

Die Belastung des menschlichen
Organismus durch radioaktive
Strahlen

Von der Entdeckung der Radioaktivität bis zu
den gegenwärtigen Folgen des
Tschernobylunglücks

Name:

Rosa Lemmermann

Schule:

Freiherr-vom-Stein-Schule

Fach:

Biologie, Physik

Fachlehrer:

Herr Rollik, Herr

Möller-Linke

Ort, Datum:

Hess. Lichtenau, den

5. Mai 2004

1. Vorwort

1.	Vorwort	
	Seite	1
2.	Radioaktivität	
		Seite
	2	
2.1	Was versteht man unter Radioaktivität?	
	Seite	2
2.2	Die Wirkungsweisen der verschiedenen Strahlen	
	Seite	4
2.3	Nutzen und Gefahren von radioaktiver Strahlung	
	Seite	6
2.3.1	Radioaktivität als medizinische Errungenschaft	Seite
	6	
2.3.2	Energiegewinnung durch Radioaktivität	Seite
	7	
3.	Folgen für den Menschen nach Tschernobyl	
	Seite	10
3.1	Was geschah am 26. April in Tschernobyl?	
		Seite
		10
3.2	Wo ist die Belastung nach dem Reaktorunfall am stärksten?	
	Seite	12
	3.2.1	Auswirkungen auf
Weißrussland, die Ukraine		und Russland

1. Vorwort

		Seite
	12	
3.2.2	Auswirkungen auf Europa	
	Seite	13
3.2.3	Weltweite Auswirkungen im Überblick	
	Seite	14
3.3	Welche Belastung trägt der Mensch durch radioaktive Strahlen?	
	Seite	15
3.3.1	Welche Personengruppen wurden bestrahlt?	
	Seite	15
3.3.2	Die externe Strahlenbelastung	
		Seite
	16	
3.3.3	Die interne Strahlenbelastung	
		Seite
	18	
3.4	Einflussnahme der Strahlung auf den menschlichen Körper	
		Seite
	20	
3.4.1	Die biologische Strahlenwirkung	
		Seite
	20	
3.4.2	Akute Schäden infolge von verschiedenen Strahlendosen	
		Seite
	22	
3.4.3	Späte Schäden infolge von verschiedenen Strahlendosen	
		Seite
	24	
4.	Nachwort	
	Seite	26
5.	Lexikon der verwendeten Begriffe	
	Seite	27

Nach dem Informationstermin zu den Jahresarbeiten in der Jahrgangsstufe 12 unter der Leitung von Frau Harms, machte ich mir erstmals genauere Gedanken über das Thema meiner Jahresarbeit. Da meine Begeisterung eher bei den naturwissenschaftlichen als bei den sprachlichen Fächern liegt, gingen meine Überlegungen gleich in diese Richtung. Ich schlug die Zeitung auf „Atomkraftwerk bei Stade wird außer Kraft gesetzt“ und gleich kamen mir die unzähligen politischen Diskussionen zum Atomkraftausstieg Deutschlands in den Sinn. Argumente von typischen Atomkraftbefürwortern und -gegnern kreisten in meinem Kopf herum. Und mir fiel auf, dass ich zwar eher Gegner dieser Energiequelle war, doch das diese Meinung zum größten Teil nur von meinen Eltern übernommen ist.

Natürlich hatte ich schon im Chemieunterricht ansatzweise von der Entdeckung der Radioaktivität und Marie Curie gehört, aber wie diese in einem Atomkraftwerk als Energiegewinnung genutzt wird blieb immer ungeklärt. Auch wurde schon oberflächlich über Tschernobyl im Sozialkundeunterricht diskutiert, doch was genau bei dem schrecklichen Unglück in meinem Geburtsjahr 1986 passierte, wurde nie aufgedeckt. Mehrmals habe ich mit Halbwertszeiten in Physik gerechnet, aber die konkreten Auswirkungen von radioaktiven Stoffen und ihren verschiedenen Strahlen auf den menschlichen Körper sind bis heute nicht im Biologieunterricht besprochen worden.

Ohne die Lehrpläne kritisieren zu wollen, möchte ich versuchen die vielen Ansatzpunkte zu diesem umfangreichen Thema aus dem bisherigen Unterricht zu verbinden, um dann ein umfassenderes Gesamtbild zu schaffen. Als Ziel meiner Arbeit setzte ich mir nicht, dass sie eine Meinungsbegründung für Atomkraftgegner wird, vielmehr möchte ich die Informationen zusammentragen, welche als Grundlage der Meinungsbildung für oder gegen Atomkraft herangezogen werden kann. Gleich die ersten Recherchen, Informationen über Krankheiten, die nach Tschernobyl vermehrt auftraten, ließen mich die Frage stellen, ob eine solch enorme Nutzung von Radioaktivität (in Form von Röntgenstrahlung und Atomkraftwerken) überhaupt jemals gerechtfertigt wäre, wenn man sich der Anzahl der Opfer und allgemeinen Folgen bewusst ist.

Kofi A. Annan, Generalsekretär der Vereinten Nationen äußerte sich nach einem Besuch des Museums in Tschernobyl im Juni 2002 folgendermaßen zur Einschätzung der Katastrophe: „Millionen Menschen sind weiterhin direkt von den Konsequenzen dieses Unglücks betroffen. Ich bleibe tief betrübt über ihre Notlage. Es ist besonders beunruhigend, dass nur wenige

1. Vorwort

Menschen die Vielzahl von Problemen, die mit dem Ereignis und seinen Nachwirkungen verbunden sind, realisieren.¹

¹ Hirsch, Helmut / Becker, Oda; 17 Jahre nach Tschernobyl – vielfältige Probleme, halbherzige Lösungen, unklare Perspektiven; Greenpeace e.V. (Hrsg.); Hannover; 2003; S.3 (1. Absatz)

2. Radioaktivität

2.1 Was versteht man unter Radioaktivität?

Wie schon seit über 100 Jahren bekannt ist, besteht jeder Stoff aus Atomen, die sich wiederum aus ihrem Atomkern und den ihn umhüllenden Elektronen zusammensetzen. An dieser Stelle beginnt man zwischen stabilen und instabilen Kernarten zu unterscheiden. Die stabilen bleiben bestehen, während jedoch die instabilen Atome nach individuell bestimmter Zeit zerfallen. Dabei wandeln sich ihre Kerne in andere Kerne um. Bei diesem Vorgang wird in der Regel sehr energiereiche Strahlung freigesetzt.²

Das Verhalten dieser instabilen Atomkerne (Radionuklide), bei ihrem Zerfall selbstständig Strahlung auszusenden, nennt man radioaktiv. Es handelt sich hierbei also um radioaktiven Zerfall. Gemessen werden die Kernumwandlungen in einem zerfallenden Atomkern pro Sekunde [Bq], ihr hat man die physikalische Größe Radioaktivität gegeben.³

Die so genannte „natürliche Radioaktivität“ wird durch Überreste von der Entstehung des Weltalls vor sechs Milliarden Jahren hervorgerufen, weil die ständigen Wechselwirkungen zwischen Luftschicht und kosmischen Höhenstrahlung die Zahl der radioaktiven Nuklide steigen lässt. Eine weitere Quelle sind vor allem noch die, in den Böden und Gesteinen der Erdkruste vorkommenden, natürlichen Radionukliden, welche ihre Spaltungsprodukte in die Atmosphäre abgeben.

„Künstliche Radioaktivität“ wird also von den, vom Menschen beispielsweise in Atomkraftwerken erzeugten, Radionukliden verursacht. Sie haben vergleichbare, wenn nicht sogar identische Halbwertszeiten und spielen in der Belastung von Mensch und Umwelt eine nicht unwichtige Rolle, denn einige dieser Nuklide sind radiotoxisch und können schwerwiegende Folgen mit sich tragen.

Eigentlich ist die Kernumwandlung sehr schlecht an genaue Werte zu binden, doch hat man nach und nach feste zeitliche Änderungsgesetze nachweisen können und die so genannte Halbwertszeit, die Zeit nach der die Hälfte der ursprünglichen Menge des radioaktiven Materials durch Zerfall umgewandelt ist, wurde als entscheidende Größe gewählt. Ebenfalls dient die freigesetzte Strahlung als charakteristisches Merkmal einer radioaktiven Substanz. Sobald die beim radioaktiven Zerfall entstandene energiereiche Strahlung auf eine andere Materie trifft, wird dieser Stoff in seiner Elektronenkonfiguration verändert. Weil die Strahlung ionisierend wirkt, hat man hier den Begriff der ionisierenden Strahlung eingeführt.⁴

² Microsoft Encarta Enzyklopädie PLUS 2001; Stichwort „Radioaktivität“; 1. Einleitung, 2.1 Kernaufbau, 3. Halbwertszeit, 4. Radioaktive Zerfallsreihen, 5. Künstliche Radioaktivität

³ Bundesamt für Strahlenschutz (www.bfs.de); Dr. Norbert Dymke / Arthur Junkert / Gabriele Viecek (Redaktion); Broschüre: Strahlung und Strahlenschutz; S. 6

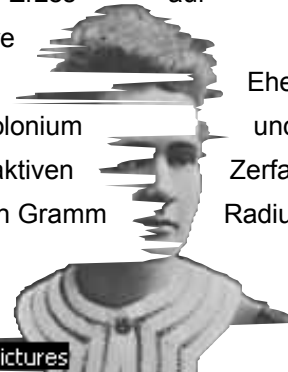
⁴ Koepp, Reinhold / Koepp-Schewyrina, Tatjana; Tschernobyl – Katastrophe und Langzeitfolgen, Stuttgart; Leipzig: Teubner; Zürich: vdf. Hochschulverlag an der ETH, 1996 (Einblicke in die Wissenschaft: Ökologie); S. 11-23

2. Radioaktivität

1896 wurde diese Erscheinung zum ersten Mal von dem französischen Physiker Antoine Henri Becquerel entdeckt. Bei einem seiner Experimente stellte er fest, dass das Element Uran eine photographische Platte schwärzen kann, selbst, wenn es davon durch andere Materialien getrennt wird. Er fand heraus, dass seine Uranpräparate eine durchdringende Strahlung aussenden, die, wie die ein Jahr zuvor entdeckte Röntgenstrahlung, die Luft ionisiert. Die von radioaktiven Stoffen ausgehende Strahlung besteht jedoch nicht nur aus der, zur Familie des elektromagnetischen Spektrums gehörenden, Gammastrahlung.

(Abbildung 1)

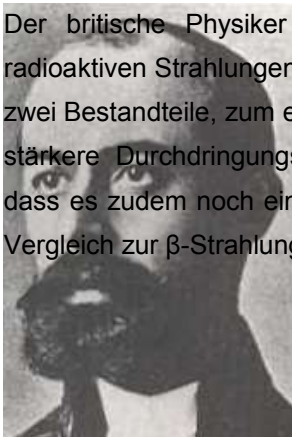
Im Jahre 1898 stellte die französische Chemikerin Marie Curie eine Vermutung auf, dass aufgrund der größeren radioaktiven Intensität des uranhaltigen Erzes auf die Pechblende gegenüber den Uransalzen, dieses Erz weitere radioaktive Elemente enthalten müsse. Gemeinsam mit ihrem Ehemann Pierre Curie schaffte sie es zwei neue radioaktive Elemente (Polonium und Radium) zu isolieren. Die Curies bestimmten die beim radioaktiven Zerfall von Radium freiwerdende Wärmeenergie und fanden heraus, dass ein Gramm Radium pro Stunde eine enorme Energie von etwa 420 Joule freisetzt.^{5,6}



(Abbildung 2)

2.2 Die Wirkungsweisen der verschiedenen Strahlen

Der britische Physiker Ernest Rutherford erkannte gewisse Unterschiede zwischen den radioaktiven Strahlungen. So hatte er in Folge eines Goldfolienversuches die Annahme, es gäbe zwei Bestandteile, zum einen die α -Teilchen, zum anderen die β -Teilchen, welche eine 100-fach stärkere Durchdringungswirkung haben. Aufgrund weiterer Untersuchungen wurde bekannt, dass es zudem noch eine dritte Strahlungsart gibt: die δ -Strahlung, eine Strahlung, die sich im Vergleich zur β -Strahlung als erheblich durchdringender erwies.



In einem elektrischen Feld wird die Bahn eines β -Teilchens stark in Richtung des positiv geladenen Pols abgelenkt, die Bahn eines α -Teilchens wird weniger stark auf den negativen Pol hin abgelenkt, wobei die δ -Strahlen überhaupt keine Ablenkung erfahren. Aus dieser Erkenntnis lässt sich folgern, dass β -Teilchen negativ, α -Teilchen positiv geladen sind und dass δ -Teilchen keine Ladung besitzen.

