

Wissenschaftliche Arbeit zur Erlangung des akademischen Grades

Bachelor of Science

An der Hochschule für Angewandte Wissenschaften (HAW)

Department Ökotoxikologie

Radioaktivität in Lebensmitteln

Bachelorarbeit

Von Robert Gajda

Eingereicht am 16.11.2011

Im 7. Fachsemester

Erstgutachter: Herr Prof. Dr. Michael Häusler

Zweitgutachter: Herr Dipl.-Ing. Klaus Kösling

Inhaltsverzeichnis

Abstract (deutsch):	5
Abstract (english):	6
Vorwort und eigene Motivation:	7
Vorgehen der Arbeit:	8
Ziele der Arbeit:	9
Masterplan Pyramide:.....	10
Danksagung:	11
1. Das Atom:.....	12
1.1 Aufbau eines Atoms:	12
1.2 Isotop:.....	13
2. Radioaktive Messeinheiten:.....	13
2.1 Becquerel (Bq) – Aktivität:.....	13
2.2 Gray (Gy) – Energiedosis:	14
2.3 Sievert (Sv) – Äquivalentdosis:	14
2.4 Sievert (Sv) – Effektive Dosis:	14
2.5 Sievert (Sv) – Dosisleistung:.....	16
3. Wichtige Zerfallsreihen von radioaktiven Nukliden:	17
3.1 Wasserstoff-3 Isotop (Tritium) (H):	17
3.2 Kalium-40 Isotop (K):	17
3.3 Kohlenstoff-14 Isotop (C):	18
3.4 Uran-235 Isotop (U):.....	19
3.5 Uran-238 Isotop (U):.....	20
3.6 Thorium-232 Isotop (Th):	20
3.7 Radium-226 Isotop (Ra):.....	21
3.9 Plutonium-239 Isotop (Pu):	21
3.10 Iod-131 Isotop (I):	22
3.11 Cäsium-134 Isotop / Cäsium-137 Isotop (Cs):	22
3.12 Strontium-90 Isotop (Sr):.....	23
4. Radioaktive Strahlung in Deutschland:	23
4.1 Auswirkungen von Tschernobyl auf Deutschland:	24
4.2 Auswirkungen von Fukushima auf Deutschland:	28

4.3 Gesetzliche Regelungen:	30
4.3.1 Strahlenschutzverordnung (StrlSchV):.....	31
4.3.2 Atomgesetz (AtG):	32
4.3.3 Röntgenverordnung (RöV):.....	33
4.3.4 Strahlenschutzvorsorgegesetz (StrVG):	33
4.4 Integriertes Mess- und Informationssystem zur Überwachung der Umweltradioaktivität (IMIS):	33
4.5 INES-Skala:.....	33
4.6 Deutsches Gesetz zur Bestrahlung von Lebensmitteln:	34
4.7 Grenzwerte:.....	35
4.8 Nord- und Ostsee:	39
4.9 Atomkraftwerke in Deutschland:	41
4.10 Hamburg:.....	44
4.10.1 Hamburger Hafen:	44
4.11 Radonkonzentration in Bodenmähe:	44
5. Katastrophe in Tschernobyl 1986:.....	46
5.1 Allgemeine Informationen zu Tschernobyl:	46
6. Katastrophe in Fukushima 2011:.....	51
6.1 Radioaktivität aufgrund Fukushima in der Umgebung und Messwerte:	52
6.2 Vergleich der Katastrophen von Tschernobyl und Fukushima:.....	54
7. Radioaktivität in Lebensmitteln:	58
7.1 Wichtigste Radionuklide in Lebensmitteln:.....	60
7.2 Radioaktive Belastung von Lebensmitteln:	61
7.2.1 Pilze:.....	61
7.2.2 Trink- und Mineralwasser:	67
7.2.3 Milch und Milchprodukte:.....	69
7.2.4 Fische:	72
7.2.5 Wildfleisch:	73
7.2.6 Rindfleisch.....	75
7.3 Bestrahlung von Lebensmitteln zur Konservierung:	76
8. Auswirkungen von radioaktiver Strahlung auf den Menschen:	76
8.1 Strahlungseinwirkungen auf den Menschen:.....	76
8.2 Strahlenkrankheit:	78
8.2.1 Akute Strahlenschäden (Deterministische Strahlenwirkung):.....	79
8.2.2 Nichtakute Strahlenschäden (Stochastische Strahlenwirkung):	81

8.3 Schäden aufgrund radioaktiver Strahlung:.....	81
8.6 Gesundheitliche Konsequenzen nach einer Atomkatastrophe:.....	82
8.8 Iod-Blockade:.....	83
8.9 Strahlung in der Medizin:	84
9. Historie:.....	85
9.1 Kernspaltung:	88
9.2 Atomwaffen:.....	89
9.3 Hiroshima und Nagasaki:.....	91
9.3.1 Hiroshima Todesfälle:	91
9.4 Radioaktiver Fallout:.....	92
9.5 Entwicklung der Radioaktivität in Deutschland:.....	93
9.6 Unterscheidung zwischen Atom- und Wasserstoffbombe:.....	93
10. Radioaktivität in Europa:.....	95
11. Aktuelle Situation und Zukunft:	97
12. Glossar.....	98
Zerfallsgesetz und Physikalische Halbwertszeit:	101
Halbwertszeiten:	105
Natürliche Radioaktivität:.....	105
Primordiale:.....	106
Terrestrische Strahlung:	106
Kosmische Strahlung und Höhenstrahlung:	108
Sonnenwind:.....	108
Künstliche Radioaktivität:.....	109
Kernspaltung:	110
Kernfusion:	112
Strahlungsarten:	113
α -Strahlung:.....	113
Energieberechnung:	115
β -Strahlung:.....	117
Elektroneneinfang (K-Einfang):	119
γ -Strahlung:	120
Röntgenstrahlung:	123
Vergleich zwischen Gamma- und Röntgenstrahlung:	123
Strahlenschutz:	123
Geräte zur Messung von Radioaktivität:	123

Szintillationszähler:	123
Geiger-Müller Zähler:	124
Wilson-Nebelkammer:	125
γ -Spektroskopie:	125
Strahlenexposition:	126
Ionisation:	126
Inkorporierte Radionuklide	126
Kernschmelze:	127
Aufbau eines Atomkraftwerks:	127
Transfer von Radionukliden im Boden:	128
Einsatz von radioaktiver Strahlung:	128
Radiokarbonmethode C-14:	129
13. Ernährungsempfehlungen:	130
14. Fazit / Zusammenfassung der Ergebnisse:	133
15. Mögliche Fehlerquellen:	136
16. Literaturverzeichnis:	137
16.1 Verzeichnis der Expertengespräche:	145
Abbildungsverzeichnis:	146
Tabellenverzeichnis:	148
17. Anhang:	149
Fragenkatalog 1: Bundesamt für Strahlenschutz (BfS)	150
Fragenkatalog 2: Johann Heinrich von Thünen Institut, Leitstelle Umweltradioaktivität:	156
Eidesstattliche Erklärung:	160

Abstract (deutsch):

Diese Bachelorarbeit wurde über das Thema „Radioaktivität in Lebensmitteln“ verfasst.

Die Ersten Themen bestehen aus allgemeinen Informationen über Radioaktivität. Dabei gehe ich vor allem auf die verschiedenen Strahlungsarten ein, die als Alpha- Beta- und Gamma-Strahlung bezeichnet werden.

Des Weiteren kann man zwischen natürlicher und künstlicher Strahlung unterscheiden.

Anschließend folgt ein Bezug auf Deutschland, Tschernobyl und Fukushima. Diese Themen befassen sich mit Grenzwerten radioaktiver Belastung in bestimmten Gebieten, wie Nord- bzw. Süddeutschland und die zwei Unfälle werden beschrieben und analysiert, die in der Ukraine und Japan geschehen sind.

Die Kernthemen bestehen aus Auswirkungen von radioaktiver Strahlung auf den Menschen und Radioaktivität in Lebensmitteln. Beim erstgenannten der beiden Hauptthemen, wird besonders auf Symptome und Erkrankungen eingegangen, die aus der Einwirkung von radioaktiver Strahlung resultieren. Beim Thema Radioaktivität in Lebensmitteln wird verstärkt Bezug auf bestimmte Lebensmittel genommen, wie Pilze, Wildbret, Mineral- und Trinkwasser, Milch und Milchprodukte, Fisch und Gemüse.

Der Grund dafür ist, dass Wildpilze und Wildbret besonders in Süddeutschland auch heutzutage noch mit dem künstlichen Radionuklid Cäsium-137 belastet sind, welches überwiegend den Ursprung aus der Tschernobyl-Katastrophe hat. Aus diesem Grund, sind auch Gemüsesorten, die nahe dem Boden wachsen, betroffen. Da Mineral- und Trinkwasser aus Quellen stammt, wird es durch unterschiedliche Bodenschichten gefiltert, wobei es auch Mineralien aufnimmt, die zum Teil Radioaktiv sind.

Auch Fisch ist aufgrund der beiden Reaktorunglücke belastet. Der Fokus liegt dabei auf der Nord- und Ostsee, sowie der Beringsee, die 2.500 Kilometer vor der japanischen Küste liegt und Hauptfanggebiet für den Alaska-Seelachs ist.

Abstract (english):

This Bachelor thesis deals with the problem: “Radioactivity in Food”. The first part consists of general information on radioactivity. Furthermore it is primarily on the different types of radiation. They consist of Alpha, Beta and Gamma radiation. Moreover you can distinguish between natural and artificial radiation. Subsequently follows a reference to Germany, Chernobyl and Fukushima. These issues deal with limiting values, radioactive contamination in certain areas, such as northern or southern Germany, and the two accidents that have happened in the Ukraine and Japan are described and analyzed.

The core subjects consist of effects of nuclear radiation on people, and radioactivity in food. In the first of the two main topics symptoms and illnesses resulting from exposure to radioactive radiation will be particularly discussed. With the subject of radioactivity in food, there will be particular reference to certain foods, like mushrooms, game, mineral and drinking water, milk and dairy products, fish and vegetables.

