

Das strahlende Jahrhundert

Inhalt

1.	Abstract	3
2.	Vorbemerkung zur inhaltlichen Abgrenzung.....	3
3.	Wichtige Begriffe	4
3.1	Deterministische Strahlenschäden	4
3.2	Stochastische Strahlenschäden	4
3.3	Kollektivdosis.....	5
4.	Menschenversuche	6
4.1	1946-1956: "Fernald Science Club"	6
4.2	Späte 40er: Nashville University, Vanderbilt, Tennessee	6
4.3	50er: Lying-in-Hospital, Boston	6
4.4	ab 1963: Oregon und Washington	6
4.5	NASA + AEC	7
4.6.	Verschiedene " <i>Forscher</i> "	7
4.7	1945-1947: Langham und Hamilton	7
5.	Tabellarische Übersicht	8
5.1	Atomrüstung, Frühzeit	8
5.1.1	Hanford.....	8
5.1.2	Chelyabinsk.....	8
5.2	Atomrüstung	8
5.2.1	Bilanz (ohne Explosion von Atomwaffen)	8
5.3	Explosion von Atomwaffen	9
5.3.1	Überirdische Explosionen.....	9
5.3.2	Unterirdische Explosionen.....	12
5.3.3	Unfälle der Atomrüstung.....	13
5.3.4	Unfälle von Atombombern	14
5.3.5	Den Meeresboden erreicht.....	14
5.4	Zivile Atommeiler, "Normalbetrieb"	15
5.5	Zivile Atommeiler, Erhebliche Unfälle	16
5.6	Unterirdische atomare Sprengungen	17
5.7	Produktion von Radionukliden.....	17
5.8	Erhebliche Unfälle mit Radionukliden.....	18
5.9	Satelliten-Abstürze	18
5.10	Berufliche Strahlenbelastung	19
6.	Atomare Schadensbilanz.....	21
7.	Literatur	22

Nach einem Vortrag am 8.11.1999

im Interdisziplinären Seminar der Philipps-Universität Marburg WS 99/00

(http://www.online.uni-marburg.de/isem/WS99_00/index.htm)

"Bilanz 2000 - Bestandsaufnahmen aus ökologischer und sozialer Sicht"

von Prof. Dr. Horst Kuni

Klinische Nuklearmedizin, Klinikum der Philipps-Universität Marburg, D 35033 Marburg,

<http://staff-www.uni-marburg.de/~kuni/>, horst@kuni.org

1. Abstract

Der Vortrag zieht eine Schadensbilanz aus der Verwendung der Atomenergie zu militärischen und zivilen Zwecken. Es überwiegt die globale Kollektivdosis, die unter der gesamten Weltbevölkerung bereits gesundheitliche Schäden hervorgerufen hat und sich noch über viele Generationen auswirken wird: ca. 300 Millionen Personensievert, verantwortlich für ca. 100 Millionen Gesundheitsschäden.

Den weitaus größten Anteil verursachten die überirdischen Explosionen von Atombomben. Bei dem zivilen Einsatz stehen der "Normalbetrieb" von Atommeilern im Vordergrund, deren Folgedosis auf ca. 400 Tausend Personensievert geschätzt wird.

Der Vortrag erläutert die Beiträge von atomarer Rüstung, über- und unterirdischen Atombombenexplosionen, Unfällen und Satellitenabstürzen im militärischen Bereich und von dem Betrieb der Atommeiler, der Herstellung und dem Gebrauch von Radionukliden sowie von atomaren Sprengungen und Strahlenunfällen im zivilen Bereich.

Besonders spektakuläre Gefährdungen menschlicher Gesundheit werden auch angeführt, wenn die Quellen eine seriöse Dosisabschätzung nicht ermöglichen.

2. Vorbemerkung zur inhaltlichen Abgrenzung

Die folgende Übersicht konzentriert sich auf die Verwendung der Atomenergie für militärische und zivile Zwecke. Denn der Bau und der Einsatz einer Atombombe, das damit eingeleitete atomare Wettrüsten und auch der sich in Folge ausbreitende Einsatz der Atomenergie für zivile Zwecke hat eine völlig neue Dimension der Bedrohung menschlicher Gesundheit mit sich gebracht.