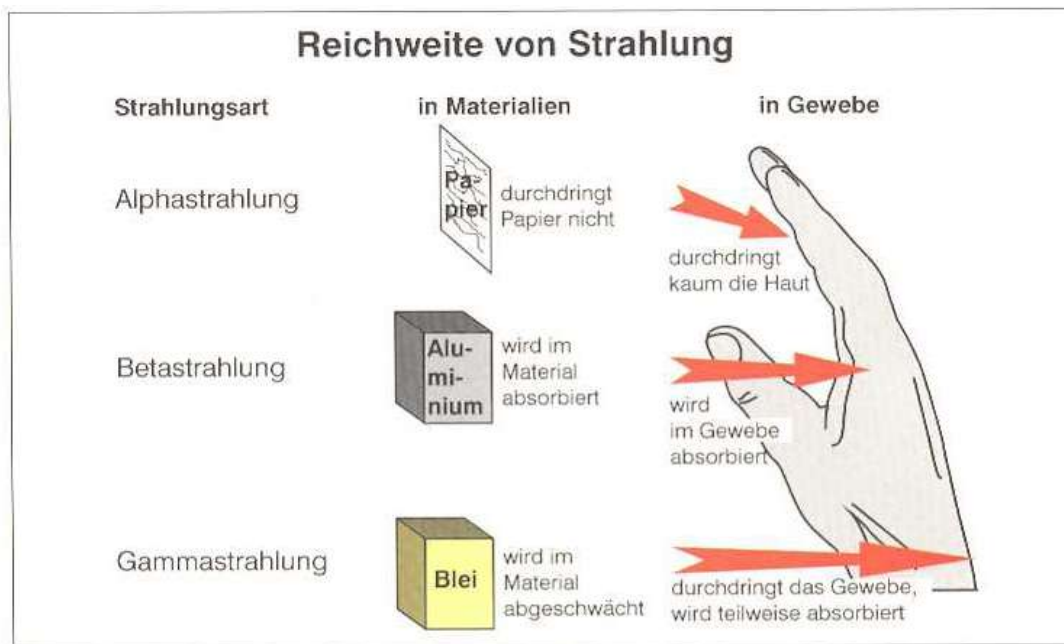
⁵ Microsoft Encarta Enzyklopädie Plus 2001; Stichwort „Radioaktivität“; 1. Einleitung

⁶ Bundesamt für Strahlenschutz (www.bfs.de); Dr. Norbert Dymke / Arthur Junkert / Gabriele Vicek (Redaktion); Broschüre: Strahlung und Strahlenschutz; S. 5

2. Radioaktivität

Im Verhältnis zur Ladung sind α -Teilchen sehr schwer und ionisieren die durchdrungene Materie auf kurzem Wege besonders dicht, während β -Strahlen und speziell die δ -Strahlen ihre Energie in weitaus größeren Bereichen angeben.⁷ Die verschiedenen Strahlungen unterscheiden sich also in ihren Energieabgaben und damit auch in ihrem Durchdringungsvermögen.

Bewiesen ist, dass α -Strahlen schon durch Papier, β -Strahlen durch Aluminium und δ -Strahlen erst durch Blei abgeschirmt werden können. Folgende Abbildung zeigt die Strahlungsarten und ihre Schwächung beim Durchgang durch unterschiedliche Materie.



(Abbildung 3)

Man kann anhand dieser Abbildung sehr deutlich erkennen, wie stark das Durchdringungsvermögen der einzelnen Strahlungen, besonders der δ -Strahlen, ist. Für die absorbierte Energie pro Masse des bestrahlten Körpers wird die physikalische Größe „Energiedosis“ verwendet. Gerade der Mensch ist schon seit seinem Bestehen von ionisierender Strahlung gefährdet, z.B. würde eine beim Menschen tödlich wirkende Dosis der δ -Strahlen lediglich ausreichen, um einen Teelöffel Wasser auf 10°C zu erwärmen.⁸

Der Mensch kann auf zwei verschiedene Arten von ionisierender Strahlung geschädigt werden. Zum einen können diese den Körper von außen bestrahlen, die externe Strahlenexposition (siehe auch 3.3.2), doch gibt es auch den Weg der Inkorporation.

So können radioaktive Teilchen ins Innere gelangen und den Körper von innen her bestrahlen (siehe auch 3.3.3).⁹ Das Maß für die biologische Wirkung ionisierender Strahlung auf den

⁷ Microsoft Encarta Enzyklopädie PLUS 2001; Stichwort „Radioaktivität“; 2. Strahlungsarten

⁸ Bundesamt für Strahlenschutz (www.bfs.de); Dr. Norbert Dymke / Arthur Junkert / Gabriele Viecek (Redaktion); Broschüre: Strahlung und Strahlenschutz; S. 6

⁹ http://www.bayern.de/lfu/umwberat/data/strahl/radioakt_1996.htm; 5. Biologische Wirkung der Strahlung, 5.1 Wirkmechanismen; Stand: 08.04.2004

2. Radioaktivität

Menschen ist die Äquivalentdosis (Einheit: 1Sievert, 1Sv). Sie ist definiert als das Produkt aus der Energiedosis (Einheit: 1Gray, 1Gy) und dem Qualitätsfaktor, welcher die biologische Wirksamkeit der unterschiedlichen Strahlungsarten beschreibt.

Die „zumutbare“ Belastung eines Menschen liegt bei einmaliger Bestrahlung des ganzen Körpers zwischen 200 und 300 mSv. Je höher die Strahlendosis ist, desto schwerer und wahrscheinlicher ist der Schaden, beginnend beim so genannten Strahlenkater mit Übelkeit und Erbrechen über Schleimhautentzündungen und Fieber bis hin zum Tod.

Der Schutz des Menschen vor diesen gefährlichen Strahlen ist in der Bundesrepublik Deutschland nach § 45 der Strahlenschutzverordnung geregelt. Hier wird gesagt, dass die Ganzkörperdosis 300 Mikrosievert nicht überschreiten darf, wobei natürlich angezweifelt werden darf, ob die Grenzwerte wirklich ausreichend sind. Auch wenn man auf diesem Gebiet schon viel erforscht hat und die Werte sicherlich auch gut begründet werden können, ist man noch nicht am Ende der Forschung zur Auswirkung und Einflussnahme von radioaktiver Strahlung auf den Menschen angelangt.

2.3 Nutzen und Gefahren von radioaktiver Strahlung

2.3.1 Radioaktivität als medizinische Errungenschaft

Im Jahr 1895 entdeckte Wilhelm Conrad Röntgen bei Untersuchungen an Kanalstrahlen in Gasladungsröhren eine völlig neue Strahlenart. Sie waren unsichtbar und hatten erstaunlich viele besondere Eigenschaften. Weiter stellte er eine gewisse Ähnlichkeit bei der gradlinigen Ausbreitung ihrer Strahlen mit Licht fest, doch dass diese auch verschiedene Körper unterschiedlich gut durchdringen konnten und sogar einige Gegenstände sichtbar machen konnten, die das bloße Auge nicht sah, faszinierte ihn.

Zu Ehren seines Verdienstes wurde neben der Bezeichnung der Röntgenstrahlen auch noch die Doseinheit für ionisierende Strahlung Röntgen (R) eingeführt. Bei Röntgenstrahlen handelt es sich um sehr kurzwellige (→ große Durchdringungskraft), energiereiche, elektromagnetische Strahlung. Sie grenzt im oberen Spektralbereich an die ultraviolette Strahlung und im unteren Spektralbereich an die δ -Strahlung, was bedeutet, dass Röntgenstrahlung sowohl Wellen- als auch Teilcheneigenschaften hat.

2. Radioaktivität

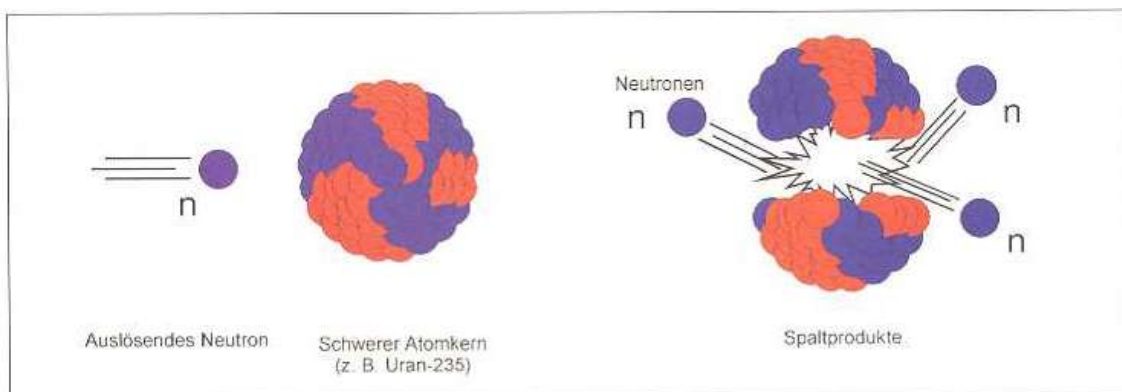
Sehr schnell wusste man sich dieser auch zum Nutzen in der Medizin zu machen. Vor besonders schweren Operationen konnten Knochenbrüche geröntgt (sichtbar gemacht) werden, um so das Risiko medizinischer Eingriffe einzuschränken. Man konnte deutlich leichter gut- und bösartige Geschwülste, sowie Gelenkerkrankungen behandeln. Die Röntgentechnik schien mit der Zeit nicht mehr wegzudenken und so kam es, dass diese auch auf anderen Gebieten verwendet wurde. Der schlimmste Missbrauch von den - als „heilende“ Strahlungen bezeichneten - Röntgenstrahlen war das, von einem Arzt vermarktete, sogenannte Trichosystem. Röntgenapparate wurden an Schönheitssalons verliehen, um Frauen die Möglichkeit einer unkomplizierten Körperenthaarung zu geben. Noch Mitte des 20. Jahrhunderts konnte man mit Hilfe eines Röntgenapparats im Schuhgeschäft überprüfen, ob der Schuh auch sitzt. Doch als vermehrt Vorfälle von „Röntgenopfern“ an die Öffentlichkeit kamen, die an schweren Krankheiten litten, versuchte man die Nutzung einzuschränken.

Noch heute wird Nuklearmedizin in Form von Radiopharmaka oder Röntgentechnik weltweit in größeren medizinischen Diagnose- und Therapieeinrichtungen verwendet, obwohl die Wirkung ionisierender Strahlung und speziell ihre Langzeiteffekte nicht vollständig erforscht sind. Als leider fast unersetzlich wird die Strahlentherapie bei der Krebsbehandlung auch zukünftig gelten, um den Tumorwachstum zu verringern.^{10,11}

Insgesamt trägt die Medizin ungefähr 1/3 zur Strahlenbelastung des Menschen bei.¹²

2.3.2 Energiegewinnung durch Radioaktivität

Der Neutronenbeschuss, bei dem Atomkerne mit Neutronen beschossen werden, welche eine Spaltung der Kerne hervorrufen, setzt eine enorme Energie und neue Neutronen frei. Nach der Entdeckung der Kernspaltung dauerte es nicht mehr lange, bis die dabei entstehende Energie von der Menschheit genutzt werden konnte.



(Abbildung 4)

Schnell wurde erkannt, dass man diese Art von Kettenreaktion zur Energiegewinnung nutzen konnte. Weitere Forschungen legten die Grundsteine für den Bau einer Atombombe und so kam

¹⁰ Microsoft Encarta Enzyklopädie PLUS 2001; Stichwort „Röntgenstrahlung“; 1. Einleitung, 2. Natur der Röntgenstrahlung, 4. Eigenschaften der Röntgenstrahlung

¹¹ Koepf, Reinhold / Koepf-Schewyrina, Tatjana; Tschernobyl – Katastrophe und Langzeitfolgen, Stuttgart; Leipzig: Teubner; Zürich: vdf. Hochschulverlag an der ETH, 1996 (Einblicke in die Wissenschaft: Ökologie); S. 19-30

¹² Koepf, Reinhold / Koepf-Schewyrina, Tatjana; Tschernobyl – Katastrophe und Langzeitfolgen, Stuttgart; Leipzig: Teubner; Zürich: vdf. Hochschulverlag an der ETH, 1996 (Einblicke in die Wissenschaft: Ökologie); S. 97

2. Radioaktivität

es, dass im zweiten Weltkrieg schon davon Gebrauch gemacht wurde. Besonders in den 70er Jahren waren spezielle Tests zur Nutzung und Wirkung von Atomwaffen weltweit verbreitet. Vor dem Bau eines Atomkraftwerks zur Stromerzeugung gab es ein großes Anfangsproblem, und zwar die Erkenntnis darüber, dass das natürliche Uran nur zu 0,71% aus dem gebrauchten Isotop Uran-235 besteht. Zudem kam noch, dass die Reaktionsrate exponentiell stieg und bei dem Spaltungsprozess energiereiche Neutronen entstanden, die noch nicht gestoppt werden konnten.