The reason is that wild mushrooms and game, especially in the South even today still contaminated with the artificial radionuclide cesium-137, which mainly has its origin in the Chernobyl disaster. For this reason, dairy products and vegetables that original from the affected ground are hit. As mineral and drinking water comes from springs, it is filtered by different soil layers, but in the process it also absorbs minerals, some of which are radioactive. Fish are also charged due to the two reactor accidents. The focus is on the North and Baltic Sea and the Bering Sea, which is 2500 kilometers from the Japanese coast and the main fishing area of Alaska pollock.

Vorwort und eigene Motivation:

Das Thema Radioaktivität in Lebensmitteln ist ein komplexes, aktuelles und interessantes Themengebiet. Die Aktualität spiegelt sich in der Katastrophe wieder, die am 11. März 2011 im Kernkraftwerk Fukushima in Japan geschehen ist. Im gleichen Jahr, findet der 25-Jährige Gedenktag des Unfalls von Tschernobyl statt. Meine eigene Motivation lag darin, das Thema umfassend zu beschreiben, zu analysieren und aktuelle Ereignisse einzubeziehen.

Außerdem wurden des öfteren Grenzwerte für Radioaktivität kurzzeitig geändert, so auch in einer Eilverordnung im März 2011, nach der Fukushima-Katastrophe, wurden die Werte angehoben, was gesetzlich über einen gewissen Zeitraum zulässig ist, jedoch bei einigen Verbrauchern zu Verwirrungen geführt hat.

Organisationen, wie „Foodwatch“ und „Umweltinstitut München e.V.“ haben sich kritisch gegen diese Grenzwertänderungen in Artikeln geäußert, weil die Öffentlichkeit darüber nicht informiert wurde. Dennoch besteht für Menschen in der EU keine Gefahr, da Lebensmittel aus Japan nur einen sehr kleinen Teil der Gesamtimporte ausmachen und kurze Zeit nach der Katastrophe strenger kontrolliert wurden. Alles weitere, sowie die Verordnungen, kann man von der Internetseite der Veröffentlichung downloaden unter folgendem Link¹:

http://www.foodwatch.de/presse/pressearchiv/2011/atom_katastrophe_in_japan/index_ger.html.

Die Lebensmitteln können sowohl durch natürliche-, als auch durch künstliche Radionuklide belastet sein.

Allgemein kann man davon ausgehen, dass die Konzentration der radioaktiven Strahlung entscheidend für die Auswirkungen an Menschen hat. So haben bereits geringe Mengen radioaktiver Strahlung negative Auswirkungen auf den Menschen. Diese werden jedoch, sofern der Schwellenwert nicht überschritten ist, durch körpereigene Reperaturmechanismen behoben. Dies bedeutet, dass bereits durch geringe Strahlenbelastungen Veränderungen des genetischen Codes hervorgerufen werden können. Jedoch ist die Wahrscheinlichkeit höher, dass diese Schäden durch Körpereigene Reperaturmechanismen korrigiert werden können und es somit zu keinerlei sichtbaren Schäden kommt. Bei höheren Dosen können die Reperaturmechanismen überfordert sein und zu Schäden wie z. B. Krebs führen.

¹ Rücker M., Hacker C., (2011), http://www.foodwatch.de/presse/pressearchiv/2011/atom_katastrophe_in_japan/index_ger.html, [Letzter Zugriff: 28.10.2011, 13:13 Uhr]

Vorgehen der Arbeit:

Nach einer Planungsphase und Brainstorming über mögliche Themen, stellte ich eine erste Gliederung auf. Anschließend habe ich nach Literatur gesucht. Meine Suche führte mich zu den Büchern: „Radioaktivität in Lebensmitteln“ von Johannes Friedrich Diehl, Chemie von Mortimer und Lebensmittelchemie von Baltes. Anschließend habe ich versucht über die Suchmaschine „Google“ weitere Informationen zu erhalten.

Während der Suche, bin ich auf folgendes Zitat gestoßen, welches mich die gesamte Bachelorarbeit begleitet und beschäftigt hat:

„Man braucht nichts im Leben zu fürchten, man muss nur alles verstehen.“ (Marie Curie)

Dieses Zitat von Marie Curie hat mich begeistert, weil es aussagt, dass man keine Angst vor dem Unbekannten haben soll. Man muss diese Dinge nur verstehen.

Die wichtigsten Internetquellen speicherte ich in meinem Internetbrowser unter Favoriten ab und nachher machte ich mit dem Screenshot Programm („FastStone Capture“) von jeder Internetseite einen Screenshot, So konnte ich gewährleisten, dass ich diese Seiten immer einsehen konnte, auch wenn diese bereits aus dem Internet entfernt sein würden.

Anschließend habe ich die Quellen gelesen und mir Zusammenfassungen erstellt. Daraufhin habe ich nach

Forschungs-Institutionen gesucht, die sich bereits mit Radioaktivität in Lebensmitteln befasst haben.

- Bundesamt für Strahlenschutz
- Johann Heinrich von Thünen Institut, Leitstelle Umweltradioaktivität

Nachdem ich diese Informationen gesammelt habe machte ich mir einen „Masterplan“ über das weitere Vorgehen verschaffen, um den Überblick nicht zu verlieren. Der Plan bestand darin, die wichtigsten Themen als Überschriften auf ein Flip-Chart Zettel in Form einer Pyramide zu schreiben (siehe Seite 10). Unter diesen Überschriften habe ich alle relevanten Themen gesammelt.

Dazu legte ich mir zu jedem Thema einen Ordner im Computer an und sammelte alle dazugehörigen Dokumente darin. So fing ich mit der ersten Überschrift auf dem Flip-Chart-Zettel an und fasste alle Informationen aus diesem Ordner zusammen.

Die physikalischen Halbwertszeiten meiner Bachelorarbeit sind der Karlsruher Nuklidkarte entnommen, da es sich bei diesen Angaben um möglichst genaue Werte handelt.

Ziele der Arbeit:

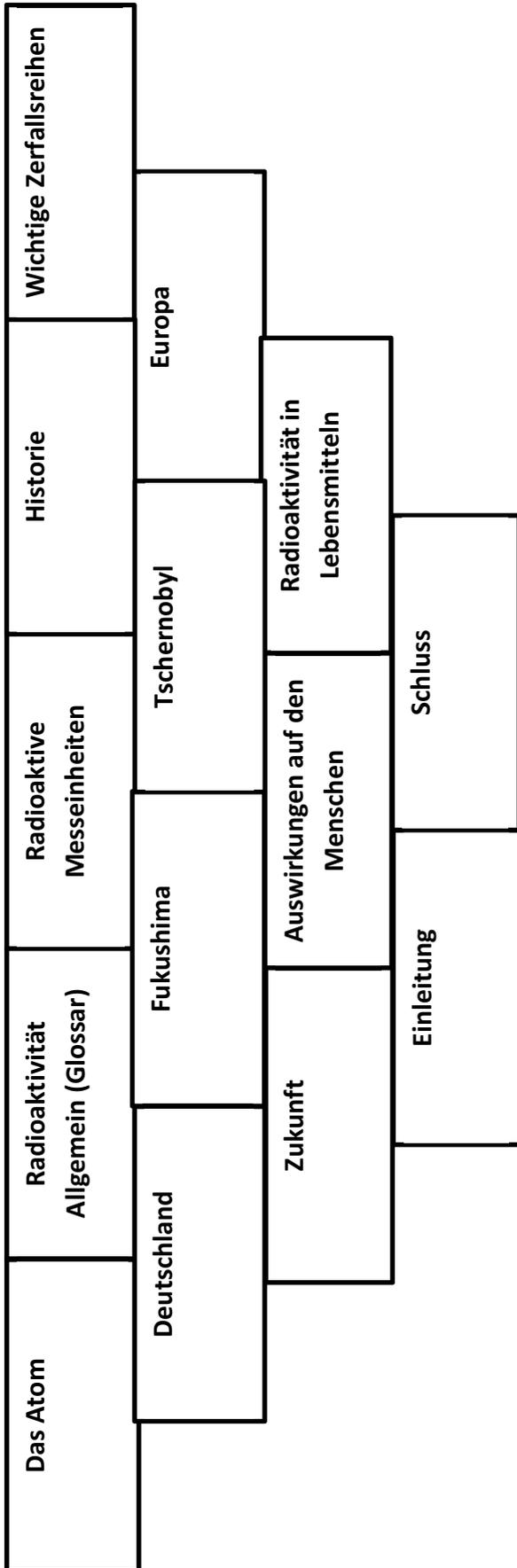
Das primäre Ziel der Arbeit ist es, Radioaktivität in Lebensmitteln zu erfassen und die Auswirkungen von Radioaktivität auf den Menschen zu beschreiben.

Dabei sind die Hauptfragen, mit denen sich die Arbeit befasst:

- Wie hoch sind bestimmte Lebensmittel mit Radioaktivität belastet?
- Wie hoch liegen die Grenzwerte in Europa?
- Welche Auswirkung hat radioaktive Strahlung auf den Menschen?

Das Sekundäre Ziel besteht aus der Zusammenfassung von Grundinformationen, um das komplexe Thema zu verstehen. Dazu gehört die Geschichte der Entdeckung der Radioaktivität, die weiteren Aspekte wie, Tschernobyl, Atomtests der 1950er und 1960er, sowie die neuste Katastrophe von Fukushima im Jahr 2011.

Masterplan Pyramide:



Danksagung:

Die vorliegende Bachelorarbeit entstand an der Hochschule für Angewandte Wissenschaften (HAW) in Hamburg / Bergedorf

Im Ökotrophologie Studium, belegte ich im Wintersemester 2009/2010 das Modul „Lebensmittelchemie“ und das begleitende Praktikum im Chemielabor.

Nach dieser Veranstaltung beabsichtigte ich meine Bachelorarbeit in diesem Bereich zu verfassen und auch später tätig zu werden.

Ich möchte mich sehr herzlich bei Herrn Prof. Dr. Michael Häusler für diesen Themenvorschlag und die Betreuung der Bachelorarbeit bedanken.