Nicht abgehandelt werden die Anwendung natürlicher Radioaktivität sowie der Uranbergbau und seine Folgen. Dies würde den Rahmen des Vortrags ebenso sprengen wie die Behandlung der Anwendung ionisierender Strahlen in Medizin und Technik. Teilweise sind diese Themen bereits in anderen Vorträgen dieser Reihe abgehandelt worden.

Der Vortrag setzt ausdrücklich einen komplementären Schwerpunkt zur hervorragenden historischen Übersicht von Catherine Caufield, die als ergänzende Quelle sehr empfohlen wird.

Der Profession des Autors entsprechend steht im Zentrum der Darstellung die Auswirkung der freigesetzten Strahlung und Radioaktivität auf den Menschen. Dabei werden zwei völlig verschiedene Wirkungen dargestellt, deterministische und stochastische Strahlenschäden.

3. Wichtige Begriffe

3.1 Deterministische Strahlenschäden

Dabei handelt es sich um die Folgen einer Einwirkung hoher Strahlendosen mit akuter Gefährdung der Gesundheit, also Gesundheitsschäden, bei denen die Höhe der Dosis die Schwere der Erkrankung bestimmt.

Über den Verlauf einer akuten Strahlenerkrankung liegen vor allem aufgrund des Abwurfs zweier Atombomben auf Großstädte, aber auch einer Reihe von Strahlenunfällen viel bessere Kenntnisse über den Zusammenhang zwischen Dosis und Wirkung am Menschen vor, als das für chemische Gifte oder Arzneimittel der Fall ist, da es für die ionisierende Strahlung einen makabren Einzelfall darstellt, dass eine große Zahl von Menschen systematisch unterschiedlichen Dosen im Bereich Gesundheit gefährdender oder gar tödlicher Wirkung ausgesetzt worden sind.

In diesem Kontext werden hier aber auch Ereignisse abgehandelt, die aufgrund der Rahmenbedingungen eine besondere Aufmerksamkeit verdienen, auch dann, wenn Gesundheitsschäden noch nicht offenbar geworden sind

3.2 Stochastische Strahlenschäden

Die Anlehnung an $\sigma\tau\omicron\chi\omicron\varsigma$, griech. der Treffer, bringt zum Ausdruck, dass bereits ein einzelner Strahlentreffer zu irreversiblen Schäden am Erbmolekül (DNA) einer Zelle führen kann. Von gesundheitlicher Bedeutung wird diese Veränderung erst, wenn die betroffene Zelle sich vermehrt und dabei den Strahlenschaden an die Tochterzellen weitervererbt. Praktische Bedeutung hat auf diese Weise eine Veränderung (Mutation) im Erbgut einer Keimzelle, weil alle Körperzellen der folgenden Generation dann mit dem Strahlenschaden belastet werden. Im frühen Stadium der Embryonalentwicklung kann ein ganzes Organ oder ein Körperteil von der Mutation betroffen sein. Hat die Mutation eine Körperzelle zu einer Tumorzelle umgewandelt, kann sich der Strahlenschaden durch das Wachsen des erzeugten gutartigen oder bösartigen Tumors so vermehren, dass die Gesundheit oder das Leben der betroffenen Person beeinträchtigt wird. Gemeinsam ist den stochastischen Strahlenschäden, dass die Schwere des gesundheitlichen Schadens von der Strahlendosis unabhängig ist. Die Wahrscheinlichkeit eines Schadens nimmt mit der Dosis zu. Gemeinsam ist den stochastischen Schäden auch, dass sie kein strahlenspezifisches Merkmal haben. Zwischen der Auslösung des Schadens auf der molekularen Ebene und der Manifestation des Gesundheitsschadens können Jahre und Jahrzehnte vergehen, bei genetischen Schäden Generationen. Deshalb kann im Einzelfall keine kausale Verknüpfung zwischen Ursache und Wirkung hergestellt werden.