Später fand man heraus, dass Wasserstoff Neutronen stark zu absorbieren vermochte und man war sich einig, dass Wasser als Kühlmittel für einen Reaktor verwendet werden konnte. Als Stoff, der die Regelung der Intensität der Kettenreaktion übernehmen konnte, bot sich Cadmium oder Bor an.¹³ Aus ihnen werden die so genannten Regelstäbe gebaut; durch Heraus- und Hereinziehen dieser wird die Zuordnung von einem neuen Neutron und einer neu ausgelösten Kernspaltung garantiert.

Bei den meist verwendeten Leichtwasserreaktoren werden die Steuerstäbe durch Wasser gekühlt, doch es gibt auch Druckwasserreaktoren wie z.B. bei uns in Hessen / Biblis. Bei dieser Art von Reaktormodell werden die Steuerstäbe in einen Reaktordruckbehälter gegeben, das Wasser kann nicht verdampfen und wärmt das stehende Wasser in einem zweiten Kreislauf auf, sodass dieses über einen Dampferzeuger in Form von Wasserstoff zur anzutreibenden Turbine gelangt, welche den Generator anregt.

Bis heute steht fest, dass diese Art von Stromerzeugung mit Abstand die wirtschaftlichste Variante ist. Obwohl bekannt ist, dass diese Energiequelle mit sehr hohen Risiken verbunden ist, geht wenig Engagement gegenüber der Erforschung von sinnvollerer Alternativmöglichkeiten wie Windkraft oder Sonnenenergie aus. Die Karte unten zeigt in welchem Maße wir Deutschen diese Art von Stromerzeugung nutzen.

¹³ Koepp, Reinhold / Koepp-Schewyrina, Tatjana; Tschernobyl – Katastrophe und Langzeitfolgen, Stuttgart; Leipzig: Teubner; Zürich: vdf. Hochschulverlag an der ETH, 1996 (Einblicke in die Wissenschaft: Ökologie); S. 31-34

2. Radioaktivität



(Abbildung 5)

Die Überschrift der Greenpeace für diese Karte lautet „Strahlendes Deutschland“. Und das zu Recht, wenn man bedenkt, wie viele Zwischenfälle und Katastrophen es seit dem Bau von Atomkraftwerken gegeben hat. Natürlich wurde im Laufe der Zeit versucht Sicherheitsmaßnahmen besser realisieren zu können, doch ist die Anzahl an Störfällen, auch in Deutschland, nicht gerade niedrig. Dies sollte auf keinen Fall vernachlässigt werden, da es bei solchen Störungen zu einer ungewollten Freisetzung von radioaktiven Stoffen führen kann.

Sehr wahrscheinlich ist es, dass das Unfallrisiko mit zunehmender Betriebsdauer steigt, weil wichtige Leitungsmaterialien von den radioaktiven Stoffen angegriffen werden und Ventile sich lösen. Zudem kommt, dass die Ursachen für die meisten Reaktorunfälle eine Mischung aus menschlichem und technischem Versagen sind.

Nur ein Beispiel dafür ist das Kraftwerk in Biblis, eines der wenigen deutschen Atomanlagen, bei dem es zu einem Atomunfall kam. Im Dezember 1987 klemmte in Block A des AKWs ein Ventil

2. Radioaktivität

zur Versorgung des Kühlmittels und blieb 15 Sekunden unentdeckt offen. Dadurch, dass Techniker in diesem Moment nicht den Reaktor abschalteten, sondern stattdessen ein zusätzliches Ventil zum Durchspülen öffneten, liefen 107 Liter radioaktives Kühlwasser aus. Die Folge des schwersten Atomunglücks in Deutschland hätte in größerem Maße eine Kernschmelze sein können.¹⁴



¹⁴ Eitner, Kerstin; Atomkraft – schweres Erbe für die Zukunft (Strahlenrisiko, Atommüllberge, Reaktorunfälle); Greenpeace e.V. (Hrsg.); Nieswand Druck Kiel; Stand 8/2000; S. 4-6

3. Folgen für den Menschen nach Tschernobyl

3.1 Was geschah am 26. April in Tschernobyl?

Die Stadt Tschernobyl hatte 1986 etwa 12.500 Einwohner und lag in einer eher ländlichen Gegend, in der die Bewohner größtenteils von Landwirtschaft, Gartenbau, Fischfang und von den Erzeugnissen des Waldes lebten. Nahe dem Ort mündet der Pripjat in den Kiewer Stausee. Das Kernkraftwerk Tschernobyl direkt lag rund 130 km nordwestlich von Kiew (Ukraine) und kurz vor der Grenze zu Weißrussland. Es bestand aus 4 Reaktorblöcken, die zwischen 1977 und 1983 ans Netz angeschlossen wurden. Die Gebiete um die Stadt herum waren früher nicht sehr stark bewohnt und so hatte man damals versucht, die Bevölkerung mit einem besseren Kraftwerk zu locken.¹⁵

Am 25. April 1986 sollte im 4. Block des Kraftwerks von Tschernobyl ein Experiment stattfinden, bei dem überprüft werden sollte, ob die Turbinen bei einem kompletten Stromausfall im Kraftwerk noch genügend Strom liefern können, um die Notkühlung des Reaktors zu gewährleisten. Um das Experiment unter realistischen Bedingungen stattfinden zu lassen, wurde das Notprogramm "Havarieschutz" abgeschaltet, in dem alle wichtigen Sicherheitseinrichtungen wie die Notkühlung und das Einfahren der Brennstäbe integriert sind.

Durch die zeitliche Verzögerung des Experiments, war schon der erste Schichtwechsel passiert, sodass eine unvorbereitete Arbeitsgruppe diese Aufgabe unter Anweisung des alten Schichtleiters durchführen musste. Sehr schnell stellte man fest, dass zu diesem Zeitpunkt nur 18 der eigentlich vorgeschriebenen 30 Brennstäbe eingefahren waren. Außerdem schaltete man zusätzlich zu den 6 benötigten Hauptumwälzpumpen zur Kühlung zwei weitere ein, was einen enorm ansteigenden Wasserdurchfluss zur Folge hatte. Dies bewirkte eine verringerte Dampfbildung, einen niedrigeren Dampfdruck und Schwingungen in den Druckröhren, die eigentlich zu einer Notabschaltung hätten führen müssen. Aufgrund der Anweisungen des Schichtleiters, war das ganze Sicherheitssystem allerdings blockiert worden.

Unter diesen Voraussetzungen begann nun der eigentliche Test; das Drosselventil für die Dampfzufuhr zur Turbine 8 wurde geschlossen, welche sich daraufhin zu verlangsamen begann. Weil Turbine 7 aber ausgeschaltet war, hätte in ein Signal (ebenfalls ausgeschaltet) zur Warnung der Notabschaltung erläutern müssen. Durch den Turbinenausfall erhöhte sich der hydraulische Widerstand des Reaktors, der Wasserdurchfluss nahm wieder ab und es erfolgte eine schnelle Aufheizung. Mit steigender Temperatur nahm auch die Energieproduktion und somit die Leistung des Reaktors kontinuierlich zu.

Jetzt bemerkte man den Leistungsanstieg und einigte sich die Notabschaltung auszulösen. Dann trat ein Konstruktionsfehler zutage, der die Wirkung der Brennstäbe nicht nur verhinderte, sondern die Energieproduktion noch schneller ansteigen lies. Der Reaktor konnte nicht mehr kontrolliert werden, da die Leistung über ihre Maximalwerte stieg und schließlich die gesamte Atoanlage explodierte.

¹⁵ Koepp, Reinhold / Koepp-Schewyrina, Tatjana; Tschernobyl – Katastrophe und Langzeitfolgen, Stuttgart; Leipzig: Teubner; Zürich: vdf. Hochschulverlag an der ETH, 1996 (Einblicke in die Wissenschaft: Ökologie); S. 54-57

3. Folgen für den Menschen nach Tschernobyl

Bei der Explosion der Zentralhalle wurde das Betondach in die Luft gesprengt, so kam es, dass Teile des Kernbrennstoffs und gefährliche radioaktive Spaltprodukte aus dem Reaktor austraten. Feuer, Radioaktivität und Strahlung nahmen das Atomkraftwerk ein und konnten mit menschlichen Mitteln nicht unter Kontrolle gekriegt werden. Unter zu hohen Dosiswerten, die fatalerweise erst zu niedrig angegeben worden waren, hatten über 15 Feuerwehren 10 Tage lang mit dem Brand in Tschernobyl zu kämpfen.

Trotz des riesigen Ausmaßes (schätzungsweise sollen 4% des Kernbrennstoffs außerhalb des Reaktors gelangt sein), wurde die Bevölkerung in umgebender Nähe zu spät gewarnt. Radioaktive Wolken konnten sich durch die Wetterlage sehr schnell verbreiteten. Leider wurde die Politik der Nichtinformation weiter fortgeführt und der gesundheitliche Schaden für die Menschen ignoriert bzw. dadurch vergrößert.^{16,17,18}

3.2 Wo ist die Belastung nach dem Reaktorunfall am stärksten?

¹⁶ Koepp, Reinhold / Koepp-Schewyrina, Tatjana; Tschernobyl – Katastrophe und Langzeitfolgen, Stuttgart; Leipzig: Teubner; Zürich: vdf. Hochschulverlag an der ETH, 1996 (Einblicke in die Wissenschaft: Ökologie); S. 67-83

¹⁷ Medicine-Worldwide: <http://www.m-ww.de/enzyklopaedie/strahlenmedizin/tschernobyl.html> ; Tschernobyl; Stand: 17.04.2004

¹⁸ <http://www.reyl.de/tschernobyl/unfall/Unfall.html>; Stand:17.04.2004

3. Folgen für den Menschen nach Tschernobyl

3.2.1 Auswirkungen auf Weißrussland, die Ukraine und Russland

Am deutlichsten betroffen sind die ehemaligen Sowjetstaaten, die sich in unmittelbarer Nähe des Atomkraftwerks befinden. Zunächst wurde die Unglücksstelle, die sogenannte „Sonderzone“ geräumt und in einem Radius von 140 km um Tschernobyl wurde die gesamte Bevölkerung (etwa 135.000 Menschen) umgesiedelt.¹⁹

Das kleine Weißrussland wurde mit Abstand am schlimmsten getroffen; hier landeten ungefähr 70 % der gesamten ausgeströmten Radioaktivität. Insgesamt betrug die Sperrzone, welche unter strikter Kontrolle stand, dort 7000 km². 23 % der Staatsfläche wurden mit mehr als 37.000 Bq/m² Cäsium-137 belastet, zudem kam die Verstrahlung durch Strontium-90. Insgesamt 40 % der landwirtschaftlichen Nutzfläche (2.640 km²) gehörten zum kontaminierten Gebiet und konnten nicht mehr zum Anbau genutzt werden. Allgemein wird angenommen, dass 235 Milliarden US\$ aufzubringen sind, um das Gebiet bis 2015 bereinigt zu haben. Weil diese Summe für ein so ein armes Land unerreichbar scheint, einigte man sich darauf 20 % des Staatsbudgets für Entschädigungszahlungen vom materiellen Schäden, die Behandlung der Krebsopfer und die psychologische Rehabilitation (Zurückführung, Erholung) der Bevölkerung auszugeben. Mittlerweile ist dieser Anteil auf 5-6% gesunken, erschreckend, wenn man bedenkt, dass die Bevölkerung noch Jahrzehnte unter den Folgen der Radioaktivität leiden wird.