Ebenso möchte ich mich sehr bei Herrn Dipl. Ing. Klaus Kösling bedanken, der die Zweitkorrektur übernahm und mit mir zusammen das Feld der Radioaktivität auf wesentliche Themengebiete eingrenzte.

Auch Tina Bodewig und meiner Familie, besonders meinen Eltern, möchte ich für die Unterstützung dieser Arbeit und des Studiums danken.

Vielen Dank

Hamburg, den 11.11.2011

Robert Gajda

1. Das Atom:

1.1 Aufbau eines Atoms:

Bereits in der antiken griechischen Philosophie war das Wort „Atom“ bekannt. Es stammt vom griechischen Wort „átomos“ ab und bedeutet „unteilbar“. Unter Atom versteht man das kleinste Teilchen von Materie, das man nicht teilen kann. Im Jahre 1803 bis 1809 beobachtete der britische Chemiker und Physiker John Dalton, basierend auf chemischen Gesetzmäßigkeiten, dass Materie sich aus unteilbaren Atomen zusammensetzt und alle Atome eines Elements die gleiche Masse und gleichen Eigenschaften besitzen. Bei chemischen Reaktionen bleiben die Atome vollständig erhalten.²

Ein Atom besteht aus einem Atomkern und einer Atomhülle, die den Kern umgibt. Der Atomkern besteht aus positiv geladenen Protonen und neutralen Neutronen. Somit ist der Nukleus insgesamt positiv geladen. Dieser Atomkern besitzt etwa einen Radius von 10^{-12} cm und enthält fast die gesamte Masse (99,9%) des Atoms. Protonen und Neutronen zusammen, bezeichnet man als Nukleonen. Dieser Begriff stammt aus dem lateinischen „nucleus“ und bedeutet Kern. In der Atomhülle, befinden sich Elektronen, die negativ geladen sind in einem Radius von ca. 10^{-8} cm. Dennoch ziehen sich die entgegengesetzten Ladungen nicht an, weil kinetische Kräfte dem entgegenwirken.³

Um ein Atom genauer definieren zu können wird die Kernladungszahl und die Massenzahl, auch Nukleonenzahl genannt.⁴

Tabelle 1: Masse der Elementarteilchen: Protonen, Neutronen und Elektron:⁵

	Masse in Gramm (g)	Masse in Unit (u)	Ladung
Elektron	$9,10938 \cdot 10^{-28}$	0,00054858	-
Proton	$1,67262 \cdot 10^{-24}$	1,007276	+
Neutron	$1,67439 \cdot 10^{-24}$	1,008665	0

Dieser Tabelle kann man die Massen der Elementarteilchen in Gramm und Unit, sowie die Ladung entnehmen. Man erkennt, dass die Massen von Protonen und Neutronen nahe

² Microsoft® Encarta® 2009 [DVD] „Atom“

³ Volkmer M., (2002), Seite 1

⁴ Der Brockhaus Multimedial Premium 2009 [DVD] „Atom“

⁵ Tab. 1: Mortimer C. E., Müller U., (2010), Seite 19

beieinander liegen und fast identisch sind. Die Masse der Elektronen ist hingegen deutlich kleiner. D. h. man kann daraus deuten, dass fast die gesamte Masse des Atoms im Atomkern gebündelt ist. Des Weiteren kann man an der Ladung erkennen, dass Elektronen negativ geladen sind, Protonen besitzen eine positive Ladung und Neutronen sind ungeladen.

1.2 Isotop:

Unter Isotopen versteht man, Atome des gleichen Elements, welche die gleiche Anzahl an Protonen besitzen, d. h. die gleiche Kernladungszahl bzw. Ordnungszahl, aber eine andere Massenzahl, weil die Anzahl an Neutronen sich unterscheiden.

2. Radioaktive Messeinheiten:

2.1 Becquerel (Bq) – Aktivität:

Die Aktivität eines radioaktiven Stoffes, gibt man heutzutage in *Becquerel* (Bq) an. Diese Einheit hat die ältere *Curie* (Cu) abgelöst. Es gibt die Strahlungsmenge an, die pro Zeiteinheit aus der Probe austritt. D. h. wie viele Kernzerfälle gibt es pro Zeiteinheit. Die Einheit Bq ist international anerkannt. Die Einheit Curie bezieht sich auf den Zerfall eines Gammas Radium-226-Isotops, welches $3,7 * 10^{10}$ radioaktive Zerfälle pro Sekunde.

$$1 \text{ Ci} = 3,7 * 10^{10} \text{ Bq}$$

Zerfällt ein Atom pro Sekunde, so entspricht dies 1 Becquerel. Zerfallen hingegen 11 Atome pro Sekunde, spricht man von 11 Becquerel. Dieses Atom, welches 11 Zerfälle pro Sekunde besitzt ist somit stärker aktiv als das mit einem Zerfall pro Sekunde.

„Die Aktivität ist umgekehrt proportional zur Halbwertszeit; je schneller eine radioaktive Substanz zerfällt, desto intensiver strahlt sie.“⁶

Dies Zitat bedeutet, dass je mehr Kernzerfälle pro Zeit stattfinden, desto stärker strahlt dieser Stoff. Der Grund dafür ist, je kürzer die Halbwertszeit ist, desto mehr Kernzerfälle finden in einer geringeren Zeit statt. Dies bedeutet wiederum, dass die vielen Zerfälle viel Strahlung

⁶ Mortimer, C. E., Müller, U., (2010), Seite 648

gleichzeitig aussenden. Je länger die Halbwertszeit, desto weniger Atome zerfallen gleichzeitig und aus diesem Grund geht nicht so viel Strahlung von diesem Stoff aus.

Für Nahrungsmittel, gibt es in Deutschland einen Grenzwert, der bei 600 Bq pro Kg Nahrungsmittel liegt, nur für Milch und Babynahrung liegt der Wert bei 370 Bq / Kg.⁷

2.2 Gray (Gy) – Energiedosis:

Die Energiedosis oder kurz auch Dosis genannt, wird in der Einheit *Gray* (Gy) oder (J/Kg) angegeben. Früher, bis zum Jahre 1985 gab es die Einheit *Rad* (rd). Diese Einheit gibt die Intensität der Wirkung an. D.h. Es bezeichnet die absorbierte Energiemenge, die ein Objekt aufnimmt. Je größer die Intensität der Strahlung ist, desto mehr absorbiert ein Körper. Je größer die Absorption ist, desto mehr Energie wurde aufgenommen.

$$1 \text{ Rad (rd)} = 0,01 \text{ Gray (Gy)}$$

$$1 \text{ Gy} * Q = (1 \text{ J} / 1 \text{ Kg}) * Q = 1 \text{ Sv}$$

2.3 Sievert (Sv) – Äquivalentdosis:

Die Messeinheit kann man am besten für die Gefährdung von Menschen heranziehen, weil die biologische Wirkung, oder Effektive Dosis gemessen am menschlichen Körper berücksichtigt wird, Diese Einheit, gibt man in *Sievert* (Sv) an. Früher hatte man stattdessen die Einheit *Rem*. Diese Einheit setzt sich aus der Energiedosis multipliziert mit dem Qualitätsfaktor (Q) zusammen. Der Qualitätsfaktor, ist ein Erfahrungswert. Für die Strahlungsarten β -, γ - und Röntgenstrahlung ist $Q = 1$. D.h. die Energiedosis und Äquivalentdosis sind identisch. Der Wert ist 1, weil diese Strahlung Gewebe leichter durchdringen kann und so nicht die gesamte Energie an das Gewebe abgibt. Für die α -Strahlung, setzt man $Q = 20$. Äquivalentdosis ist 20-fach höher, weil α -Strahlung nur wenige Millimeter bis Zentimeter ins Gewebe vordringen kann und gibt die gesamte Energie auf einmal ab. Dies führt Zwangsläufig zu schwereren Schädigungen des Gewebes.⁸

2.4 Sievert (Sv) – Effektive Dosis:

Die Internationale Strahlenschutzkommission (ICRP), hat einen Gewichtungsfaktor beschrieben, der für menschliche Organe gilt. Der Grund für diese Spezialisierung ist, dass

⁷ Lossau N., (2011), http://www.welt.de/print/die_welt/politik/article12841286/Becquerel-und-Sievert.html [Letzter Zugriff: 28.10.2011, 13:21 Uhr]

⁸ Diehl J. F., (2003), Seite 16

bestimmt Organe unterschiedlich stark auf die radioaktive Strahlung wirken und unterschiedliche Speicherkapazität besitzen. Die Berechnung, erfolgt durch die Multiplikation von der Dosis mit dem Gewichtungsfaktor. D.h. es wird die biologische Wirksamkeit und die Strahlungsarten berücksichtigt. Diese Einheit, wird, wie die Äquivalentdosis in Sievert (Sv) angegeben.

$$1 \text{ Sv} = \text{J/Kg}$$

Tabelle 2: Wichtungsfaktoren von menschlichen Organen bezogen auf radioaktive Strahlung:⁹

Organ	Wichtungsfaktor
Keimdrüsen	0,20
Rotes Knochenmark	0,12
Lunge	0,12
Magen	0,12
Dickdarm	0,12
Schilddrüse	0,05
Leber	0,05
Speiseröhre	0,05
Brustdrüse	0,05
Harnblase	0,05
Haut	0,01
Knochenhaut	0,01
Übrige Organe	0,05
Summe	1,00

⁹ Tab. 2: Diehl J. F., (2003), Seite 17

„Organdosis und effektive Dosis werden als Körperdosen bezeichnet. Sie dienen zur Definition der Ziele, die im Strahlenschutz erreicht werden müssen. So ist z.B. bei beruflichen strahlenexponierten Personen die effektive Dosis pro Jahr auf 20 mSv beschränkt. Die Körperdosen sind Schutzgrößen.“¹⁰

Dieses Zitat sagt aus, dass die Organdosis und die effektive Dosis auch als Körperdosen bezeichnet werden können, weil diese beiden Einheiten den menschlichen Körper in die Strahlenexposition einbeziehen.