Die Wahrscheinlichkeit der Schadenauslösung ist durch Beobachtung belasteter Kollektive im Vergleich zu weniger oder nicht belasteten Kontrollgruppen erforscht worden. Auch hier liegen gerade durch die Nachwirkungen der Atombombenabwürfe auf Hiroshima und Nagasaki besonders viele Erfahrungen am Menschen vor.

3.3 Kollektivdosis

Bei einer linearen Beziehung und einer gleichmäßigen Verteilung der Strahlenempfindlichkeit der Bevölkerung kann in erster Näherung davon ausgegangen werden, dass die gesamte Schadens erwartung in einem belasteten Kollektiv proportional der gesamten Dosis in diesem Kollektiv ist, ermittelt durch die Addition der einzelnen Personendosen. In der Praxis wird eine durchschnittliche Dosis einer Einzelperson abgeschätzt und dann mit der Größe des Kollektivs multipliziert.

Die meisten der hier berichteten Kollektivdosen sind den UNSCEAR-Berichten, vor allem dem von 1993, entnommen. Hierbei handelt es sich um umfangreiche Berichte einer Kommission von Wissenschaftlern gegenüber der Vollversammlung der UNO über die Strahlenbelastung der Weltbevölkerung und ihre gesundheitliche Bedeutung. Die besondere Bedeutung des Berichtes von 1993 liegt darin, dass hier erstmals über Strahlendosen berichtet worden ist, die zuvor durch den Kalten Krieg und die militärische Konfrontation der Machtblöcke in den Bereich militärischer Geheimhaltung fielen. Es versteht sich von selbst, dass z.T. schon wegen des Alters der Quellen und der besonderen Rahmenbedingungen, diese Berichte möglicherweise nicht so belastbar sind wie die aus zivilen Quellen.

Aber auch bei Strahlenbelastungen aus zivilen Quellen kann es Motivationen geben, das Ausmaß der Strahlenbelastung niedriger zu sehen als es tatsächlich war.

Es hätte den Rahmen dieser Übersicht bei weitem gesprengt, jede einzelne Angabe unter dem heutigen Aspekt des Wissens über Dosisfaktoren, Stoffwechselmodellen und Wirksamkeit verschiedener Strahlenarten zu überarbeiten. Viele Kollektivdosen, die in früheren Berichten erhoben worden sind, wurden nämlich in den späteren UNSCEAR-Berichten unmodifiziert fortgeschrieben, auch dann, wenn nach neueren Erkenntnissen eine Revision der Daten grundsätzlich möglich gewesen wäre.

Die Kollektivdosis wird als Personen-Sievert angegeben. Um sich eine grobe Vorstellung von der gesundheitlichen Bedeutung dieses Maßes zu machen, kann bei beruflich Strahlenbelasteten (also Erwachsenen) dieser Wert durch Zehn dividiert werden, um grob die Anzahl der Gesundheitsschäden abzuschätzen. Ist von der Kollektivdosis die gesamte Bevölkerung betroffen, führt eine Division durch Drei wahrscheinlich zu einem realistischeren Wert der Schadens erwartung.

4. Menschenversuche

4.1 1946-1956: "Fernald Science Club"

Die Harvard University und das Massachusetts Institute of Technology (MIT) haben an der Fernald School für geistig Behinderte Kindern Testmalzeiten mit Radioaktivität verabreicht. Den Eltern wurde mitgeteilt, die Nahrung der Kinder würde mit Eisen und Kalzium angereichert.

Gesichert ist die Verabreichung von 17mal Radioeisen und 19mal Radiokalzium

Zur unauffälligen Kontrolle wurde der "Fernald Science Club" gegründet und die Kinder regelmäßig zu Feiern eingeladen. Auf der Liste einer der speziellen Weihnachtsfeiern des MIT standen 49 Schüler, die Anzahl der Betroffenen ist also widersprüchlich.