Im Vergleich dazu betrug die Sperrzone in der viel größeren Ukraine nur 1000 km² und etwa 5 % des Staatsgebiets (30.000km²) wurden mit Cäsium belastet. Trotzdem sind Zahlen wie die 160.000 umzusiedelnden Menschen unfassbar. Der wirtschaftliche Schaden durch den Atomunfall in der Ukraine wird bis 2015 auf ungefähr 201 Milliarden US\$ geschätzt, die das Land nicht annähernd aufbringen kann. Auch hier lässt sich erkennen, dass die Finanzierung der Reinigung und Behandlung der Opfer mit der Zeit deutlich abnimmt und zwar von 15 % (1992) auf 5 % (2003) des Budgets.

Gerade mal 1,5 % (2000 km²) der Landesfläche der Russischen Föderation wurden von dem Tschernobylunglück so beeinträchtigt, dass sie als Sperrzonen festgelegt wurden. Dort wurden insgesamt über 50.000 Russen evakuiert. Die Folgekosten des Reaktorunglücks lagen bei rund 3,8 Milliarden US\$ und belasteten den russischen Staatshaushalt von 1992 bis 1996.²⁰

3.2.2 Auswirkungen auf Europa

Bis nach West- und Nordeuropa gelangten radioaktive Stoffe von dem Atomunfall in Tschernobyl und führten auch hier zu einer höheren Strahlenbelastung der Menschen.

¹⁹ Koepf, Reinhold / Koepf-Schewyrina, Tatjana; Tschernobyl – Katastrophe und Langzeitfolgen, Stuttgart; Leipzig: Teubner; Zürich: vdf. Hochschulverlag an der ETH, 1996 (Einblicke in die Wissenschaft: Ökologie); S. 85-94

²⁰ Hirsch, Helmut / Becker, Oda; 17 Jahre nach Tschernobyl – vielfältige Probleme, halbherzige Lösungen, unklare Perspektiven; Greenpeace e.V. (Hrsg.); Hannover; 2003; S. 4-7

3. Folgen für den Menschen nach Tschernobyl

Die höchsten Cäsium-Werte ließen sich 1999 in Deutschland bei 30 % der bayrischen Waldflächen nachweisen. Hier ist besonders das Wild betroffen, welches teilweise eine Konzentration von mehr als 600 Bq pro Kilogramm (deutlich über den Grenzwerten für die radioaktive Belastung von Lebensmitteln) aufweist. Das Bundesamt für Strahlenschutz (BfS) fand im Laufe der Zeit hohe Konzentrationen von radioaktiven Ablagerungen im Wild, in Pilzen und auf den Alpengipfeln. Die gesamte finanzielle Belastung durch den Atomunfall in Deutschland beträgt über eine Viertel Milliarde Euro. Bis Anfang 1989 wurden allein 159 Millionen € überwiegend an Erzeuger und Händler von Milch und Gemüse für Entschädigungen gezahlt.

Auch in Großbritannien hat man festgestellt, dass flächenweise sehr hohe Cäsium-Konzentrationen vorliegen. Mit einem erheblichen Rückgang kann aber erst um 2015 gerechnet werden und so muss hier der Verzehr von belasteten Lebensmitteln eingeschränkt werden.

In Norwegen lag der jährliche Schaden 1994 durch Verstrahlung von Lebensmitteln bei 2,3 Millionen €.

Vor dem Verzehr von Elchen, Pilzen und allgemein von Rentierfleisch wird in Schweden gewarnt, da die Grenzwerte des Cäsium-Gehaltes immer noch überschritten werden.

Frankreich hat Gebiete in denen die Cäsium-137-Konzentration bei bis zu 37.000 Bq/m² liegt, wie z.B. auf Korsika. Hier blieben viele der bestrahlten Flächen lange unerkannt und es wurden keine frühzeitigen Maßnahmen ergriffen.²¹

3.2.3 Weltweite Auswirkungen im Überblick

Die folgende Tabelle gibt Auskunft über die genaue Verbreitung in km (Entfernung zu Tschernobyl), die mittleren und maximalen : mittleren Ablagerungswerte der radioaktiven Stoffe (Cäsium und Jod-131) in kBq/m² nach der Reaktorkatastrophe.

²¹ Hirsch, Helmut / Becker, Oda; 17 Jahre nach Tschernobyl – vielfältige Probleme, halbherzige Lösungen, unklare Perspektiven; Greenpeace e.V. (Hrsg.); Hannover; 2003; S. 4-7

3. Folgen für den Menschen nach Tschernobyl

Name des Landes	Entfernung von Tschernobyl	mittlere Ablagerung		max./mittl. Ablag.	
		Gesamt-Cs	Jod-131	Gesamt-Cs	Jod-131
Österreich	1000-1500	23	120	2,6	5,8
Norwegen	1500-2500	11	77	9	-
Finnland	1000-2000	9	51	3,3	3,7
Schweden	1000-2000	8,2	41	23	22
Schweiz	1500-2000	8	37	5,1	4,9
Italien	1500-2500	6,5	32	15	16
BRD	1000-1500	6	16	11	10
Griechenland	1000-2000	5,3	23	5,3	2,6
Irland	1500-3000	5	7	4,4	2,3
Luxemburg	1500	4	19	1,8	2,1
Niederlande	1500-2000	2,7	21	3,3	1,2
Frankreich	1500-2500	1,9	7	4	-
Dänemark	1000-1500	1,7	1,7	2,7	2,5
England	2000-2500	1,4	4	14	8
Belgien	2000	1,3	3,9	2,3	2,6
Japan	9000	0,13	1,2	3,2	3,2
Türkei	1000-2000	0,08	0,88	11	9,1
Spanien	2500-3500	0,004	0,01	10	9
Portugal	3000-3500	0,003	0,005	4	2,6

(Abbildung 6)

Weil sich die Tabelle hauptsächlich auf die Entfernung und die Konzentrationen von den radioaktiven Stoffen bezieht, sind folgende Daten über die insgesamt abgelagerte Radioaktivität (in TBq) noch sehr interessant: Polen 9200, Rumänien 6700, Jugoslawien 6100, Schweden 3400, Bulgarien 2700 und Finnland 1900.²²

In der Tabelle sind die hohen Werte von Österreich und die, im Vergleich zur Entfernung, hohen Werte von Japan sehr auffällig. Ebenfalls auch Luxemburg, welches auch aufgrund seiner kleinen Staatsfläche relativ große Konzentrationen nachweist. Hingegen erscheinen die Werte von Dänemark trotz der nahen Lage und die Frankreichs im Vergleich zu Italien erstaunlich klein. 1986 lagen noch keine Daten der ehemaligen Sowjetunion vor, da die sowjetische Informationspolitik nicht daran interessiert war genauere Angaben an die Presse zu geben.

3.3 Welche Belastung trägt der Mensch durch radioaktive Strahlen?

3.3.1 Welche Personengruppen wurden bestrahlt?

Unter den betroffenen Personen kristallisieren sich 4 verschiedene Gruppen heraus: die Arbeiter im Kernkraftwerk, die Aufräumarbeiter, Bewohner der Länder im Umfeld und Menschen aus Teilen Europas.

²² Koepp, Reinhold / Koepp-Schewyrina, Tatjana; Tschernobyl – Katastrophe und Langzeitfolgen, Stuttgart; Leipzig: Teubner; Zürich: vdf. Hochschulverlag an der ETH, 1996 (Einblicke in die Wissenschaft: Ökologie); S. 94

3. Folgen für den Menschen nach Tschernobyl

Laut russischen Angaben sollen 237 der Arbeiter im Kraftwerk effektive Dosen von bis zu 16 Sv erhalten haben. Von 21 Betroffenen, die eine Strahlung von 6-16 Sv abbekamen, starben in den ersten 3 Monaten nach der Katastrophe 20 Menschen. Unter den 21 Personen mit einer geschätzten Dosis von 4-6 Sv gab es 7 Tote. Eine der 55 Betroffenen, auf welche eine Strahlung von 2-4 Sv wirkte, starb kurz darauf. 140 Menschen waren weniger als 2 Sv effektiver Strahlendosis ausgesetzt, doch niemand unter ihnen verstarb innerhalb der nächsten 3 Monate. Insgesamt sind es also 28 Opfer, wobei 3 weitere allerdings nicht durch Einwirkung von Strahlung ihren Schmerzen erlagen.²³

Die Aufräumarbeiter, genannt „Liquidatoren“, wurden Strahlungen von 0,1-0,5 Sv ausgesetzt. Insgesamt sollen etwa 860.000 Personen mit Räumungs- und Dekontaminierungsarbeiten beschäftigt gewesen sein. Unter ihnen soll sich ein Großteil selbst umgebracht haben; Ende 1999 waren mehr als 50.000 von ihnen in Folge von Strahlenschäden oder Suizid gestorben. Besonders auffällig bei dieser betroffenen Gruppe ist die erhöhte Anfälligkeit von Krankheiten verschieden gefährlicher Arten. Leider besagen neuere Untersuchungen, dass auch Kinder von Liquidatoren extrem häufig an Mutationen leiden.²⁴

Weil die Belastung der Bewohner Pripjats, eine Kleinstadt 4 km westlich des Unglücksorts, am nächsten Tag dort zu stark war (ungefähr 6 mSv pro Stunde), mussten ca. 45.000 Betroffene evakuiert werden. Selbst die Menschen, die heute in den stärker belasteten Gebieten der Ukraine, Weißrusslands und Russlands leben, sind noch immer Strahlendosen von 6-11 mSv pro Jahr ausgesetzt. Diese Werte umfassen das 3 bis 5-fache der natürlichen Strahlenbelastung von jährlich ca. 2,4 mSv. In dem Sperrgebiet 30 km um den Reaktor herum lassen sich Flächenweise Strahlungsdosen von 2-5 mSv pro Stunde nachweisen und auch in den weniger kontaminierten Gebieten betragen diese immerhin noch 200-400 µSv. Die hier verstärkt frei vorhandenen radioaktiven Stoffe setzen sich deutlich auffälliger in den Schilddrüsen der Betroffenen ab. Dies ist die Ursache für die steigenden dokumentierten Schilddrüsenkrebsfälle nach dem Atomunglück.

Zu den, in Europa betroffenen, Menschen habe ich leider keine geeigneten Studien gefunden.

3.3.2 Die externe Strahlenbelastung

Einen Anteil der Strahlenbelastung des Menschen nennt man externe Strahlenbelastung bzw. Strahlenexposition, weil sie den menschlichen Körper von außen trifft. Die Gammastrahlung ist wegen ihrer hohen Durchdringungsfähigkeit hierbei von großer Bedeutung, da ihre Strahlen nicht gut durch das Gewebe abgeschirmt werden können.²⁵

²³ Medicine-Worldwide: <http://www.m-wv.de/enzyklopaedie/strahlenmedizin/tschernobyl.html> ; Dosisverteilung der unmittelbar Betroffenen, Gesamte effektive Dosis in den Jahren 1986 bis 1995; Stand: 09.04.2004

²⁴ Hirsch, Helmut / Becker, Oda; 17 Jahre nach Tschernobyl – vielfältige Probleme, halbherzige Lösungen, unklare Perspektiven; Greenpeace e.V. (Hrsg.); Hannover; 2003; S. 11

²⁵ http://www.bayern.de/lfu/umwberat/data/strahl/radioakt_1996.htm; 5. Biologische Wirkung der Strahlung; Stand: 08.04.2004

3. Folgen für den Menschen nach Tschernobyl

Diese ist sowohl von künstlichen als auch von natürlichen Faktoren abhängig. Sie setzt sich aus der künstlichen Belastung durch den Reaktorunfall in Tschernobyl, durch Atombomben-Fallout, durch Kerntechnische Anlagen, durch die allgemeine Forschung, Technik, Haushalt und vor allem aber durch die radioaktive Belastung in der Medizin zusammen.²⁶

Ich denke, dass die Belastung durch den Atomunfall in Tschernobyl nach den Kapiteln 3.1, 3.2 und 3.3.1 deutlich geworden ist. Der effektive Wert liegt zurzeit in Deutschland bei 0,02 mSv (BfS).

Mit der Entwicklung der Atombomben kamen Atombombentests auf; bei den Explosionen gelangen die radioaktiven Teilchen in die Stratosphäre (über 12.000 m Höhe). Hier können sie sich bis zu fünf Jahre aufhalten, ohne zu zerfallen. Fall-out nennt man die Stoffe, die von dort wieder abhängig von meteorologischen Umständen auf die Erdoberfläche zurückkommen. Studien besagen, dass dies meistens um den 30. und 50. Breitengrad geschieht. Dies macht 0,01 mSv (BfS) der mittleren Strahlenexposition aus.