Laut dem Strahlenschutz, ist die maximale effektive Dosis für berufstätige, die mit Radioaktivität arbeiten auf 20 mSv begrenzt, aber nach Möglichkeit sollen die Dosen so gering wie möglich gehalten werden.

2.5 Sievert (Sv) – Dosisleistung:

Nicht nur die Stärke der Strahlung ist entscheidend, sondern auch die Zeit, in der man dieser Strahlung ausgesetzt ist. Dieser Wert wird ebenfalls in Sievert ausgedrückt und wird als Dosisleistung bezeichnet.

$$1 \text{ Sv/h}$$

Wenn ein Mensch beispielsweise über einen Zeitraum von 24 Stunden einer Dosisleistung von 0,2 mSv pro Stunde ausgesetzt ist, so hat dieser 1,2 mSv zusätzlich aufgenommen.¹¹

¹⁰ Zitat: Bundesamt für Strahlenschutz, (2008), Seite 11

¹¹ Lichtenberg W., (2011), Seite 293

3. Wichtige Zerfallsreihen von radioaktiven Nukliden:

Leichte Radionuklide, die relativ wenige Nukleonen besitzen, zerfallen in den meisten Fällen in einem Schritt zu einem stabilen Endprodukt. Schwere radioaktive Atome zerfallen in mehreren Stufen zu einem stabilen Endprodukt. Diesen Prozess nennt man radioaktive Zerfallsreihe.¹²

Besonders natürlich vorkommende Radionuklide haben eine große Bedeutung für den Menschen, weil unter normalen Bedingungen die Strahlenexposition im Gegensatz zu künstlichen Radionukliden höher ist. In diesem Zusammenhang, spielen Uran-235, Uran-238, Kalium-40, Radon-222 und Radium-226 die größte Rolle. So bewirken die natürlichen radioaktiven Stoffe im Durchschnitt eine Belastung von 2,1 mSv pro Jahr pro Menschen in Deutschland.¹³

3.1 Wasserstoff-3 Isotop (Tritium) (H):

Dieses Isotop ist natürlichen Ursprungs und entsteht entweder durch Höhenstrahlung und auch in Atomkraftwerken. Dieser schwere Wasserstoff gelangt durch das Trinken von Wasser in die Nahrungskette. Dabei handelt es sich um einen β -Strahler. Es ist bewiesen, dass durch die Atomtests in den 50er und 60er Jahren die Konzentration an Tritium anstieg. Man geht davon aus, dass dadurch etwa $186 \cdot 10^{18}$ Bq gemessen im Jahre 1963 zusätzlich entstanden sind. Die Konzentration nahm schnell wieder ein normales Maß an, weil Weltmeere und Wälder eine große Menge Wasserstoff speichern können.¹⁴

Heutzutage, sind etwa 0,4 Bq pro Kg Wasser enthalten.¹⁵

Dieser schwere Wasserstoff, besitzt eine physikalische Halbwertszeit von 12,323 Jahren und ist ein β -Strahler und es zerfällt in einem Schritt zum stabilen Helium-3.¹⁶

3.2 Kalium-40 Isotop (K):

Kalium ist ein natürlicher, ubiquitärer Nährstoff, den man vor allem in Gemüse findet, jedoch überwiegend in stabiler Form, als Kalium-39.¹⁷

¹² Diehl J. F., (2003), Seite 41

¹³ Bundesamt für Strahlenschutz, (2008), Seite 18

¹⁴ Diehl J. F., (2003), Seite 38

¹⁵ Baltes W., (2007), Seite 232

¹⁶ Magill J., Pfennig G., Galy J., (2006)

¹⁷ Baltes W., (2007), Seite 228

Der Tagesbedarf eines Menschen an Kalium beträgt 2 Gramm pro Tag. Es ist ein wichtiger Nährstoff, weil es für mehrere Funktionen im menschlichen Körper zuständig ist, wie beispielsweise die Membrandurchlässigkeit in der Zelle, sowie enzymatische Reaktionen und elektrische Vorgänge in Nerven- und Muskelzellen.¹⁸

Nur 0,0117% des natürlichen Kaliums, bestehen aus dem radioaktiven Isotop Kalium-40. Das hauptsächlich vorkommende Kalium-39, ist zu 93,2581% enthalten. Pro Gramm Gesamtkalium, nimmt ein Mensch im Durchschnitt ca. 30,944 Bq Kalium-40 auf. Kalium wird in Nerven und Muskeln gespeichert. Es besitzt eine Halbwertszeit von $1,28 \cdot 10^9$ Jahren (1.280.000.000 Jahren) und ist ein β^- - und γ -Strahler. Dieses Isotop besteht bereits seit der Entstehung der Erde und gehört somit zu den Primordialen, die ebenfalls vor ca. 4,65 Milliarden (4.650.000.000) Jahren entstanden. Dennoch hat die Strahlung von Kalium-40 nicht wesentlich abgenommen, weil seit der Genesis bis heute nicht ganz 4 physikalische Halbwertszeiten vergangen sind.¹⁹

Das radioaktive Kalium-40, zerfällt mit einer Wahrscheinlichkeit von 89,5% unter Abgabe von β^- - Strahlung zu dem stabilen Calcium-40 und mit einer Wahrscheinlichkeit von 10,5% erfolgt ein Elektroneneinfang und das Radionuklid zerfällt zu Argon-40, welches auch stabil ist, aber nur auf diese Weise entsteht. Der Zustand des Argon-40 ist ungünstig und somit wird γ -Strahlung emittiert.²⁰

3.3 Kohlenstoff-14 Isotop (C):

Dieses Isotop kommt ebenfalls natürlich vor und wird durch kosmische Strahlung gebildet, jedoch entsteht dieses Radionuklid auch zu einem geringen Maße durch Atomwaffen.

Während der natürlichen Entstehung, trifft Höhenstrahlung auf Stickstoff-Atome und es entsteht das radioaktive C-14, welches nur einen geringen Teil des Gesamtkohlenstoffs in der Atmosphäre ausmacht. Durch die Atomtests in der Vergangenheit, entstand eine Menge von $213 \cdot 10^{15}$ Bq zusätzlich. Gemessen wurde die Menge im Jahre 1963. Genau wie bei Tritium auch, nahm die Konzentration bereits nach 10 bis 15 Jahren wieder ab, weil der Kohlenstoff vor allem in Wäldern und Pflanzen gespeichert wurde.²¹

Durch die Photosynthese, bei der Pflanzen Wasser, Kohlenstoffdioxid und Licht aufnehmen

¹⁸ Der Brockhaus Multimedial Premium 2009 [DVD] „Kalium“

¹⁹ Baltes W., (2007), Seite 228

²⁰ Rupprecht Gymnasium, (2006),

http://www.leifiphysik.de/web_ph12/musteraufgaben/11kern/kalium06/k40_zerfall06.htm [Letzter Zugriff: 28.10.2011, 13:33 Uhr]

²¹ Diehl J. F., (2003), Seite 80

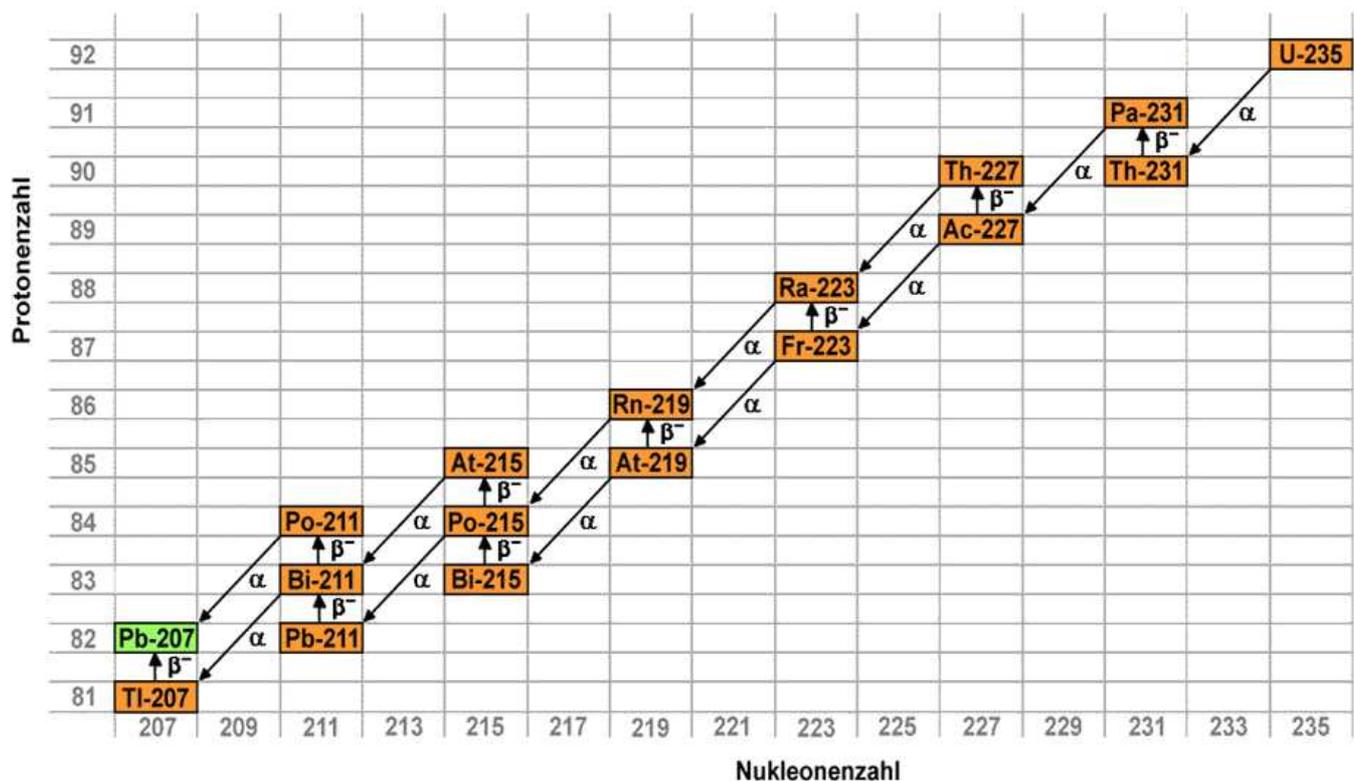
und daraus Sauerstoff und Glucose gewinnen. Durch den Verzehr dieser Pflanzen gelangt das C-14 auch in den menschlichen Körper.