4.2 Späte 40er: Nashville University, Vanderbilt, Tennessee

751 Schwangere der Free Prenatal Clinic (nach anderen Quellen über 800) erhielten von Frauenärzten auf Veranlassung des staatlichen Gesundheitsressorts Radioeisen oral verabreicht, um die Resorption des Eisens in der Schwangerschaft und den Übergang der Radioaktivität auf das Kind zu untersuchen. Es handelte sich um Frauen, die aufgrund sozialer Umstände darauf angewiesen waren, die kostenlose Ambulanz der Universität in Anspruch zu nehmen, meist wohl ledige Mütter, wie daraus geschlossen werden kann, dass viele Mütter ihre Kinder zur Adoption frei gegeben hatten.

Nach 20 Jahren wurde ein signifikanter Anstieg der Krebserkrankungen beobachtet.

4.3 50er: Lying-in-Hospital, Boston

23 Schwangere wurde Radioeisen injiziert.

4.4 ab 1963: Oregon und Washington

131 Strafgefangene ("*Freiwillige*") erhielten 8-600 R auf die Hoden appliziert (entspricht etwa 80-6.000 mSv). Sie erhielten dafür eine Entschädigung von je 10 \$. Ziel der Untersuchungen war, die Dosis für die Erzeugung einer dauerhaften Sterilität zu erkunden. Bei Dosen um 100 mSv kann bereits hormonell eine (reversible) Schädigung des Hodengewebes nachgewiesen werden. Ab 150 mSv wird eine vorübergehende Sterilität durch Verminderung der Spermienzahl bewirkt. Ab 1.000 mSv kommt

es zu einer lang anhaltenden Sterilität, ab 2.000 mit völligem Fehlen lebender Spermien, die wahrscheinlich ab 6.000 mSv in 100% der Fälle zu einer dauerhaften Sterilität führt.

4.5 NASA + AEC

Es wurden Bestrahlungskammern in Oak Ridge mit ^{60}Co und ^{137}Cs in den Wänden aufgebaut, um eine möglichst gleichmäßige Bestrahlung des ganzen Körpers realisieren zu können. Exponiert wurden ~200 Krankenhauspatienten, um die Folgen einer Strahlenbelastung der Astronauten durch die Höhenstrahlung besser beurteilen zu können. (AEC: Atomenergiekommission)

4.6. Verschiedene "Forscher"

Krebspatienten erhielten hoch dosierte Ganzkörperbestrahlungen oder hohe Dosen von ^{32}P oder ^{90}Sr .

4.7 1945-1947: Langham und Hamilton

18 Krankenhauspatienten erhalten Pu injiziert. Bei dem Biochemiker Langham, der für den Strahlenschutz im Atombombenbau der Laboratorien von Los Alamos zuständig war, war das Motiv, den Stoffwechsel von Menschen mit dem seiner Versuchstiere vergleichen zu können.

Der Neurologe Hamilton wollte radioaktive Waffen entwickeln.

5. Tabellarische Übersicht

5.1 Atomrüstung, Frühzeit

5.1.1 Hanford

Freisetzung von Radiojod I-131 in P_{Bq} und dadurch ausgelöste Kollektivdosis in PSv

	P _{Bq} I-131	PSv
1944-1946	18	7000
1947-1956	2	1000
Summe	20	8000

Schilddrüsendosen bis 10 Gy

5.1.2 Chelyabinsk

7.500 belastete Personen

~ 15.000 PSv alleine durch Wasserpfad aus dem Fluss Techa

5.2 Atomrüstung

Inventar geschätzt weltweit ~ 40.000 Waffen mit ~ 13.000 Mt TNT, ~ 200 t Pu

Produktion USA Σ ~ 50.000 Waffen, weltweit ca. das Doppelte

5.2.1 Bilanz (ohne Explosion von Atomwaffen)

Lokal: Zu den 23 kPSv aus der Frühzeit 1 kPSv

sowie 30.000 PSv durch Radon aus Halden des Uranbergbaus

Global (10.000 Jahre): 10.000 PSv

5.3 Explosion von Atomwaffen

5.3.1 Überirdische Explosionen

2 Abwürfe auf bewohnte Städte, 520 Tests (incl. 8 unterseeische)

Zeitliche Verteilung

	Spaltung	Fusion
Mt TNT	217	328
<1952	<0,5%	
1952-1958	42%	25%
1961-1962	47%	72%
>1962	11%	3%

