolgen der Atomkatastrophe von Fukushima geht es um mehr als nur das Prinzip der unabhängigen Forschung, die sich dem Einfluss mächtiger Lobbygruppen widersetzt. Es geht um das universelle Recht eines jeden Menschen auf Gesundheit und das Leben in einer gesunden Umwelt.

---

4 Sieg L, Takenaka K. „Japan secrecy act stirs fears about press freedom, right to know“. Reuters, 24.10.13. <http://www.reuters.com/article/2013/10/25/us-japan-secrecy-idUSBRE99N1EC20131025>.



## Forderungen der IPPNW

## Forderungen der IPPNW

### Für Japan:

- » Die von der Atomkatastrophe betroffenen Menschen und ihr Menschenrecht auf Gesundheit und das Leben in einer gesunden Umwelt sollten im Mittelpunkt aller Diskussionen und politischen Entscheidungen stehen. Hierzu ist eine adäquate Einbeziehung dieser Gruppen in Entscheidungsfindungsprozesse zu gewährleisten.
- » Es muss sichergestellt werden, dass die Bewohner kontaminierter Regionen eine freie Entscheidung darüber treffen können, ob sie weiterhin dort wohnen oder in nicht kontaminierte Regionen ziehen wollen. Hierzu sind finanzielle und logistische Unterstützung notwendig.
- » Die forcierte Rück siedelung evakuierter Menschen in kontaminierte Regionen muss gestoppt werden. Vor allem dürften Menschen nicht durch finanziellen Druck wie beispielsweise durch den Entzug von Hilfszahlungen dazu genötigt werden, mit ihren Familien in kontaminierte Regionen zurück zu kehren.
- » Alle Menschen, die beruflich mit den Folgen der Atomkatastrophe von Fukushima beschäftigt und möglicherweise Radioaktivität ausgesetzt sind, müssen mit verlässlichsten Dosimetern ausgestattet und regelmäßig von unabhängigen ArbeitsmedizinerInnen untersucht werden. Dies gilt auch für Angestellte von Subunternehmen und ZeitarbeiterInnen. Die Betreiberfirmas TEPCO darf keinen Einfluss mehr auf die Untersuchungen und Daten nehmen.
- » Die japanische Regierung muss Register schaffen, die alle Personengruppen erfassen, welche infolge der Atomkatastrophe von Fukushima Radioaktivität ausgesetzt wurden. Dies gilt für:
  - » alle Evakuierten sowie die noch in den kontaminierten Zonen lebende Bevölkerung (Präfektur Fukushima und Nachbarpräfekturen)
  - » die Aufräumarbeiter, die unmittelbar auf dem Kraftwerks Gelände arbeiten sowie die Aufräumarbeiter, die Dekontaminationsarbeiten in der 20-km-Zone durchführen.
- » Begleitende epidemiologische Forschung muss finanziert und regelmäßige kostenlose Gesundheitschecks und Behandlung für diese Menschen gewährleistet werden. Die Gesundheitsrisiken für die japanische Bevölkerung müssen in einer Weise von unabhängigen Wissenschaftlern geprüft werden, dass jeder Verdacht auf Beeinflussung durch die Atomindustrie und ihre politischen Unterstützer ausgeschlossen ist.
- » Da ein Großteil des radioaktiven Niederschlags den Pazifischen Ozean betraf, muss systematische Forschung zu den Auswirkungen auf Meeresflora und -fauna ermöglicht werden. Hierzu sollten japanische und internationale Meeresforschungsinstitute zusammenarbeiten.