Jeder Mensch besteht im Durchschnitt zu 180 g Kohlenstoff / Kg Körpergewicht. Das macht bei einem 80 Kg schweren Menschen 14.400 g (14,4 Kg) Kohlenstoff.²²

3.4 Uran-235 Isotop (U):

Im natürlichen Uran, befinden sich diese Uran-235 Isotope zu einem Anteil von 0,71%. Es besitzt eine Halbwertszeit von $7,038 \cdot 10^8$ Jahren. Die Zerfallsreihe von Uran-235, nennt man auch Uran-Actinium Zerfallsreihe.

Abbildung 1: Uran-Actinium Zerfallsreihe:²³



Auf dieser Abbildung, kann man den Zerfall mit den Zwischenstufen von Uran-235 erkennen. Diese Reihe beginnt mit dem Uran-235, welches durch einen α -Zerfall zu Thorium-231 wird. Dieses Thorium-231 zerfällt wieder, weil es instabil ist, bis am Ende der Zerfallsreihe das Stabile Blei-207 entsteht.

²² Baltes W., (2007), Seite 231

²³ Abb. 2: Seilnacht T., (o.J.), <http://www.seilnacht.com/Lexikon/zuran.gif> [Letzter Zugriff: 28.10.2011, 13:35 Uhr]

Bei der Kernexplosion, zerfällt nicht das gesamte Plutonium. Es setzt sich im Allgemeinen aus 84% Pu-239, 15% Pu-240, 1% Pu-241 und 0,05% Pu-238 zusammen.

Beim Zerfall von Pu-239, entsteht hauptsächlich Pu-240 und Pu-241.

Pu-241 ist sowohl ein α -, als auch ein β -Strahler und beim weiteren Zerfall entsteht unter anderem Americium-241.

Plutonium, wurde nach Atomexplosionen in größeren Mengen auf Pflanzen nachgewiesen, Entweder als Fallout auf den Blättern, gebunden an Staub, alternativ, fiel das Plutonium auf den Boden und von dort haben die Pflanzen das Plutonium aus dem Boden mit anderen Nährstoffen aufgenommen. Plutonium, besitzt die Eigenschaft, dass es sich mit Ton in der Erde verbindet, welches nicht in Pflanzen gelangen kann. In den letzten Jahren, hat man keine Untersuchungen nach Plutoniumgehalten in Lebensmitteln mehr durchgeführt, weil die Konzentrationen stark rückläufig waren.²⁹

3.10 Iod-131 Isotop (I):

Genauso wie Cäsium, wurden auch große Mengen Iod während der Tschernobyl Katastrophe freigesetzt. Da Iod-131 eine kurze physikalische Halbwertszeit von 8,02 Tagen besitzt, ist es nicht lange nachweisbar. Es handelt sich dabei um einen β - und γ -Strahler. Iod, lagert sich in der Schilddrüse an. Kurze Zeit nach dem Unglück von Tschernobyl, wurden Werte von bis zu 4.000 Bq / Kg Iod in der Schilddrüse von Schlachttieren nachgewiesen. Bereits 10 Wochen später konnten nur noch Spuren ermittelt werden.³⁰

Der Tägliche Bedarf an Iod beträgt etwa 0,15 mg.³¹

3.11 Cäsium-134 Isotop / Cäsium-137 Isotop (Cs):

Diese beiden Isotope entstehen bei Kernreaktionen. Die Halbwertszeit von Cäsium-134 liegt bei 2,06 Tagen und die physikalische Halbwertszeit von Cs-137, liegt hingegen bei 30,17 Tagen. Dies sind relativ kurze Halbwertszeiten im Vergleich zu anderen Radionukliden, doch ist Cäsium-134 deutlich kürzer als Cäsium-137 nachweisbar. Von den physikalischen Eigenschaften verhält sich Cäsium ähnlich wie Kalium und ist in allen Muskeln und Nerven zu finden. Cäsium, wird überwiegend durch Milch, Milchprodukte, Fleisch und Getreideprodukte aufgenommen. Während des Unglücks von Tschernobyl am 26.04.1986, wurden große Mengen des Cäsiums in die Atmosphäre befördert. In der anschließenden Zeit gelangte das Cäsium mit Regen Niederschlägen auf die Erde. In dieser Zeit wurde das

²⁹ Diehl J. F., (2003), Seite 81

³⁰ Balthes W., (2007), Seite 234

³¹ Der Brockhaus Multimedial Premium 2009 [DVD] „Iod“

gesamte Gemüse vernichtet, doch durch die Niederschläge wurde teilweise bis zu 3,5 Bq pro Peron pro Tag gemessen. Kurze Zeit später nahmen die Pflanzen das Cäsium in die Blätter und Wurzeln auf und man hatte Werte über 150 Bq pro Kg Gemüse gemessen. Kurze Zeit später, fielen die Werte wieder, weil Cäsium an Minerale im Boden gebunden wurde und so nicht mehr in Pflanzen aufgenommen werden konnte.³²

3.12 Strontium-90 Isotop (Sr):

Strontium-90, ist ein gefährliches Isotop, weil es die gleichen Eigenschaften wie Calcium besitzt und sich Knochen ablagert und ein β -Strahler ist. Daraus ergibt sich eine sehr hohe biologische Halbwertszeit. Die physikalische Halbwertszeit liegt bei 28,64 Jahren. Dieser Stoff kommt hauptsächlich in Milch und Milchprodukten vor. Im Jahre 1964 wurden Werte von 1,1 Bq pro Person und Tag gemessen. Besondere Gefahr, geht für Säuglinge und kleine Kinder aus, weil die Knochenstruktur noch nicht vollständig entwickelt ist.³³

Das Strontium-90, zerfällt mit 2 Zwischenstufen. Aus dem Strontium-90, wird unter β -Zerfall Yttrium-90 und unter einem weiteren β -Zerfall, entsteht das stabile Zirconium-90.

4. Radioaktive Strahlung in Deutschland:

Unabhängig davon, ob es sich um natürliche oder durch Menschen verursachte Radioaktivität handelt. Es wird ein Durchschnittswert ermittelt. Dieser liegt in Deutschland, wenn man alle Strahlenquellen berücksichtigt bei etwa 2,1 mSv pro Jahr. Dies ist möglich, weil natürliche Radioaktivität die gleichen Auswirkungen, wie künstliche Radionuklide verursacht. In den meisten Gebieten liegt der Wert zwischen 1 bis 2 mSv. Doch in Bayern gibt es Regionen, die bei 10 mSv liegen. Diese effektive Dosis, von 2,1 mSv pro Jahr setzt sich aus folgenden Quellen zusammen. Den größten Anteil trägt das natürlich vorkommende Radon-222 dazu bei.

Die effektive Dosis liegt bei 1,1 mSv pro Jahr. Ein weiterer Teil, besteht aus Radionukliden, die sich auf der Nahrung befinden, verursacht durch Fallout und Aufnahme durch die Wurzeln. Dieser Wert, liegt bei 0,3 mSv pro Jahr. Dieses Ergebnis, ist im Jahr 2008 entstanden und berücksichtigt somit die Katastrophe von Fukushima (2011) nicht.

Andererseits, kann man dies ungeachtet lassen, da auch aus dem Interview mit Herrn Rieth hervorging, dass diese Katastrophe für Deutschland keinerlei Auswirkungen mit sich bringt.

³² Baltés W., (2007), Seite 232

³³ Baltés W., (2007), Seite 235

0,4 mSv nehmen Menschen durch terrestrische Strahlung im Durchschnitt pro Jahr auf. Der letzte Teil besteht durch die kosmische Strahlung. Es handelt sich dabei ebenfalls um natürliche Radioaktivität.

Addiert man alle Strahlungsquellen, so ergibt sich der Wert von 2,1 mSv pro Jahr.³⁴

4.1 Auswirkungen von Tschernobyl auf Deutschland:

Am 26.04.1986 ereignete sich im Atomkraftwerk Tschernobyl die Katastrophe. Drei Tage später, registrierte man in Deutschland eine erhöhte Radioaktivität. In München ermittelte man Werte von Cäsium-137, die bei 15 kBq pro m² (15 * 10³ Bq pro m²) lagen. Mitte Mai desselben Jahres, wurden die höchsten Werte im Berchtesgadener-Land mit 44 kBq pro m² gemessen. Dagegen in Hamburg, war zu dieser Zeit ein Wert von 1 bis 3 kBq pro m² an Cäsium-137 zu messen.³⁵

Auf Grund der Windverhältnisse, gab es in Südbayern und südlich der Donau, größere Mengen an Cäsium-137, die durch Fallout auf die Erde gelangten, als in Norddeutschland. So wurden zeitweise in Süddeutschland Werte der Radioaktivität bis zu 100.000 Bq/m² gemessen. In Norddeutschland, wurden Werte kurzzeitig von 4.000 Bq/m² ermittelt.

Die Zusammensetzung der Strahlung, veränderte sich, je weiter sie gelangte. Dieses Phänomen, hängt mit der Dichte der Radionuklide zusammen. Schwerere Stoffe, wie Strontium-90, Plutonium-239 und Uran-235 gelangten nicht so weit, wie Cäsium-137 und Iod-131.