Globale Folgedosis pro Person in Mikrosievert

	40°-50° N	40°-50° S	übrige Welt
C-14	2.580	2.580	2.580
Cs-137	790	210	470
Sr-90	180	50	111
Zr-95	144	32	87
Ru-106	110	31	69
...
Summe	4.400	2.760	3.700

Anzahl betroffener Personen

Kurzlebige Spaltprodukte:	3,2 G Personen
^3H , ^{90}Sr , ^{137}Cs , ^{241}Pu :	4 G Personen
^{14}C , ^{239}Pu , ^{240}Pu , ^{241}Am :	10 G Personen

Globale kollektive Folgedosis in Personensievert

	Welt
C-14 (90% >2020)	25.800.000
Cs-137	1.890
Sr-90	435
Zr-95	278
Ru-106	222
...	...
Summe	300.000.000

Lokale Dosen**Australien 1953-1963**

12 Große Tests

	kt TNT
Monte Bello Island	100
Emu	16
Maralinga	60

Bilanz: ~700 PSv

Mehrere hundert "kleinere" Experimente verseuchen einige hundert Quadratkilometer mit 24 kg ²³⁹Pu von Maralinga:

mittl. Dosen um einige Millisievert, einzeln bis einige Dezisievert

Nevada 1951-1962

~1 Mt Spaltung

180.000 Personen belastet

Schilddrüsendosis bis 1 Gy bei Kindern

Kollektive Folgedosis durch externe Belastung ~500 PSv

Pazifik

160 PSv durch externe Strahlung

1.3.1954 Bravo-Test einer H-Bombe Bikini-Atoll (17 Mt TNT)

km Ost		Belastete Menschen	+ in utero	Sv	evakuiert nach h
210	Rongelap	64	3	1,9	51
210	Allingnae	18	1	1,1	51
570	Utirik	159	8	0,1	78

SD Dosis in Gy	Mittel	Maximum
Erwachsene	12	42
Kind 9a	22	82
Kind 1a	52	200

Pazifik 1.3.1954 Bravo-Test einer H-Bombe Bikini-Atoll

23 japanische Tunfischer des 5. Fukuryumaru (Glücklicher Drache) in 190 km Entfernung

Ganzkörperdosen bis 6,9 Sv γ

Schilddrüsendosen bis 10,3 Sv

Schwere Hautschäden bis zur Ulzeration der Haut, Epilation und Strahlenkrankheit

Langer Krankenhausaufenthalt bis Mai 1954 und ein Todesfall 23.09.1954

Semipalatinsk

1949-1962 Überirdische Tests

(dazu ~300 unterirdische Tests 1964-1989)

10.000 Anlieger belastet

2.600 PSv durch externe Strahlung

2000 PSv durch Ingestion

4600 PSv gesamt

Kollektive Schilddrüsendosis ~10.000 PSv

5.3.2 Unterirdische Explosionen**Lokale Dosen**

Von 1957 bis 1992 1.352 Tests mit 90 Mt TNT

15 PBq ^{131}I : 200 PSv

50 PBq ^{133}Xe : 5 PSv

davon in Nevada ~500 Tests

32 Tests mit Freisetzung von ^{131}I : 5 PBq

5.3.3 Unfälle der Atomrüstung

29.09.1957 **Kyshtym**, (damalige) UDSSR

Inventar des Atommülls ~ 1 EBq

Freisetzung durch Explosion mit 70-100 t TNT: ~100 PBq

Massiv verseuchte Fläche über ~300 km hinweg: ~23.000 km² ⁹⁰Sr

betroffen 270.000 Personen der Bezirke Chelyabinsk, Sverdlovsk, Tyumen

10.730 Personen wurden evakuiert und nach 8 bis 10 Monaten zurück gesiedelt.

Mittl. Dosis ~520 mSv, gesamt 1.300 PSv.