Auch bei Atomkraftwerken ist bewiesen, dass sie nach und nach einen Überdruck radioaktiver Gase an die Umwelt abgeben. Frühere Messungen in der Umgebung von AKWs ergaben, dass die äußere Strahlenbelastung nicht bei dem damaligen Maximalwert lag, sondern deutlich darüber, Anreicherungen von künstlichen Radionukliden sind in Wasserpflanzen im Neckar entdeckt worden, erhöhte Radioaktivität wurde in Karlsruher Niederschlagsproben nachgewiesen, zudem kam es zu häufigen Zwischenfällen, bei denen die Grenzwerte bis zu 100.000fach überschritten wurden. In Wiederaufbereitungsanlagen sollen durch den Arbeitsprozess radioaktive Edelgase entweichen, was zu einer ortsverstärkten Belastung führt. Eine Strahlenbelastung von 0,01 mSv (BfS) bewirken AKWs.

Um die verschiedenen Dosen von Strahlungen richtig einschätzen zu können, müssen auf diesem Gebiet Forschungen angestellt werden. Aber auch aus Kernforschungsanlagen treten radioaktive Teilchen aus und gelangen so in die Umwelt. Zu einer noch höheren Belastung kann es kommen, wenn, wie in Karlsruhe geschehen, das Lager für radioaktiven Müll nicht rechtzeitig geleert wird.

Im Bereich sämtlicher Technologie wird die Bestrahlung von z.B. Lebensmitteln verwendet, um sie vor dem Verderben zu schützen und sie so länger haltbar zu machen.

Es reicht selbst bis in unsere Haushalte; hier wärmen manche Leute ihre Mahlzeiten mit Mikrowellen auf.²⁷ Insgesamt beträgt die Strahlenbelastung von diesen drei Faktoren 0,01 mSv (BfS).

²⁶ <http://www.umweltlexikon-online.de/fp/archiv/RUBradioaktivitaet/Strahlenbelastung.php>; Tabelle; Bundesamt für Strahlenschutz; eigene Zusammenstellung, Stand: Januar 2001

²⁷ Diel, Friedhelm / Meier-Ploeger, Angelika; Reaktorkatastrophe in Tschernobyl und die Folgen – Auswirkungen in Landwirtschaft und Ernährung; Kaiserslautern: Stiftung Ökologischer Landbau, 1987 (ifoam – Sonderausgabe Nr. 21); S. 16-19

3. Folgen für den Menschen nach Tschernobyl

In der Medizin macht man sich Röntgen-, δ - und β -Strahlen zu Nutzen gemacht, wenn es um die Krebstherapie geht. Es ist sehr wichtig, dass man nicht zu oft oder gar zu lange bestrahlt wird, sonst wandelt sich der Vorteil bei manchen Erkrankungen schnell zum Nachteil.²⁸ Bis zu 2 mSv (BfS) trägt die Medizin zur Strahlenexposition des Menschen bei.

Als natürliche Faktoren zählen die kosmische und die terrestrische Strahlung.

Die kosmische Strahlung besteht aus energiereichen Teilchen und Röntgenstrahlen, die aus der Sonne und den Tiefen des Weltalls (Luft) zu uns kommen. Im Jahr macht sie im Durchschnitt in Deutschland etwa 0,3 mSv (BfS) aus, allerdings ist sie stark von der Höhe des Ortes anhängig. So kommt es, dass die Alpen wesentlich stärker belastet sind. Beispielsweise beträgt die Strahlenbelastung bei einem Flug in 7.000 bis 12.000 m Höhe (Überseeflüge), etwa 0,03 mSv. Menschen, die viel fliegen sind also höheren Strahlenbelastungen ausgesetzt.

Bei der terrestrischen Strahlung handelt es sich um eine Strahlung aus dem Boden, sie stammt von seinen natürlichen radioaktiven Radionukliden und der Gesteine. Wichtige Stoffe ihrer Art sind Kalium, Uran und Thorium, sowie ihre Zerfallsprodukte kommen noch dazu. Im Jahr liegt die Strahlenexposition durch terrestrische Strahlung in Deutschland ungefähr bei 0,4 mSv (BfS).²⁹

3.3.3 Die interne Strahlenbelastung

Einen weiteren, sehr großen Anteil an der Strahlenbelastung des Menschen trägt die interne Strahlenexposition. Sie setzt sich zum einen aus der natürlichen Radioaktivität im Inneren und zum anderen aus den radioaktiven Stoffen, die durch Atmung und Einnahme in den menschlichen Körper gelangen, zusammen. Die Belastung durch externe Strahlungen bildet eine innere Radioaktivität. Die im Körper befindlichen radioaktiven Isotope sind vor allem Kalium-40 und Kohlenstoff-14. Sie zerfallen und bewirken weiter eine innere Bestrahlung von anfälligen Organen wie zum Beispiel der Lunge oder der Schilddrüsen.

²⁸ Koepf, Reinhold / Koepf-Schewyrina, Tatjana; Tschernobyl – Katastrophe und Langzeitfolgen, Stuttgart; Leipzig: Teubner; Zürich: vdf. Hochschulverlag an der ETH, 1996 (Einblicke in die Wissenschaft: Ökologie); S. 24/25

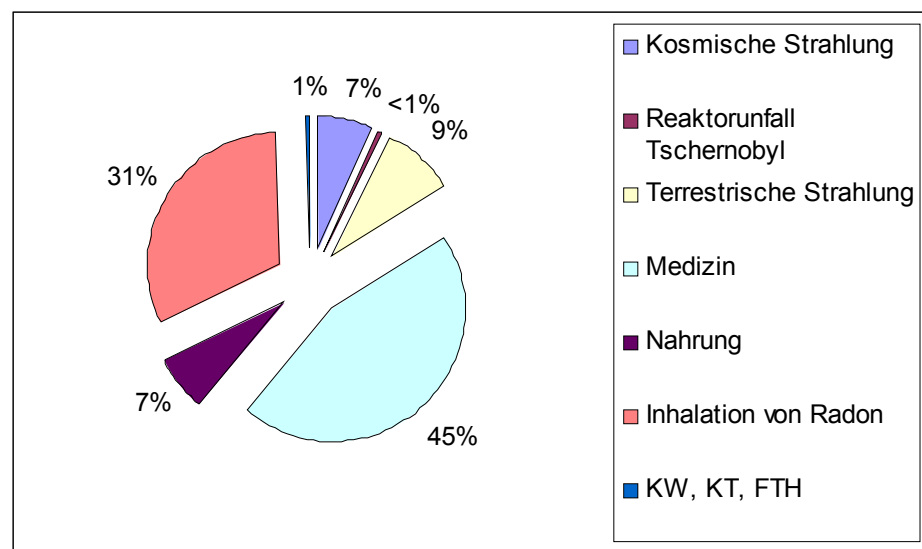
²⁹ <http://www.noezsv.at/wissenhilft/radioaktivitaet/belastungspfade.htm>; Kosmische Strahlung, Terrestrische Strahlung; Stand: 17.04.2004

3. Folgen für den Menschen nach Tschernobyl

Die Inhalation macht fast ein Drittel der Strahlenbelastung der Bevölkerung aus (1,4 mSv laut BfS). Das Edelgas Radon und seine Zerfallprodukte, welche sich in der Luft in verschiedenen hohen Konzentrationen befinden werden, werden vom Menschen eingeatmet und können so in den Körper eindringen. Das Radon selbst bleibt nicht lange im Körper, wobei die Lunge allerdings durch seine Spaltprodukte erheblich angegriffen wird.

Die Ingestion von radioaktiven Stoffen (0,3 mSv) geschieht im kleineren Ausmaß durch den Verzehr von Wasser. Natürliche Radionuklide, welche mit dem Grundwasser direkt in Verbindung stehen, können sich dort lösen. In Mineralwassern befinden sich beispielsweise Radium-226-Konzentrationen von etwa 26,25 mBq pro Liter. Ein großes Problem stellte auch die Lebensmittelversorgung infolge des Tschernobylunglücks dar, weil sich radioaktive Teilchen natürlich auch auf Feldern und Wäldern, sowie bei Tieren ablagerten. Obst, Gemüse, Eier, Fleisch und Milchprodukte sogar Kräuter mussten aus unverseuchten Ländern importiert werden. Mit der Atomkatastrophe wurde die Menschheit mit Radioaktivität konfrontiert und geriet so direkt in unsere Nahrungskette. Sie stellt eine Belastung somit dar, die kaum zu vermeiden ist. Der Verzehr von Waldfrüchten und wilden Tieren, sowie von Fischen und Pilzen aus radioaktiv verseuchten Gebieten ist heute noch gesundheitsschädlich.

Die mittlere effektive Strahlenbelastung des Menschen setzt sich prozentual wie folgt zusammen (BfS):



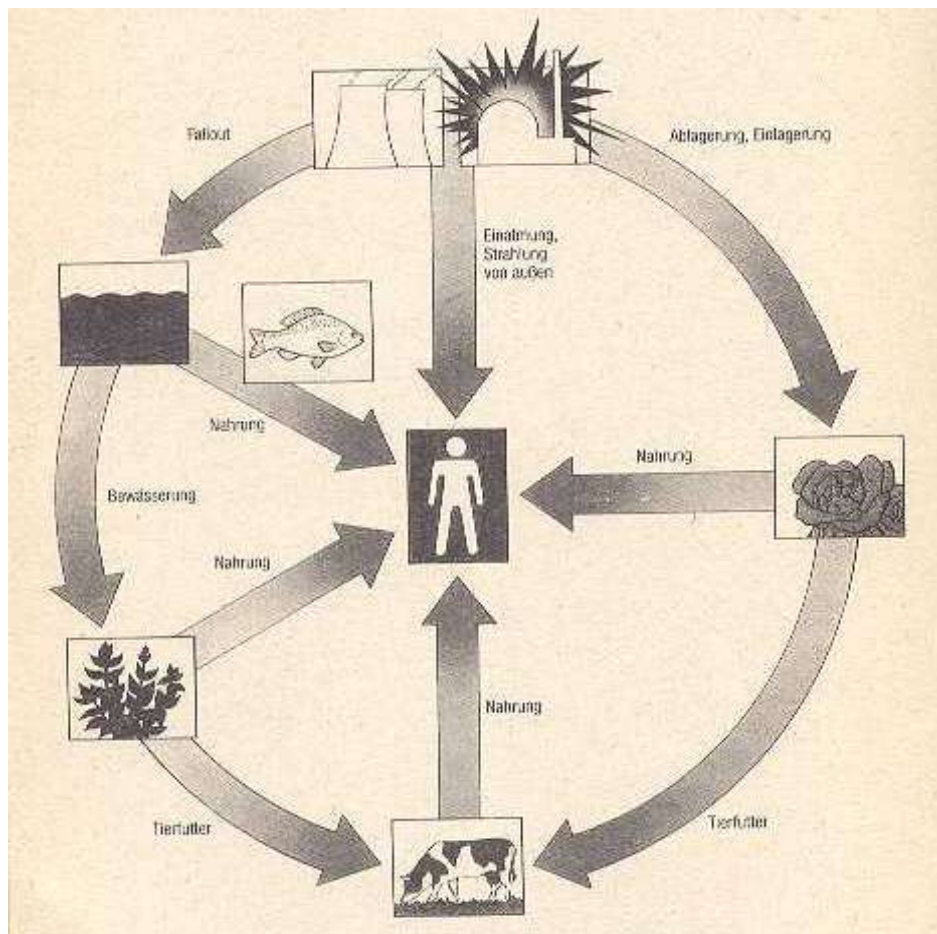
KW: Kernwaffen KT: Kerntechnik FTH: Forschung, Technik, Haushalt (Abbildung 7)

Radioaktive Inhaltsstoffe verbreiten sich schnell durch die Nahrungskette. Weil gesunde Kühe mit Heu aus kontaminierten Gegenden gefüttert worden sind, wurden beispielsweise die Grenzwerte der Milch überschritten. Die Aufnahme von radioaktiv verseuchten Lebensmitteln (auch indirekt durch belastetes Futtermittel der Tiere) ist deshalb so gefährlich, weil die radioaktiven Stoffe direkt in den Körper gelangen und sich dort verbreiten können. Stoffe, wie Cäsium-137 und Strontium-90 können sich nun ungestört im Knochengewebe einlagern und auf blutbildendes Gewebe (Knochenmark) einwirken. Durch diese Art von Inkorporation können schwerwiegende Krankheiten hervorgerufen werden.³⁰

³⁰ Koepp, Reinhold / Koepp-Schewyrina, Tatjana; Tschernobyl – Katastrophe und Langzeitfolgen, Stuttgart; Leipzig: Teubner; Zürich: vdf. Hochschulverlag an der ETH, 1996 (Einblicke in die Wissenschaft: Ökologie); S. 95-108

3. Folgen für den Menschen nach Tschernobyl

Folgende schematische Darstellung des Nahrungskreislaufs zeigt den Einfluss der Emissionen und Immissionen von radioaktiven Stoffen auf den Menschen im Zentrum dieses Kreislaufs.