Da das Iod-Isotop eine physikalische Halbwertszeit von 8,02 Tagen besitzt, ist nach etwa 80 Tagen nicht mehr Nachweisbar, aber in diesem Zusammenhang ist Cäsium-137 von Bedeutung, weil es eine physikalische Halbwertszeit von 30,17 Jahren besitzt. Es kontaminiert vor allem landwirtschaftliche Produkte, wie Gemüse und Fleisch. Heutzutage beträgt die Belastung an Cäsium-137 unter einem Bq / Kg Gemüse. Doch deutlich stärker sind Wildbret, Waldbeeren und Pilze betroffen. Durch das Ökosystem Wald, verdünnen sich die Radionuklide nicht, sondern reichern sich an. Aus diesem Grund kann man davon ausgehen, dass auch in Zukunft die Kontamination nur sehr langsam abnehmen wird. Grob geschätzt, entsprechen 80.000 Bq an Cäsium-137 etwa einem mSv. Verzehrt man beispielsweise 200 g Wildpilze, die mit 4.000 Bq / Kg belastet sind, käme eine Exposition von 0,01 mSv zusätzlich hinzu.³⁶

³⁴ Bundesamt für Strahlenschutz, (2008), Seite 29

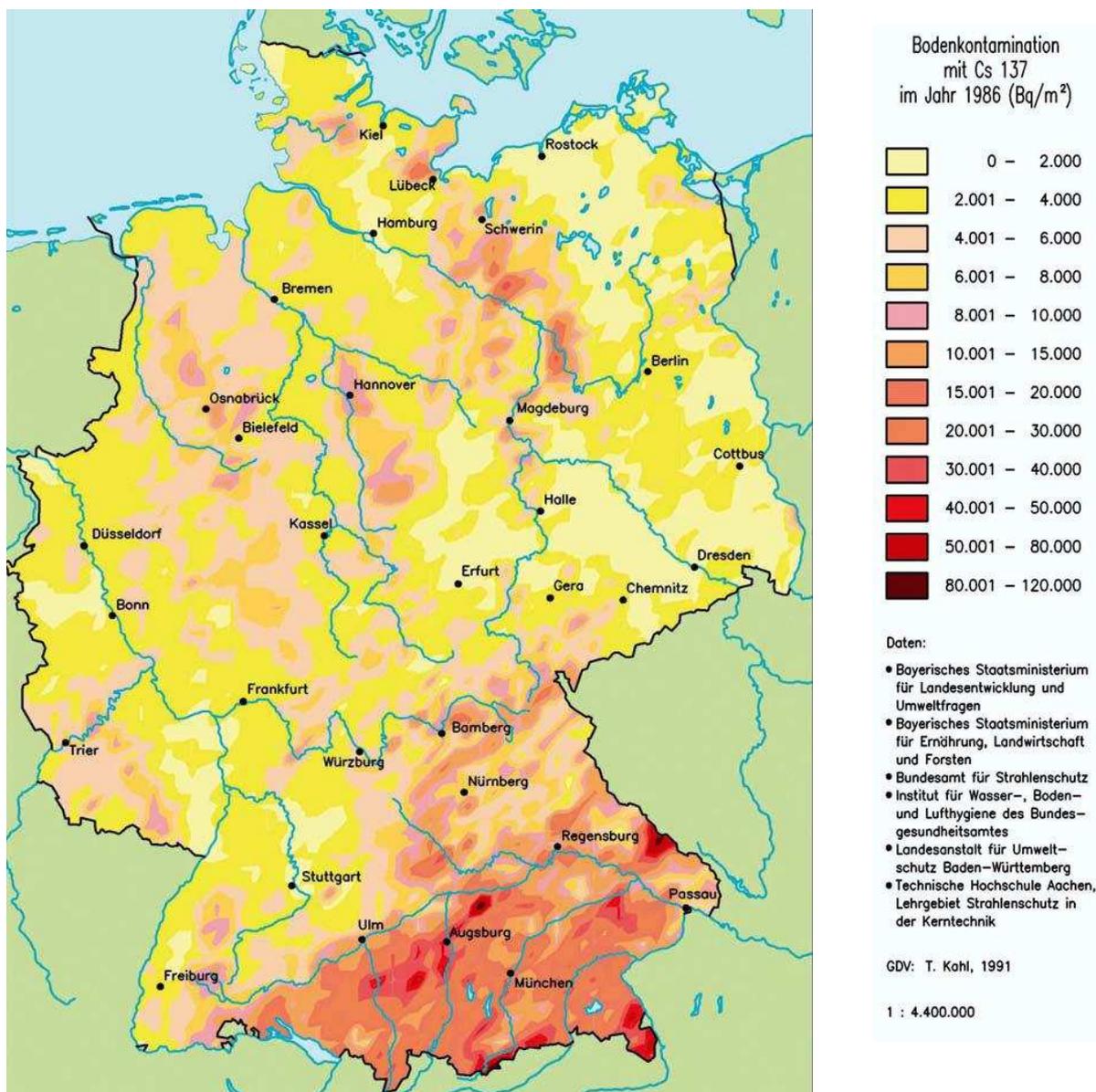
³⁵ Diehl J. F., (2003), Seite 109 ff.

³⁶ Bundesamt für Strahlenschutz, (2008), Seite 23

Diese 0,01 mSv, haben keinerlei Auswirkungen auf den Menschen, obwohl der Grenzwert von 600 Bq deutlich überschritten wurde. Entscheidend ist die verzehrte Menge.

Im selben Jahr der Tschernobyl Katastrophe, wurde in Deutschland das Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (BMU) gegründet. Bereits drei Jahre später auch das Bundesamt für Strahlenschutz.³⁷

Abbildung 4: Bodenkontamination in Deutschland durch Tschernobyl an Cäsium-137 im Jahre 1986:³⁸



³⁷ Bundesamt für Strahlenschutz, (2011 b), Seite 3

³⁸ Bäurle P., (2006), Seite 12

Diese Abbildung zeigt eine Deutschlandkarte, wo die Bodenkonzentrationen an Cäsium-137 verzeichnet sind, die 1986 aufgrund von Tschernobyl nach Deutschland gelangten. Man kann erkennen, dass Bayern und Teile Baden-Württembergs am stärksten kontaminiert wurden. Die Höchstwerte liegen dort bei ca. 80.000 Bq pro qm. Im Gegensatz dazu ist Mittel- und Norddeutschland niedriger belastet worden. Dresden weist im Allgemeinen die niedrigsten Werte zwischen 2.000 und 4.000 Bq / qm auf.

Laut dem Bundesamt für Strahlenschutz, ist es nicht wahrscheinlich, dass sich in Deutschland eine derartige Katastrophe ereignet, weil zum einen hierzulande andere Kernreaktoren zum Einsatz kommen, die einen höheren Sicherheitsstandard gewährleisten. Andererseits werden Atomkraftwerke in der heutigen Zeit regelmäßig gewartet und an die neusten Sicherheitsstandards angepasst. Direkt nach der Katastrophe, haben Wissenschaftler die Radioaktivität, die auf dem Weg nach Deutschland war unterschätzt. Am 01.05.1986 gab es einen Anstieg um ca. 0,92 µSv pro Stunde, auf einen ungefähren Wert von 1 µSv pro Stunde. Dies betrug das 10-Fach des normalen Werts. Zuerst, konnte man die Kurzlebigen Radionuklide messen, wie Iod und Tellur. Als diese Konzentration sank, trat Cäsium in Vordergrund. Ab dem 03.05.1986 fiel die Konzentration ab, weil es eine Luftdurchmischung gab.³⁹

Durch die zuvor herrschenden Temperaturen, waren zu diesem Zeitpunkt ausschließlich Milch und Spinat betroffen, weil Kühe auf Weiden die Radionuklide in die Milch aufgenommen haben und Früh-Spinat wird zwischen März bis Mai ausgesät. Im Spinat wurden über kurze Zeit Mengen von bis zu 20.000 Bq / Kg an Iod-131 festgestellt und in Milch bis zu 500 Bq / Kg desselben Isotops.⁴⁰

³⁹ Bundesamt für Strahlenschutz, (2011 b), Seite 37

⁴⁰ Bundesamt für Strahlenschutz, (2011 b), Seite 37

Tabelle 3: Cäsium-137 Aktivität in landwirtschaftlichen Produkten in Deutschland 2008.⁴¹

Produkt	Probenzahl	Mittelwert in Bq / Kg	Minimalwert in Bq / Kg	Maximalwert in Bq / Kg
Milch	1123	<0,17	0,02	2,5
Fleisch (Rind/Kalb/Schwein/Geflügel)	1018	<1,1	<0,02	29
Blattgemüse	736	<0,17	<0,02	0,68
Frischgemüse ohne Blattgemüse	625	<0,15	<0,03	2,1
Kartoffeln	179	<0,14	<0,03	0,43
Getreide	678	<0,16	<0,03	1,9

In dieser Tabelle kann man bestimmte Lebensmittel sehen, die im Jahr 2008 auf das Radionuklid Cäsium-137 untersucht wurden. Der niedrigste Maximalwert, wurde in Kartoffeln, mit 0,43 Bq / Kg gefunden. Der höchste Maximalwert wurde in Fleisch, mit 29 Bq / Kg ermittelt. Diese gefundenen Werte sind für den Verzehr ungefährlich, auch wenn man größere Mengen davon isst. Geht man davon aus, dass ca. 80.000 Bq / Kg etwa 0,01 mSv ausmachen, so entsprechen 29 Bq / Kg $3,625 \cdot 10^{-6}$ mSv.