260.000 nicht evakuierte Personen mit 1.100-5.000 PSv

>10.000 t Agrarprodukte mussten in zwei Jahren vernichtet werden

1967 **Karachay See**, benachbart

Inventar 4 EBq ⁹⁰Sr ¹³⁷Cs

Freisetzung 20 TBq über 75 km hinweg: 1.800 km² bis 400 kBqm⁻²

selbe Bevölkerung betroffen wie oben

Okt. 1957 **Windscale** (heute Sellafield)

3 Tage Graphitbrand

Wichtige Freisetzungen:

	TBq	Beitrag zur Kollektivdosis
I-131	740	37%
Cs-137	22	15%
Ru-106	3	
Xe-133	1,2	
Po-210	8,8	37%

Kollektive Dosis in UK und Europa: 2000 PSv

5.3.4 Unfälle von Atombombern

17.01.1966 **Palomares**, Spanien

Zusammenstoß beim Auftanken in der Luft

4 H-Bomben, davon 1 ins Meer, 1 in trockenes Flussbett des Almanzora

bei 2 Bomben öffneten sich die Fallschirme nicht:

Explosion des konventionellen Sprengsatzes und teilweise Kritikalität des spaltbaren Materials

2,26 km² kontaminiert mit ²³⁹Pu/²⁴⁰Pu

22.000 m² mit >1,2 MBq/m² 10cm tief abgetragen als radioaktiver Müll

Rest Ackerland, 30 cm tief untergepflügt

Steiniger Boden mit >120 kBq/m² von Hand abgetragen

55 Personen mit 20 - 200 mSv, max. 240 mSv bei einjährigem Kind

1 PSv akut inhaliert

1 PSv chronisch durch Resuspension inhaliert

1 PSv durch Verzehr der Tomaten

Jan. 1968 **Thule**, Grönland

Absturz mit 4 Atombomben

Explosion des konventionellen Sprengsatzes

0,2 km² kontaminiert

10 TBq Pu im Schnee eingesammelt

1 TBq vom Eis aufgenommen, später im Meer nachweisbar

5.3.5 Den Meeresboden erreicht

>48 Atomwaffen

>11 Atomreaktoren

Okt. 1986 vor Bermuda Atom-U-Boot

April 1989 vor Norwegen Atom-U-Boot

1965 vor Japan Bomber mit 1 Mt H-Bombe kippt vom Flugzeugträger

Juli 1961 Atom-U-Boot im Atlantik: Versagen des Primärkühlkreislaufes Notkühlung
8 Strahlentote

5.4 Zivile Atommeiler, "Normalbetrieb"

	PSv
Uranbergbau und BE-Herstellung	2.700
AKW	3.700
WAA	4.600
Rn aus Abfall	300.000
Global (10.000 Jahre)	100.000
Summe	411.000

BE. Brennelemente, AKW Atomkraftwerk, WAA Wiederaufarbeitung von Brennelementen, Rn Radon

Schadensbilanz in Personensievert in einem Jahr pro elektrischer Leistung in Gigawatt (GW)

Ohne WAA	PSv GWa ⁻¹
lokal	2,75
global (10.000 Jahre)	150
Summe	152,75
mit WAA	
lokal	5,50
global (10.000 Jahre)	1.325
Summe	1.483,25

Weltweit z.Z. $\sim 210 \text{ GW} \cdot (152,75 + 53,22 \text{ (4\% WAA)}) = 205,97 \text{ PSv GWa}^{-1}$:
 $43.254 \text{ PSv a}^{-1}$