(Abbildung 8)

Somit wird deutlich, dass wir ständig einer gewissen Strahlung ausgesetzt sind, der wir uns nur schwer entziehen können.

Zwar ist medizinischer und wirtschaftlicher Fortschritt auf den ersten Blick eine positive Errungenschaft, der jedoch eine höhere radioaktive Belastung in Kauf nimmt.

3.4 Einflussnahme der Strahlung auf den menschlichen Körper

3.4.1 Die biologische Strahlenwirkung

Sobald ionisierende Strahlen mit dem menschlichen Körper in Kontakt geraten, kommt es in einzelnen Zellen zu bestimmten Effekten. Denn trotz unserer natürlichen Schutzmechanismen können die, durch die Strahlung erzeugten Anregungen und Ionisationen die Atomhüllen verändern. Jedoch können beide Effekte gestoppt werden, indem ein Elektron aufgenommen wird (Rekombination) und das „verschobene“ Elektron wieder seinen vorherigen Platz einnimmt.

An dieser Stelle können zwar veränderte Reaktionen mit den Bruchstücken ablaufen und toxische Verbindungen entstehen, doch ist hier eine Rekonstruktion der bestrahlten Zellen durch

3. Folgen für den Menschen nach Tschernobyl

Reparaturmechanismen wie das Absterben der Zelle oder das natürliche Abwehrsystem noch möglich, sodass keine gesundheitlichen Schäden verbleiben. Für die „Leistungsfähigkeit“ der Reparatursysteme spielt sowohl die Dosisleistung (zeitlich) als auch die räumliche Verteilung der Zellschädigungen eine essentielle Rolle. Werden mit Hilfe dieser Sprengungen die Molekülverbindungen allerdings geschädigt (instabil), so bricht das Molekül in sich zusammen.

Sobald das Immunsystem, abhängig von der jeweiligen Dosis, überfordert ist und versagt, können Folgeschäden der Erbsubstanz hervorgerufen werden. Dies ist die strahlenbiologische Reaktionskette, die gefährliche Strahlenschäden ermöglicht. Es gibt zwei verschiedene Gruppen von Strahlungseffekten bei Strahleneinwirkung auf Lebewesen; zum einen die deterministischen Wirkungen (somatische Strahlenschäden), wozu sowohl akute Schäden als auch Spätschäden gehören, die als „heilbar“ definiert sind. Ein Großteil der Stammzellen wird hierbei abgetötet, sodass die Strahlung eine Funktionsstörung der betroffenen Gewebe und Organe bewirken kann. Die so verursachten Schäden treten aufgrund der ständig erneuerbaren Zellen erst auf, wenn ein bestimmtes Maß (Schwellenwert) an geschädigten Zellen überschritten wird. Je höher die Strahlendosis, desto schlimmer die Schäden.

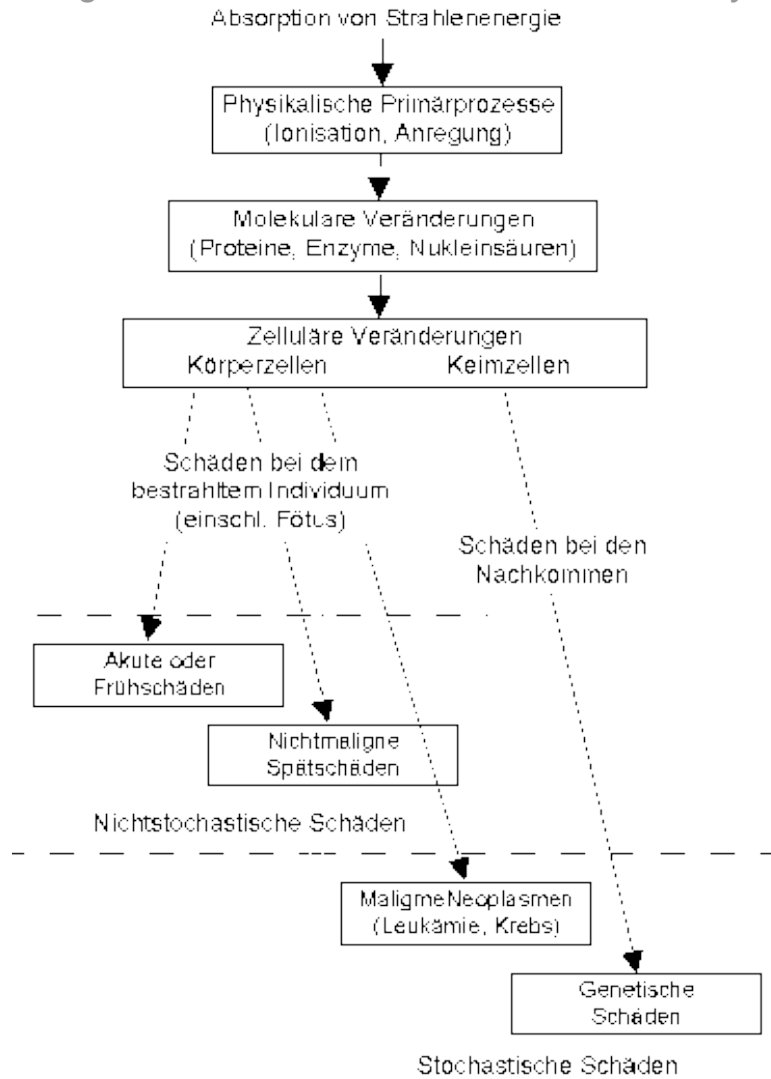
Zum anderen können auch stochastische Wirkungen (genetische Strahleneffekte) auftreten. Hierbei handelt es sich um Erbkrankheiten wie Krebs und Leukämie, die sich folglich auch erst bei dem Nachkommen der bestrahlten Personen äußern. Bei diesem Mechanismus sind die Veränderungen der Zellen an der DNS ausschlaggebend. Dies passiert, indem durch die radioaktive Strahlung Mutationen in den Keimdrüsen ausgelöst werden, die sich meist negativ auf den menschlichen Körper auswirken, ohne sie heilen zu können. Viele dieser Erbschäden machen sich nicht sofort als Schäden bemerkbar, allerdings wird die natürliche Mutationsrate durch eine radioaktive Strahlung verdoppelt. Hierbei verwendet man den Begriff „Zufallsbedingte Wirkung“, denn je höher die Strahlendosis ist, desto wahrscheinlicher ist das Auftreten eines Schadens.^{31,32}

Das folgende Schema zeigt noch einmal sehr deutlich die Zusammenhänge der verschiedenen Strahlenwirkungen, zudem kann man schlimmere Krankheiten von etwas unproblematischeren durch die angegebenen Ebenen gut differenzieren. Sowohl der Prozess der Schädigung als auch die Art der Auswirkung bei den unterschiedlichen Betroffenen lässt sich anhand dieser Skizze gut erkennen. Insgesamt bietet das Schaubild einen kurzen Überblick über die Folgen von radioaktiver Strahlenbelastung, wobei die konkreten Krankheiten (in 3.4.2 und 3.4.3 ausführlicher) nur angeschnitten werden.

³¹ http://www.bayern.de/lfu/umwberat/data/strahl/radioakt_1996.htm; 5.1 Wirkmechanismen; Stand: 08.04.2004

³² www.gymun.de/daten/atom/zivil_strahlen.doc; Auswirkungen von Strahlen auf den menschlichen Körper; Stand: 14.04.2004

3. Folgen für den Menschen nach Tschernobyl



3.4.2 Akute Schäden infolge von verschiedenen Strahlendosen

Unter akuten Schäden versteht man Effekte, die unmittelbar oder innerhalb der nächsten drei Wochen nach der Strahlenexposition auftreten. Bislang konnten diese bei Strahlendosiswerten von ungefähr 800-1000 mSv beobachtet werden. Das heißt, bei dem Tschernobylunglück konnten keine akuten Strahlenschäden bei Personen nachgewiesen werden, die sich außerhalb des Reaktors befanden. Die ersten Todesfälle wurden schon bei 1.000 mSv dokumentiert.

Unter den Liquidatoren gab es jedoch einige, die Strahlungen von bis zu einigen 1.000 mSv ausgesetzt waren. Bei 134 der Betroffenen traten Akutschäden auf, sie litten an einer Immunschwäche, genannt ARS (Acute Radiation Syndrom, Strahlenkrankheit). Dieses

3. Folgen für den Menschen nach Tschernobyl

„Tschernobyl-AIDS“ kostete genau 28 Menschen in Tschernobyl das Leben. Der Rest der Betroffenen hatte eine Strahlenbelastung von unter 3.000 mSv und überlebte die Krankheit.

Allgemein wird gesagt, dass bei Strahlendosen von 0 bis 0,5 Sv noch keine unmittelbar nachteiligen Wirkungen zu erwarten sind bzw. nicht feststellbar sind. Allerdings darf nicht davon ausgegangen werden, dass diese Bestrahlung das Immunsystem nicht beeinträchtigt.

Bei 0,5 bis 1 Sv sieht die Strahlenwirkung schon folgendermaßen aus: Veränderungen des Blutbilds, Hautrötungen, vereinzelt Übelkeit und Erbrechen. Zu Todesfällen kommt es bei dieser Strahlendosis nur ganz selten; auszuschließen ist es hier aber nicht.

Zu schlechtem Allgemeinbefinden sowie Übelkeit, Erbrechen und einer starken Belastung des Knochenmarks kommt es bei bis zu 2 Sv. Diese Werte tragen zudem eine Sterblichkeitsrate von 20 % mit sich.

Ab einer Strahlenbelastung von 4 Sv kann es zu schweren Einschränkungen des Befindens kommen sowie zu schlechter Blutbildung. Zusätzlich steigt die Sterblichkeitsrate auf 50 %.

Der Magen- und Darmbereich wird bei etwa 6 Sv schon relativ stark angegriffen (gastrointestinale Symptome), was eine Senkung der Überlebensrate mit sich zieht. So kommt es, dass die Wahrscheinlichkeit zu sterben bei 7 Sv Strahlendosis nahezu 100 % beträgt.

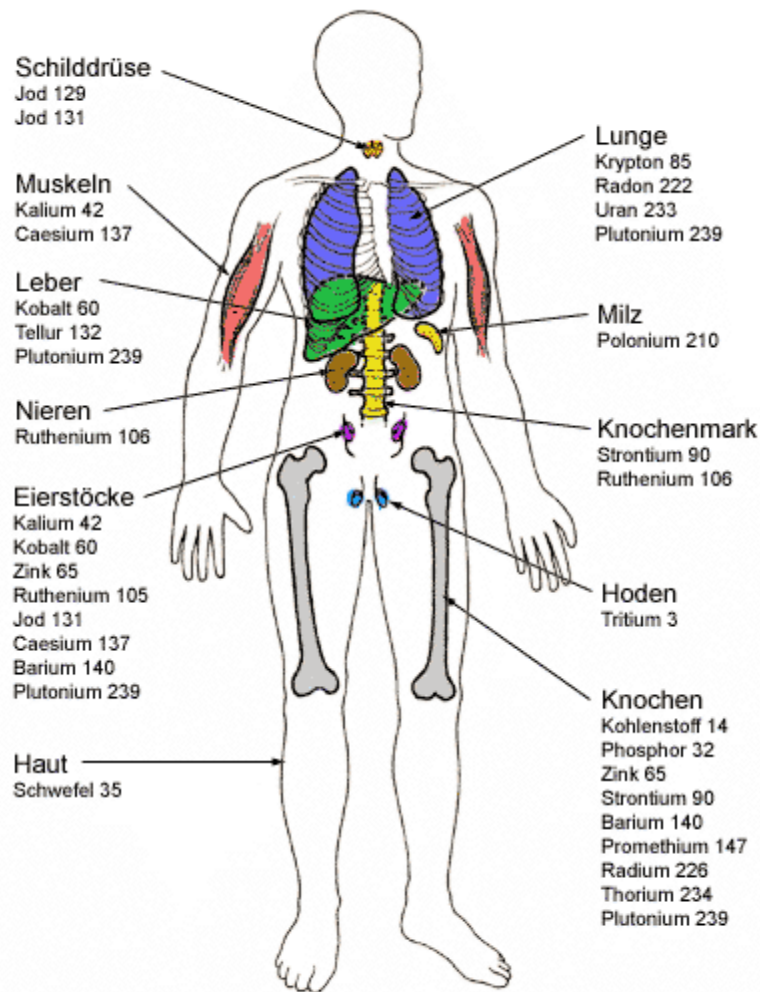
Über 10 Sv effektive Strahlendosis verursachen beim Menschen Schädigungen des zentralen Nervensystems bis hin zu Lähmungen.