Aufgrund von Wind und anderen Umwelteinflüssen, wurden einige Gebiete stärker kontaminiert als andere. Vor allem die leicht flüchtigen Radionuklide Cäsium und Iod wurden auf in größerer Entfernung nachgewiesen. Doch Iod besitzt nur eine kurze physikalische Halbwertszeit von 8,02 Tagen, somit konnte man dieses Iod-131 etwa drei Monate später nicht mehr nachweisen. Das Cäsium-134 besitzt eine physikalische Halbwertszeit von 2 Jahren, damit war es nach zehn Jahren nicht mehr Nachweisbar. Im Gegensatz dazu, besitzt das Cäsium-137 eine physikalische Halbwertszeit von 30,17 Jahren und ist im Jahre 2011 (25 Jahre später) bereits zu ca. 44% zerfallen.⁴²

⁴¹ Tait D., Roos N., (2011), Seite 28

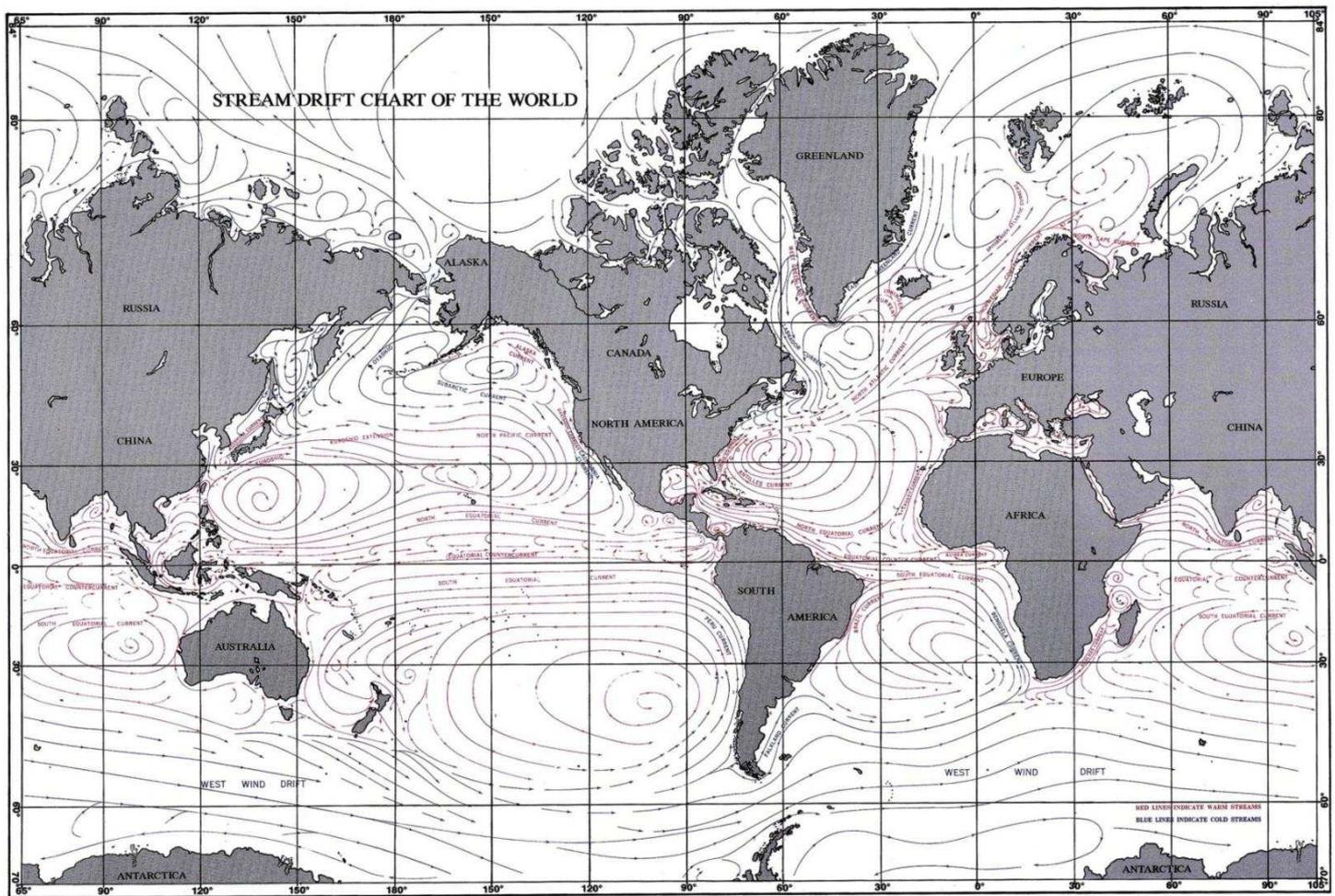
⁴² Tait D., Roos N., (2011), Seite 28

4.2 Auswirkungen von Fukushima auf Deutschland:

Die Auswirkungen von Fukushima auf Deutschland sind sehr gering. Dies liegt zum einen an der sehr großen Entfernung von knapp 9.000 Kilometern Luftlinie, sowie den Wind- und Wasserströmungen. Je weiter man sich von einem Explodierten Kernreaktor befindet, desto geringere Mengen Radionuklide sind zu erwarten, weil ein sogenannter Verdünnungseffekt eintritt. Das heißt, dass sich radioaktive Stoffe in großen Mengen mit Luft mischen und über ein großes Volumen verteilt werden. Das gleiche Phänomen, trifft auch für Meeresströmungen zu. In Deutschland liegt die Durchschnittliche Zunahme an künstlichen Radionukliden durch Fukushima bei etwa 0,001 Bq. Dadurch besteht keine Gefahr für Menschen und Tiere. Ab 50 μSv pro Stunde wird empfohlen sich in andere Gebiete zu begeben, bzw. geschlossene Räume aufzusuchen.⁴³

⁴³ Expertengespräch Rieth Dr. U., (2011)

Abbildung 5: Weltkarte mit Meeresströmungen:⁴⁴



Auf dieser Abbildung kann man eine Weltkarte mit allen wichtigen Meeresströmungen erkennen. In diesem Zusammenhang sind hauptsächlich die Strömungen vor der Küste Japans von entscheidender Bedeutung. Man sieht, dass die Strömungen Richtung Osten in den Pazifischen Ozean führen. Dies bringt Vorteile für die Bevölkerung in Japan, da diese nicht in den Städten in der Umgebung von Fukushima von der radioaktiven Wolke gefährdet werden. Südöstlich vor der Küste Japan, befinden sich Strömungen, die eine zusätzliche Verdünnung bewirken, weil größere Wassermassen sich mischen. Ein Teil der Strömungen fließt an diesen Wasserbewegungen vorbei, in Richtung der Nordamerikanischen Westküste. Wie bereits besprochen, können Radioaktive Stoffe von Japan, bis nach Nordamerika einige Jahre vergehen. Von dort aus verteilt sich das Wasser nach Norden und Osten, an der Küste entlang. Im Norden befindet sich die Beringsee. Durch kleinere Verwirbelungen, ist es möglich, dass

⁴⁴ Abb. 6: http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/1/16/Ocean_current_2004.jpg, [Letzter Zugriff: 28.10.2011, 13:44 Uhr]

das Wasser zwischen Russland und Alaska hindurch fließt und wieder zwischen Kanada und Grönland in Richtung Europa. Eine andere Variante ist, dass das Wasser nach Süden an der Nordamerikanischen Küste entlang verläuft und entweder durch den Panamakanal oder südlich von Lateinamerika vorbei in den Atlantischen Ozean gelangt. Durch weitere Strömungen, kann es weiter nach Norden fließen und in den Golfstrom gelangen, wo es nach Europa kommt.

Diese beschriebenen Meeresströmungen fließen alle auf indirektem Weg, sodass die Menschen in Europa keine Veränderung der Radioaktivität bemerken dürften.

Die EU hat beschlossen, noch bis zum Ende des Jahres 2011 alle Importe aus Japan ausschließlich mit einem Zertifikat einreisen zu können und weiterhin Stichprobenartig eigenständige Kontrollen des Deutschen Zolls durchzuführen. Anfang des Jahres 2012, soll monatlich neu entschieden werden, ob die Kontrollen aufrechterhalten bleiben sollen.⁴⁵

4.3 Gesetzliche Regelungen:

Kurze Zeit nach der Tschernobyl Katastrophe gab es keine einheitlichen Grenzwerte, so setzte beispielsweise jedes Bundesland seine eigenen Grenzwerte ein. Im Dezember 1986 wurde ein Gesetz erlassen, was die Grenzwerte regelte, das sogenannte Strahlenschutzvorsorgegesetz (StrVG). Im Jahre 2008 wurde es geändert.⁴⁶

Die Bevölkerung darf pro Jahr nicht mehr als 1 mSv ausgesetzt sein. Arbeiter, die täglich mit radioaktiven Stoffen zu tun haben, dürfen Dosen bis maximal 20 mSv ausgesetzt sein. Diese Werte gelten Europaweit. Am 08.04.2011 hat die Kommission auf europäischer Ebene in Brüssel beschlossen.

Außerdem, laut der Verordnung (EU) Nr. 657/2011, müssen alle Sendungen aus Japan vorher angemeldet werden, bevor sie überhaupt exportiert werden dürfen.⁴⁷

⁴⁵ Verbraucherzentrale Hamburg e.V. (2011), <http://www.vzhh.de/ernaehrung/112918/radioaktivitaet-in-lebensmitteln.aspx>, [Letzter Zugriff: 28.10.2011, 13:53 Uhr]

⁴⁶ Bundesamt für Strahlenschutz, (2011 b), Seite 20

⁴⁷ Bundesamt für Strahlenschutz, (2011), http://www.bfs.de/de/kerntechnik/papiere/japan/strahlenschutz_japan.html, [Letzter Zugriff: 28.10.2011, 13:51 Uhr]

Tabelle 4: Europaweit geltende Grenzwerte für Radioaktivität in Lebensmitteln:⁴⁸

Element	Milch- und Milcherzeugnisse (Bq/L)	Andere Nahrungsmittel (Bq/Kg)	Flüssige Nahrungsmittel (Bq/L)
Strontium-90	125	750	125
Iod-131	300 (Zuvor 500)	2.000	300 (Zuvor 500)
Plutonium-239	1 (Zuvor 20)	10 (Zuvor 80)	1 (Zuvor 20)
Cäsium-134, Cäsium-137	200 (Zuvor 1.000)	500 (Zuvor 1.250)	200 (Zuvor 1.000)

In dieser Tabelle, kann man die Grenzwerte für bestimmte Lebensmittel in Bq / L bzw. Kg erkennen. Man sieht, dass nahezu alle Grenzwerte heruntergesetzt wurden, um einen höheren Schutz der Bevölkerung zu gewährleisten.