- » Die Berichterstattung und Forschung zu den Folgen der Atomkatastrophe in Japan dürfen nicht durch staatliche Repression wie das umstrittene Gesetz zum „Geheimnisverrat“ behindert werden.
- » Japan hat nach dem mehrfachen Super-GAU von Fukushima alle seine Atomkraftwerke abgeschaltet und ist mehrere Jahre ohne sie ausgekommen. Nun versucht die Atomlobby die Reaktoren wieder ans Netz zu bringen – gegen den Willen der Bevölkerungsmehrheit. Japan sollte alle seine rund 50 Atomkraftwerke stilllegen und statt dessen in erneuerbare nachhaltige Energieerzeugung investieren – das Land hat enorme Potentiale für Solarstrom, Windkraft, Wasserkraft, Geothermie und nicht zuletzt Energieeffizienz und -sparmaßnahmen.
- » Bis es soweit ist, muss der enorme Einfluss der Atomlobby auf die japanische Politik durch unabhängige parlamentarische Gremien untersucht werden, damit der grassierenden Korruption und Kollusion zwischen Politik, Kraftwerksbetreibern und Aufsichtsbehörden wirksam begegnet und Katastrophen wie in Fukushima künftig verhindert werden können.

### Für die ehemaligen Sowjetrepubliken:

- » Nach der Tschernobylkatastrophe wurden von der sowjetischen Regierung in den Städten Moskau, Obninsk, Minsk, Gomel und Kiew große Gesundheitsregister für die von radioaktiver Kontamination betroffenen Bevölkerung angelegt. Es handelt sich um Gesundheitsdaten von schätzungsweise mehr als 1 Million Menschen. Diese Daten der regelmäßigen Gesundheitsuntersuchungen hinsichtlich Krebserkrankungen, Nichtkrebserkrankungen und genetischer Folgeschäden sind bisher nur teilweise ausgewertet. Dies muss mit internationaler finanzieller Unterstützung fortgeführt werden.
- » So wie die Daten der Atombombenopfer von Hiroshima und Nagasaki müssen auch die Daten der Tschernobyl-opfer weiter erhoben und ausgewertet werden. Auch hier bedarf es internationaler finanzieller Unterstützung, z. B. seitens der EU, um groß angelegte, epidemiologische Fall-Kontroll-Studien durchzuführen.
- » Die Tschernobyl-opfer brauchen weiter medizinische, finanzielle und soziale Unterstützung. Es existiert bereits ein Netz von europäischen und internationalen Unterstützungsorganisationen, deren Expertise in die weitere nachhaltige Unterstützung miteinbezogen werden sollte.

### Für Europa und weltweit:

In Europa sind immer noch knapp 200 Atomreaktoren am Netz – mit durchschnittlichen Laufzeiten von 30 bis 40 Jahren.<sup>1</sup> Dieses „europäische Restrisiko“ wollen wir nicht mehr weiter hinnehmen.

- » Wir fordern von allen Staaten mit Atomkraftwerken eine zügige Abschaltung und Stilllegung der Reaktoren und den Einstieg in nachhaltige erneuerbare Energien. Fossile Brennstoffe können und dürfen in der Energieproduktion der Zukunft keine Rolle spielen. Hierüber besteht bereits ein breiter globaler Konsens. Aber auch die Atomenergie stellt keine Alternative dar.
- » **Die globale Energiewende hin zu 100% Erneuerbaren Energien, gekoppelt mit Energieeffizienz- und Sparmaßnahmen sowie die Dezentralisierung der Energieproduktion sind aus Sicht der IPPNW die einzige vernünftige politische Konsequenz aus den Atomkatastrophen von Tschernobyl und Fukushima.**

<sup>1</sup> Mycle Schneider, Anthony Frogatt World Nuclear Industry Status Report 2015

Bestellungen unter: <http://shop.ippnw.de>

---



**Deutsche Sektion der Internationalen Ärzte  
für die Verhütung des Atomkrieges / Ärzte in  
sozialer Verantwortung e. V. (IPPNW)**

Körtestr. 10 · 10967 Berlin · Deutschland

Tel. ++49/ (0)30/ 69 80 74-0

Fax ++49/ (0)30/ 693 81 66

E-Mail: [kontakt@ippnw.de](mailto:kontakt@ippnw.de)

Internet: [www.ippnw.de](http://www.ippnw.de)