Der so genannte „Sekudentod“ wird durch den Ausfall des kompletten zentralen Nervensystems bei über 100 Sv hervorgerufen.³³

Bei einer hohen Belastung innerhalb kürzerer Zeit lagern sich im Körper an manchen Stellen vermehrt bestimmte Radionuklide, die dann im Nachhinein zu den Spätschäden (3.4.3) führen. Das folgende Schema gibt Auskunft darüber, wo sich welche Elemente anlagern. Aufgrund dieser Informationen können die, infolge von radioaktiver Bestrahlung, auftretenden Krankheiten erklärt werden.

³³ <http://www.m-ww.de/enzyklopaedie/strahlenmedizin/tschernobyl.html>; Tabelle zur Strahlenwirkung; Stand: 08.04.2004

3. Folgen für den Menschen nach Tschernobyl



(Abbildung 10)

Als besonders strahlenempfindlich gelten die Zellen des Embryos im Mutterleib, die lymphatischen Organe (Lymphdrüsen), das Knochenmark, der Darmtrakt, die Schilddrüse, die weibliche Brust sowie die Eizellen. Berichte über die Häufigkeit von schweren Krankheiten infolge von radioaktiver Bestrahlung besagen, dass die angestiegenen Schilddrüsenkrebsraten und die Leukämieraten dominieren. Relevant für eine schädigende Wirkung sind hier vor allem radioaktive Elemente wie Jod-131, Cäsium-137, Strontium-90 und Plutonium-239. Sie befinden sich in der Luft und können somit eingeatmet werden, durch Regen in den Erdboden oder über Pflanzen in den Nahrungskreislauf gelangen. Die Anreicherung dieser Elemente kann eine Veränderung der DNS als Folge haben, wodurch wiederum gefährliche Krankheiten hervorgerufen werden.³⁴

3.4.3 Späte Schäden infolge von verschiedenen Strahlendosen

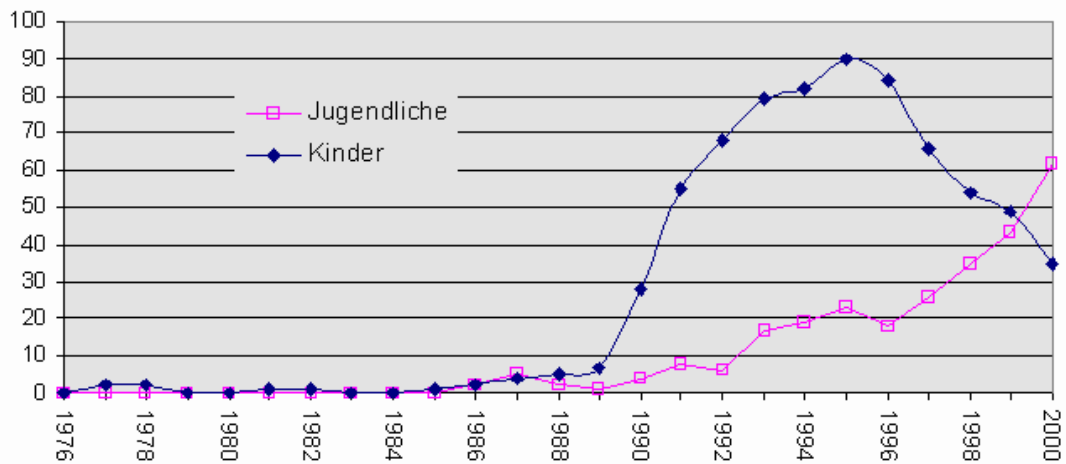
In der Schilddrüse lagert sich hauptsächlich das radioaktive Jod ab, welches die Energiesteuerung sowie die körperliche und geistige Reifung dort beeinträchtigen kann. Wenn dies geschieht, kann es zu Schilddrüsenkrebs führen. Weil in Weißrussland, Südwestrussland

³⁴ <http://www.chernobyl.info/de/Facts/HealthAcute/ImpactOfRadiation>; Stand: 19.04.2004

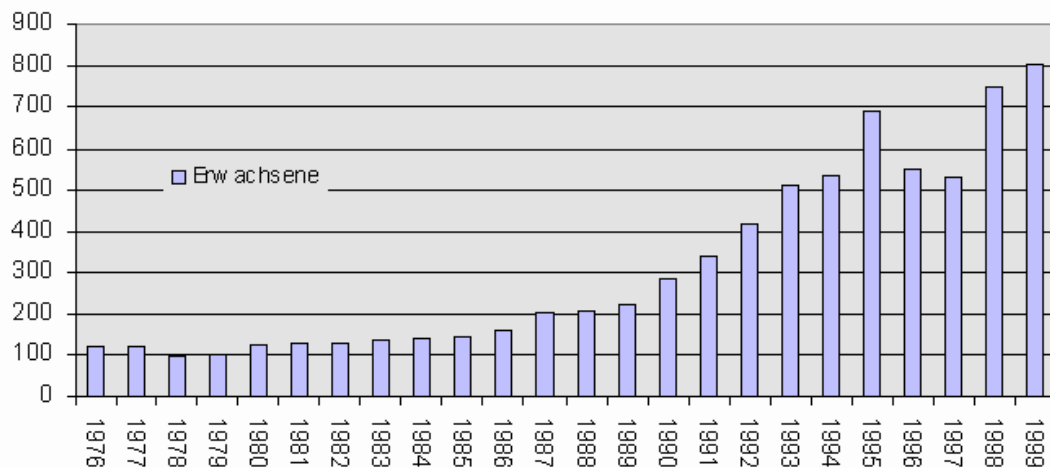
3. Folgen für den Menschen nach Tschernobyl

und in der Ukraine eher immer ein Jodmangel bestand, begünstigte dies die Schädigung noch zusätzlich.³⁵

Laut Forschungsberichten erkrankten in den betroffenen Gegenden bis zum Jahr 2000 ungefähr 1.800 Kinder an Schilddrüsenkrebs und bis Ende 2001 ist die Zahl UNO-Berichten zufolge auf 2.000 angestiegen.³⁶ Ende 1990 war in Weißrussland die Anzahl der, an Schilddrüsenkrebs erkrankten Kindern gegenüber dem 10-Jahres-Mittelwert vor 1986 um das mehr als das 30-fache erhöht und im Jahr 1995 war der Höchststand an Neuerkrankungen an Schilddrüsenkrebs bei Kindern zwischen 0 und 14 Jahren erreicht. Die folgenden Diagramme geben genaue Auskünfte über das Ausmaß an Schilddrüsenkranken in Weißrussland sowohl bei Kindern (Abb. oben) als auch bei Erwachsenen (Abb. unten) vor und nach der Atomkatastrophe in Tschernobyl.



(Abbildung 11, 12)



Wie man in dem oberen Diagramm auf Seite 24 erkennen kann, sinken die Schilddrüsenkrebsfälle nach 1995, doch bedeutet dies leider hauptsächlich nur, dass die betroffenen Menschen älter geworden sind und jetzt unter die Statistik der Jugendlichen fallen, welche aus diesem Grund seit dem auch wieder steigen.³⁷

³⁵ <http://www.chernobyl.info/de/Facts/HealthLongterm/ThyroidCancerChildrenAdolescents>; Stand: 19.04.2004

³⁶ Medicine-Worldwide: <http://www.m-ww.de/enzyklopaedie/strahlenmedizin/tschernobyl.html> ; Dosisverteilung der unmittelbar Betroffenen, Gesamte effektive Dosis in den Jahren 1986 bis 1995; Stand: 09.04.2004

³⁷ <http://www.oneworldweb.de/castor/technik/radioaktivitaet/ottohug2001.html>; S. 1-3; Stand: 14.04.2004

3. Folgen für den Menschen nach Tschernobyl

Aufgrund der aggressiven Karzinome (bösartigen Krebsgeschwülsten), kommt es in der Gegend um Tschernobyl nicht nur sehr schnell zu Metastasen in der Schilddrüse, sondern auch in anderen Organen. So werden beispielsweise zusätzlich die Lymphknoten angegriffen und Bekämpfung des Krebses wird immer schwieriger. Oft müssen die betroffenen Kinder lebenslang Medikamente einnehmen und regelmäßig untersucht werden bis sie schließlich auf Spezialkliniken angewiesen sind.³⁸

Das radioaktive Strontium lagert sich vor allem in Zähnen, Knochen und im Knochenmark ab. Durch die Ablagerung von Radionukliden im Knochenmark wird die Produktion der weißen Blutkörperchen (Leukozyten) beeinflusst. Die gesunden Stammzellen werden verdrängt und die bösartigen Zellen gelangen in das lymphatische Gewebe.³⁹ Die Immunabwehr wird erheblich geschwächt und so führt letztendlich die Überproduktion von unreifen Leukozyten zu einer Krebserkrankung des Blutes: der Leukämie. Die Rate der Leukämieerkrankungen ist mit dem Tschernobylunglück drastisch gestiegen, besonders unter den Liquidatoren. In manchen Gebieten (Gomel) liegt der Anstieg der Leukämiefälle bei bis zu 50 % sowohl bei Kindern als auch bei Erwachsenen. Allerdings ist dies von einigen sehr umstritten, da auf diesem Gebiet noch Forschungsbedarf besteht.⁴⁰

Schilddrüsenkrebs und Leukämie sind wohl die bekanntesten Langzeitfolgen, die nach dem Reaktorunfall in Tschernobyl auftraten und –treten. Doch auch konkrete Erkenntnisse über die Lebenserwartung von Männern aus Weißrussland und der Ukraine ist erschreckend. Diese liegt bei 10 Jahren unter der in Sri Lanka, welches zu den 20 ärmsten Ländern der Welt gehört. Verantwortlich für diesen schlechten Zustand sind die deutliche Schwächung des Immunsystems („Tschernobyl-AIDS“), die malignen Spätfolgen (Krebserkrankungen) und Erkrankungen des Herz-Kreislauf-Systems, des Speiseröhren-Magen-Darm-Traktes, des Nervensystems sowie psychische Folgen, Missbildungen bei Neugeborenen und genetisch bedingte Erkrankungen bei Kindern. Nicht nur aufgrund der direkten und indirekten Folgen der Tschernobylkatastrophe, sondern auch durch soziale Veränderungen innerhalb der Länder gehen eine ansteigende Sterberate und eine abnehmende Geburtenrate hervor.⁴¹

³⁸ <http://www.chernobyl.info/de/Facts/HealthAcute/ImpactOfRadiation>; Stand: 19.04.2004

³⁹ Microsoft Encarta Enzyklopädie PLUS 2001; Stichwort „Leukämie“; 1.Einleitung

⁴⁰ <http://www.chernobyl.info/de/Facts/HealthLongterm/LeukaemiaChildrenAdults>; Stand: 19.04.2004

⁴¹ Koepp, Reinhold / Koepp-Schewyrina, Tatjana; Tschernobyl – Katastrophe und Langzeitfolgen, Stuttgart; Leipzig: Teubner; Zürich: vdf. Hochschulverlag an der ETH, 1996 (Einblicke in die Wissenschaft: Ökologie); S. 122 f

3. Folgen für den Menschen nach Tschernobyl

Wie in meiner Arbeit deutlich geworden sein sollte, brachte die Entdeckung der Radioaktivität neben dem immensen Fortschritt auch eine starke Bedrohung mit sich.

Zunächst einmal erlangte man riesige Vorteile durch die Röntgenstrahlen im Bereich der Medizin, die selbst heute noch von wichtiger Bedeutung sind. Doch mit dem Wissen, radioaktive Strahlung auch als Energiequelle nutzen zu können, machte man sich die ihre Wirkung zum Feind. Atomwaffen wurden mit dem 2. Weltkrieg als Übermacht im Krieg auf Kosten von Menschenleben verwendet. Durch die schnelle Überzeugung, dass Atomkraftreaktoren mit Abstand die billigste Möglichkeit seien, um die Menschheit mit Strom zu versorgen, nahm diese Art von Energiequelle immer mehr Einfluss auf unseren Lebensraum. Man versuchte sich die faszinierende Eigenschaft der radioaktiven Stoffe immer weiter zum Vorteil zu erlangen und trat dabei meines Erachtens deutlich über die moralisch vertretbaren Grenzen.