5.5 Zivile Atommeiler, Erhebliche Unfälle

1979 Three Mile Island

In 80 km Umkreis: 20 PSv
 weiter durch ¹³³Xe: 20 PSv
 Summe 40 PSv

1986 Chernobyl

Weltweit: $\sim 600.000 \text{ PSv}$

40% ehemalige UDSSR
 57% restliches Europa

5.6 Unterirdische atomare Sprengungen

"Peaceful nuclear explosions" in den 60er USA und ehem. UDSSR

9 kraterbildende Explosionen, davon 6 in Nevada 1962-1968

1968 Schooner Test Nevada: ^{181}W in Europa nachweisbar

~180 PSv

5.7 Produktion von Radionukliden

Kollektive regionale Dosis (ohne Langzeitwirkung des ^{14}C)

	PSv
C-14	86
I-131	9
I-125	7
H-3	1,4
...	...
Summe	100

Gesamte Zeit: ~2000 PSv

Globale kollektive Langzeitdosis (10.000 Jahre) 4000 PSv/Jahr

Gesamte Zeit: 80.000 PSv

5.8 Erhebliche Unfälle mit Radionukliden

Dez. 1983 **Ciudad Juarez**, Mexiko

16,7 TBq ^{60}Co 150 PSv aus Strahlentherapie

Personen	mS
7	3.000-7.000
73	250 - 3000
700	5- 250

1984 **Mohammedia**, Marokko

^{192}Ir 80 PSv aus Gerät zum Durchleuchten von Schweißnähten

8 Tote nach 8-25 Sv pro Person

Sept. 1987 **Goiania**, Brasilien

50,9 TBq ^{137}Cs aus Strahlentherapie

Kollektive Dosis: 60 PSv - 17,2 PSv Tote = 42,8 PSv Überlebende

129 Personen

4 Tote (bis 5,3 Sv), 54 Hospitalisierte

7 verseuchte Häuser abgerissen, 3.100 m³ radioaktiver Müll

5.9 Satelliten-Abstürze

1964 **SNAP-9A**, südl. Hemisphäre

600 TBq ^{238}Pu , ~ 2.100 PSv (im wesentlichen durch Inhalation)

April 1970 **ähnlicher Satellit** fällt intakt in den Pazifik

Jan. 1978 **Cosmos 954**, NW in Kanada

20 kg HEU (hoch angereichertes Uran)

~ 16 PSv vor allem durch ^{137}Cs ^{90}Sr ^{239}Pu

5.10 Berufliche Strahlenbelastung

1985-1989

	k Personen	P Sv a ⁻¹
Militärisch	380	250
Zivil		
Urangebrauch	880	2.500
Industrie	560	510
Medizin	2.220	1.030
Summe	4.040	4.290

30.09.1999 **Tokai Mura** 10:35h Ortszeit (3:35 MESZ)

Konversionsanlage JCO: 17h Kritikalität

3 Personen belastet:

Hisashi Ouchi, 35, 17 Sv

Masato Shinohara, 39, 8 Sv

Unbekannt, 3 Sv

6 Personen bei Intervention belastet: 50-90 mSv

Insgesamt 69 Personen belastet, davon 10 aus der Bevölkerung

Initial 10^{17} Spaltungen, $5 \cdot 10^{18}$ Spaltungen

Am Zaun nach Stunden: 4-5 mSv/h n, 0,5-1 mSv/h γ

(Initial wohl doppelt so hoch)

3.10.99 30m vom Zaun: 0,54 μ Sv/h (normal: 0,1 μ Sv/h)

Evakuierung der 350m-Zone (160 Personen) bis 2.10. 9:00 MESZ

6. Atomare Schadensbilanz

	Regional PSv	Global PSv
Militärisch		
Rüstung	54.000	10.000
Überird. Explosionen	5.960	300.000.000
Unterird. Explosionen	205	
Unfälle	4.503	
Satelliten		2.120
Zwischensumme	64.668	300.012.120
Zivil		
Atommeiler	311.000	100.000
Radionuklide	2.000	80.000
Sprengungen	180	
Unfälle	330	600.000
Zwischensumme	313.510	780.000
Summe	378.178	300.792.120
Gesamt		301.170.298