Wenn nur annähernd über die Tschernobylkatastrophe informiert ist, weiß man, dass diese Nutzung von radioaktiven Stoffen keineswegs sicher ist. Das Leben von tausenden von Menschen wurde auf übelste Art und Weise durch dieses Reaktorunglück beeinflusst. Vor allem die Krebsraten stiegen deutlich und selbst heute ist man noch nicht vor den Auswirkungen in Sicherheit. Die ganzen Umstände, die zu dem Tschernobylunglück damals beigetragen haben bis hin zu den Halbwertszeiten der damals austretenden Stoffe, dürfen meiner Meinung nach keine Informationen für unwichtig hingegenommen werden. All dies sollte von essentieller Bedeutung sein, wenn man bedenkt, dass es damals so viele hilfsbereite, unschuldige und unwissende Menschen getroffen hat.

Nur zu recht lässt sich nachvollziehen, dass es eine Menge von Organisationen gibt, welche sich prinzipiell gegen die Atomkraftnutzung aussprechen und sich nicht nur über finanzielle Daten „den Kopf zerbrechen“. Es ist wichtig, dass man sich mit Radioaktivität auskennt und über die grobe Funktionsweise eines Atomkraftwerks im Klaren ist, denn sonst kann nicht erkannt werden, dass eigentlich zu hohe Risiken mit der Nutzung in Verbindung stehen. Nicht nur die ständig steigende Strahlenbelastung des Menschen, sondern vor allem die regelmäßig auftretenden Störfälle in Reaktoren weltweit sollten darüber genügend Auskunft geben. Andere Aspekte sind kaum richtig erforscht, wie beispielsweise eine endgültige Lösung für die Entsorgung der Altlasten von radioaktiven Stoffen.

Fest steht, dass Vorfälle in AKWs nie aufzuheben sind, weil der Mensch nicht in der Lage ist die Radioaktivität zu beherrschen, um so die ständige Bedrohung nicht nur des menschlichen Organismus gegen Null streben zu lassen.

3. Folgen für den Menschen nach Tschernobyl

Ich hoffe, ich konnte einen anschaulichen, gut verständlichen Überblick vermitteln, der den Lesern aufgrund der subjektiven Informationslage die Möglichkeit bietet, selber eine begründete Stellung zu diesem Thema zu beziehen.

Alphastrahlen

α -Strahlen sind positiv geladen und haben ein sehr geringes Durchdringungsvermögen.

Anregung

Verschiebung eines Elektrons in der Hülle (höheres Energieniveau).

Äquivalentdosis

Die Äquivalentdosis ist das Maß für die biologische Wirkung ionisierender Strahlung auf den Menschen. Sie ist definiert als das Produkt aus der Strahlungsenergie (**Energiedosis**), die in einem Kilogramm Gewebe absorbiert wird und einem **Qualitätsfaktor** für die biologische Wirksamkeit unterschiedlicher Strahlenarten. Die Äquivalentdosis wird in der Einheit Sievert (Sv) angegeben.

Betastrahlen

β -Strahlen sind negativ geladen und haben nur eine geringe Reichweite (geringes Durchdringungsvermögen).

Dosis

Die Dosis ist ein Maß für die Wirkung absorbierter ionisierender Strahlung.

Emission

Die Freisetzung (Abgabe) von Stoffen in die Atmosphäre oder in Gewässer wird als Emission bezeichnet.

Gammastrahlung

Die γ -Strahlung trägt keine Ladung und wird beim Zerfall von radioaktiven Atomkernen ausgesandt. Sie ist eine sehr energiereiche, elektromagnetische Strahlung und damit von gleicher Natur wie das sichtbare Licht oder wie Radiowellen. Sie bewegt sich mit Lichtgeschwindigkeit und hat ein hohes Durchdringungsvermögen, sodass sie nur durch zentimeterdicke Bleiwände oder meterdicke Betonwände wirksam abgeschwächt werden kann.

Halbwertszeit

Die Halbwertszeit ist die Zeitspanne, nach der von der ursprünglichen Menge eines Radionuklids die Hälfte zerfallen ist.

3. Folgen für den Menschen nach Tschernobyl

Immission

Die Ausbreitung bzw. die örtliche/lokale Verbreitung von Stoffen (z.B. radioaktive Stoffe) in der Luft bzw. in Gewässern wird Immission genannt. Sie beeinflusst die Wirkung der Schadstoffe u.a. auf Mensch, Tier und Vegetation.

Inkorporation

Als Inkorporation wird die Aufnahme von Stoffen in den menschlichen Körper bezeichnet. Dies kann über die **Inhalation** (Atemwege) oder über die **Ingestion** (Nahrungsaufnahme) erfolgen.

Ionisation

eines Elektrons aus der Atomhülle

Abtrennung

Ionisierende Strahlung

Der Begriff Ionisierende Strahlung bezeichnet die beim Zerfall freierwerdende α -, β -, δ -Strahlung, die bei Wechselwirkung mit Materie Ionen erzeugt.

Isotope

Isotope sind Atomarten eines Elementes mit gleichen chemischen Eigenschaften (und Ordnungszahlen), jedoch verschiedenen Massenzahlen und damit verschiedenen Eigenschaften hinsichtlich ihrer Radioaktivität.

Kontamination

Als kontaminiert bezeichnet man Gebiete, die mit schädlichen, radioaktiven Stoffen verseucht wurden.

Radioaktivität

Radioaktivität ist der Umwandlungsvorgang der Atomkerne eines Elementes unter Aussendung von α -, β -, δ -Strahlung oder Neutronen. Sie charakterisiert die Strahlenquelle und ist ein Maß für die pro Sekunde zerfallenden Atomkerne. Sie wird in Becquerel (Bq) angegeben.

Radionuklide (Nuklide)

Radionuklide sind radioaktive Stoffe, die sich spontan und ohne äußeren Einfluss umwandeln (zerfallen) und dabei energiereiche Strahlung aussenden. Künstliche Radionuklide sind durch menschliche Tätigkeit erzeugte Radionuklide. Natürliche Radionuklide sind in der Natur vorhandene Radionuklide.

Spaltprodukte

Künstliche Radionuklide, die bei der Spaltung von Atomkernen entstehen, werden Spaltprodukte genannt.

Strahlenexposition

Als Strahlenexposition wird die Einwirkung ionisierender Strahlung auf den menschlichen Körper bezeichnet. Man unterscheidet äußere Strahlenexposition bei Einwirkung von Strahlungsquellen außerhalb des Körpers- und innere Strahlenexposition -bei Einwirkung von Strahlungsquellen innerhalb des Körpers.

3. Folgen für den Menschen nach Tschernobyl

Abbildungen:

- (1) Bundesamt für Strahlenschutz (www.bfs.de); Dr. Norbert Dymke / Arthur Junkert / Gabriele Vicek (Redaktion); Broschüre: Strahlung und Strahlenschutz; S. 5
- (2) Microsoft Encarta Enzyklopädie Plus 2001; Stichwort „Marie Curie“
- (3) Bundesamt für Strahlenschutz (www.bfs.de); Dr. Norbert Dymke / Arthur Junkert / Gabriele Vicek (Redaktion); Broschüre: Strahlung und Strahlenschutz; S. 6
- (4) Bundesamt für Strahlenschutz (www.bfs.de); Dr. Norbert Dymke / Arthur Junkert / Gabriele Vicek (Redaktion); Broschüre: Strahlung und Strahlenschutz; S. 6
- (5) Eitner, Kerstin; Atomkraft – schweres Erbe für die Zukunft (Strahlenrisiko, Atommüllberge, Reaktorunfälle); Greenpeace e.V. (Hrsg.); Nieswand Druck Kiel; Stand 8/2000; S. 5
- (6) Koepp, Reinhold / Koepp-Schewyrina, Tatjana; Tschernobyl – Katastrophe und Langzeitfolgen, Stuttgart; Leipzig: Teubner; Zürich: vdf. Hochschulverlag an der ETH, 1996 (Einblicke in die Wissenschaft: Ökologie); S. 94

3. Folgen für den Menschen nach Tschernobyl

- (7) <http://www.umweltlexikon-online.de/fp/archiv/RUBradioaktivitaet/Strahlenbelastung.php> ; Stand: 07.04.1004; Originalquelle: Bundesamt für [Strahlenschutz](http://www.bfs.de) (www.bfs.de); eigene Zusammenstellung, Januar 2001
- (8) Diel, Friedhelm / Meier-Ploeger, Angelika; Reaktorkatastrophe in Tschernobyl und die Folgen – Auswirkungen in Landwirtschaft und Ernährung; Kaiserslautern: Stiftung Ökologischer Landbau, 1987 (ifoam – Sonderausgabe Nr. 21); S. 22
- (9) http://www.bayern.de/lfu/umwberat/data/strahl/radioakt_1996.htm; 5.1 Wirkmechanismen; Stand: 08.04.2004; Originalquelle: Löster, W. (1986): Radioaktivität und Strahlung. - Grundbegriffe der Strahlenphysik und Dosimetrie. - In: Radioaktivität und Strahlenfolgen
- (10) <http://www.m-ww.de/enzyklopaedie/strahlenmedizin/strahlenunfall.html>; Stand: 08.04.2004
- (11) <http://www.oneworldweb.de/castor/technik/radioaktivitaet/ottohug2001.html> ; S. 3
- (12) <http://www.oneworldweb.de/castor/technik/radioaktivitaet/ottohug2001.html> ; S. 3

Bücher:

- Bundesamt für Strahlenschutz (www.bfs.de); Dr. Norbert Dymke / Arthur Junkert / Gabriele Vicek (Redaktion); Broschüre: Strahlung und Strahlenschutz
- Diel, Friedhelm / Meier-Ploeger, Angelika; Reaktorkatastrophe in Tschernobyl und die Folgen – Auswirkungen in Landwirtschaft und Ernährung; Kaiserslautern: Stiftung Ökologischer Landbau, 1987 (ifoam – Sonderausgabe Nr. 21)
- Eitner, Kerstin; Atomkraft – schweres Erbe für die Zukunft (Strahlenrisiko, Atommüllberge, Reaktorunfälle); Greenpeace e.V. (Hrsg.); Nieswand Druck Kiel; Stand 8/2000
- Hirsch, Helmut / Becker, Oda; 17 Jahre nach Tschernobyl – vielfältige Probleme, halbherzige Lösungen, unklare Perspektiven; Greenpeace e.V. (Hrsg.); Hannover; 2003
- Koepp, Reinhold / Koepp-Schewyrina, Tatjana; Tschernobyl – Katastrophe und Langzeitfolgen, Stuttgart; Leipzig: Teubner; Zürich: vdf. Hochschulverlag an der ETH, 1996 (Einblicke in die Wissenschaft: Ökologie)

Internetadressen:

- http://www.bayern.de/lfu/umwberat/data/strahl/radioakt_1996.htm; 5. Biologische Wirkung der Strahlung, 5.1 Wirkmechanismen; Stand: 08.04.2004
- <http://www.chernobyl.info/de/Facts/HealthAcute/ImpactOfRadiation>;
<http://www.chernobyl.info/de/Facts/HealthLongterm/ThyroidCancerChildrenAdolescents>;
<http://www.chernobyl.info/de/Facts/HealthLongterm/LeukaemiaChildrenAdults>; Stand: 19.04.2004
- www.gymun.de/daten/atom/zivil_strahlen.doc; Auswirkungen von Strahlen auf den menschlichen Körper; Stand: 14.04.2004
- Medicine-Worldwide: <http://www.m-ww.de/enzyklopaedie/strahlenmedizin/tschernobyl.html>; Tschernobyl; Tabelle zur Strahlenwirkung; Stand: 17.04.2004
- <http://www.noetzsv.at/wissenhilft/radioaktivitaet/belastungspfade.htm>; Kosmische Strahlung, Terrestrische Strahlung; Stand: 17.04.2004
- <http://www.reyl.de/tschernobyl/unfall/Unfall.html>; Stand: 17.04.2004
- <http://www.umweltlexikon-online.de/fp/archiv/RUBradioaktivitaet/Strahlenbelastung.php>; Tabelle; Bundesamt für [Strahlenschutz](http://www.bfs.de) (www.bfs.de); Stand: Januar 2001