7. Literatur

Burton, R.J. 1987

Brief an S. Boxer, Barrow in Furness, Ref. EE/87/330. BNFL Head Office, Risley 21.09.1987
zitiert nach: Kirchner, G. und Ehlken, S.: Ermittlung der Emissionen und Immissionen der
Wiederaufarbeitungsanlage Sellafield
In: Otto Hug 1990, S. VI-1 - VI-10

Caufield C. 1990

Multiple Exposures: Chronicles of the Radiation Age
304 S., University of Chicago Press, ISBN-10: 0226097854 (ISBN13: 9780226097855)

Caufield C. 1994

Das strahlende Zeitalter. Von der Entdeckung der Röntgenstrahlen bis Tschernobyl
414 S., C.H. Beck Verlag (1994), ISBN-10: 3406374158, ISBN-13: 978-3406374159

CEC 1979

Commission of the European Communities
Methodology for Evaluating the Radiological Consequences of Radioactive Effluents Released in
Normal Operations
Joint Report by the National Radiological Protection Board, Harwell, Didcot, United Kingdom,
and the Commissariat a l' Energie Atomique, Département de Protection, CEN, Fontenay-aux-
Roses, France, Doc. No. V/3865/1/79, July 1979 (2nd Impression, Dec. 1982, with corrections)

ICRP 60 1991

International Commission on Radiological Protection
Publication 60
1990 Recommendations of the International Commission on Radiological Protection
Annals of the ICRP Vol. 21, No. 1-3
Pergamon Press, Oxford, New York, Seoul, Tokyo

Kuni, H. 1987

Die Gefahr von Strahlenschäden durch Plutonium
Konsequenzen für das Atom- und Strahlenschutzrecht
aus medizinischer Sicht
Der Minister für Wirtschaft, Mittelstand und Technologie
des Landes Nordrhein-Westfalen, Düsseldorf, 197 S., 1987

Kuni, H. 1990

Abschätzung der Gesundheitsschäden in der Bevölkerung durch die Wiederaufarbeitung
In: Otto Hug 1990, S. IX-1 - IX-73
Die 1998 aktualisierte Version des ersten Teiles ist bereitgestellt unter der URL
<http://www.oh-strahlen.org/docs/waa.pdf>

Kuni, H. 1994

Leukämie um Atomanlagen
Kapitel 7. Gesundheitliche Gefährdung der Angehörigen, Unterkapitel 7.2. Direkt durch
Emissionen der Arbeitsstätte
Aus: Kuni, H.: Niedrige Strahlendosen und Gesundheit der Arbeitnehmer,
Berichte des Otto Hug Strahleninstitutes, Bonn, Bericht 8-11, MMV Verlag München, S. 114ff.

Kuni, H. 1995

Schacht Konrad. Ein aus nuklearmedizinischer Sicht ungeeignetes "Endlager"
In: IPPNW (Hrsg.): Die Endlagerung radioaktiver Abfälle. Risiken und Probleme
S. Hirzel, Stuttgart, Leipzig, S. 117ff.

Otto Hug 1990

Otto Hug Strahleninstitut
Kuni, H. , Schmitz-Feuerhake, I. (Hrsg.) 1990: Strahlenexposition und -risiko sowie Sicherheit
bei der sog. 'schadlosen Verwertung' von bestrahlten Brennelementen im Ausland
Gutachten erstellt im Auftrag der Freien und Hansestadt Hamburg,
Otto Hug Strahleninstitut, Bonn, 1990
Die Zusammenfassung des Forschungsberichtes bereitgestellt unter der URL
<http://www.oh-strahlen.org/docs/waasum.htm>

UNSCEAR 1982

United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation
Sources, Effects and Risks of Ionizing Radiation
1982 Report to the General Assembly, with Annexes
United Nations, New York

UNSCEAR 1993

United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation
Sources, Effects and Risks of Ionizing Radiation
1993 Report to the General Assembly, with Annexes
United Nations, New York