Die Lebensmittelüberwachung, übernehmen die einzelnen Bundesländer separat. Diese Ergebnisse, werden an das Bundesamt für Verbraucherschutz und Lebensmittelsicherheit (BVL) weitergeleitet. Dieses Amt bildet ein Organ des Bundesministeriums für Ernährung, Landwirtschaft und Verbraucherschutz (BMELV). Dieses Bundesministerium, berichtet an die Europäische Union, die an anschließend die Daten auswerten und ggf. Empfehlungen aussprechen.

4.3.1 Strahlenschutzverordnung (StrlSchV):

In der Strahlenschutzverordnung wird der Schutz der Bevölkerung und Arbeiter, die mit Radioaktivität umgehen gesichert.⁴⁹

In der Strahlenschutzverordnung ist verankert, dass radioaktive Stoffe Werte von 0,3 nicht überschreiten dürfen. In der Realität werden die Werte deutlich unterschritten, sie liegen etwa bei 0,01 mSv pro Jahr.

⁴⁸ Tab. 2: Bundesamt für Strahlenschutz, (2011), http://www.bfs.de/de/kerntechnik/papiere/japan/strahlenschutz_europa.html, [Letzter Zugriff: 28.10.2011, 13:51 Uhr]

⁴⁹ Bundesamt für Strahlenschutz, (2008), Seite 28

Für Nahrungsmittel, gibt es in Deutschland einen bestimmten Grenzwert, der bei 600 Bq pro Kg Nahrungsmittel liegt, nur für Milch und Babynahrung liegt der Wert bei 370 Bq / Kg.⁵⁰

Die Grenzwerte, darf man nicht falsch verstehen. Es beutet nicht, dass Strahlenmengen unter diesen Grenzwerten ungefährlich und auch schon wenig darüber gefährlich. Diese Grenzwerte sagen aus, dass ab diesen Strahlenmengen das Risiko von Auswirkungen an Menschen erhöht ist. Da jeder Mensch anders ist, ist es nicht möglich, einheitliche Thesen aufzustellen, ab welchen Strahlendosen Symptome auftreten.

Aus diesem Grund, sollte man generell die Grenzwerte nicht ausschöpfen, sondern so gering wie möglich halten.

Laut der Strahlenschutzverordnung § 46 Absatz 1 heißt es:

„Für Einzelpersonen der Bevölkerung beträgt der Grenzwert der effektiven Dosis durch Strahlenexpositionen aus Tätigkeiten nach § 2 Abs. 1 Nr. 1:

1 mSv (1.000 µSv) im Kalenderjahr.“⁵¹

Für Personen, die beruflich mit Strahlung zu tun haben, wie das Flugpersonal, gilt laut Strahlenschutzverordnung § 55 Absatz 1:

„Für beruflich strahlenexponierte Personen beträgt der Grenzwert der effektiven Dosis 20 mSv (20.000 µSv) im Kalenderjahr.“⁵²

4.3.2 Atomgesetz (AtG):

In diesem deutschen Gesetz wird der Umgang mit Energie, die in Atomkraftwerken gewonnen wird, geregelt. Dabei geht es ausschließlich um die friedliche Nutzung.⁵³

„Es regelt weiterhin die Maßnahmen, die zum Schutz von Leben und Gesundheit des Menschen sowie von Sachgütern gegen die Gefahren der Atomenergie und gegen die schädliche Wirkung ionisierender Strahlung zu ergreifen sind. Es bildet damit die Grundlage des Strahlenschutzgesetzes.“⁵⁴

Dieses Zitat vom Bundesamt für Strahlenschutz sagt aus, dass Menschen und Gegenstände geschützt werden sollten vor der ionisierenden Strahlung.

⁵⁰ Lossau N., (2011), http://www.welt.de/print/die_welt/politik/article12841286/Becquerel-und-Sievert.html [Letzter Zugriff: 28.10.2011, 13:21 Uhr]

⁵¹ Strahlenschutzverordnung, (2007), Paragraph (§) 46 Absatz (Abs.) 1

⁵² Strahlenschutzverordnung, (2007), Paragraph (§) 55 Absatz (Abs.) 1

⁵³ Bundesamt für Strahlenschutz, (2008), Seite 28

⁵⁴ Zitat: Bundesamt für Strahlenschutz, (2008), Seite 28

4.3.3 Röntgenverordnung (RöV):

Dieses Gesetz ist ähnlich dem Atomgesetz, jedoch regelt dieses Gesetz den Umgang mit Röntgenstrahlung.⁵⁵

4.3.4 Strahlenschutzvorsorgegesetz (StrVG):

Das deutsche Strahlenschutzvorsorgegesetz regelt den Umgang von Strahlungsmengen auf die Bevölkerung. Es soll eine Vorsorge darstellen, bevor Schäden auftreten. Damit soll gewährleistet sein, dass es eine permanente Überwachung von bestimmten Systemen gibt, wie beispielsweise Umweltradioaktivität, die an jedem Standort einheitliche Kriterien anwendet und somit objektiv ist.⁵⁶

4.4 Integriertes Mess- und Informationssystem zur Überwachung der Umweltradioaktivität (IMIS):

Die Bundesländer führen regelmäßige Lebensmittelanalysen durch, um die Kontamination zu überprüfen. Dabei handelt es sich überwiegend um Produkte, wie Milch, Gemüse, Getreide, Fleisch und Fisch, die so früh wie möglich getestet werden. Des Weiteren, besteht das IMIS System aus 1.940 Messstellen, die über der Bundesrepublik Deutschland verteilt sind und ein Frühwarnsystem bei der Luftkontamination ausmachen. Die Einführung begann nach dem Unfall von Tschernobyl mit dem Strahlenschutzvorsorgegesetz (StrVG).⁵⁷

4.5 INES-Skala:

Diese Skala ist International gültig und beschreibt die Schwere der Notsituation.

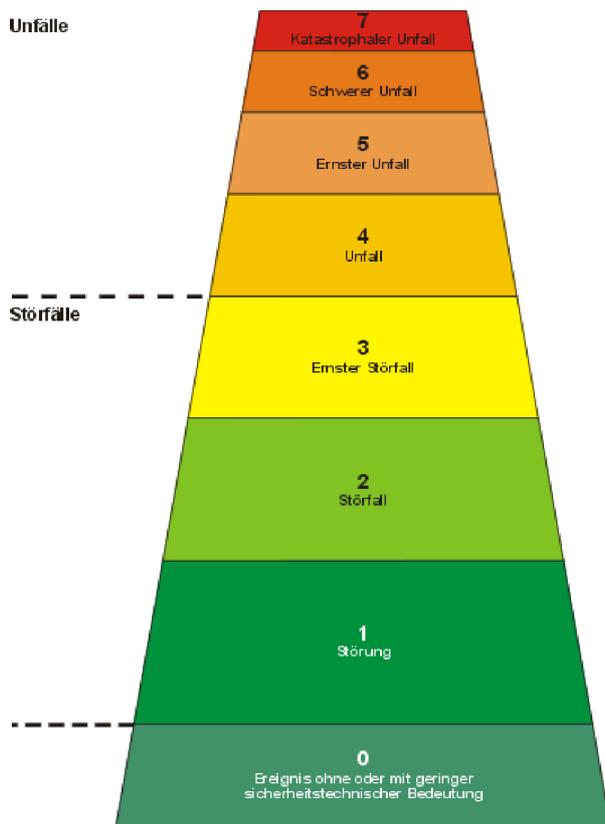
Null: sagt aus, dass sich das Atomkraftwerk im Normalbetrieb befindet und keine Fehler aufgetreten sind. Der höchste Wert in dieser Skala ist Sieben. Dabei ist sehr viel Radioaktivität frei geworden und Menschen die sich in der Umgebung aufhalten, merken Auswirkungen. Der Wert sieben, wurde zweimal angegeben. Das erste Mal im Jahr 1986 bei der Tschernobyl Katastrophe und das zweite Mal, im Jahr 2011 während der Katastrophe von Fukushima in Japan.

⁵⁵ Bundesamt für Strahlenschutz, (2008), Seite 28

⁵⁶ Bundesamt für Strahlenschutz, (2008), Seite 28

⁵⁷ Rieth U., Kanisch G., (2011), Seite 31

Abbildung 6: INES-Skala.⁵⁸



In dieser Abbildung kann man die INES Skale sehen, die in sieben Stufen unterteilt ist und die schwere des Fehlers in einem Atomkraftwerk beschreibt. Wobei Null der Normalbetrieb und sieben eine Katastrophe darstellt.

4.6 Deutsches Gesetz zur Bestrahlung von Lebensmitteln:

Nach deutschem Recht ist die Bestrahlung lediglich mit UV-Strahlung von Lebensmitteln zugelassen. Es sind auch nur bestimmte Lebensmittel zugelassen, die bestrahlt werden dürfen, wie Trinkwasser, Käse, Obst und Gemüse. Andere Lebensmittel dürfen nicht bestrahlt werden. Bei importierten Waren aus dem Ausland, müssen Genehmigungen vom Bundesministerium für Gesundheit eingeholt werden. Die Bestrahlung soll bewirken, dass Mikroorganismen, die sich auf Lebensmitteln befinden abgetötet werden, jedoch darf das Lebensmittel nicht beeinträchtigt oder geschädigt werden.⁵⁹

⁵⁸ Abb. 7: Bundesamt für Strahlenschutz, (2011), http://www.bfs.de/de/kerntechnik/papiere/japan/strahlenschutz_japan.html, [Letzter Zugriff: 28.10.2011, 13:51 Uhr]

⁵⁹ Baltus W., (2007), Seite 161

4.7 Grenzwerte:

Ab dem Jahr 1986 wurden Grenzwerte für Radioaktivität in Lebensmitteln beschlossen. Zuvor gab es lediglich Grenzwerte für die Belastung von Menschen, die bei 1,5 mSv lag. Personen, die aus beruflichen Gründen mit radioaktiven Stoffen zu tun hatten, durften bis zu einer Dosis von 50 mSv ausgesetzt sein. Seit dem Jahr 2001, wurden diese Grenzwerte von der ICRP überarbeitet. Seit dieser Zeit darf die Bevölkerung nur noch einer Dosis von 1,0 mSv und berufliche Personen bis 20 mSv ausgesetzt sein. Diese Werte sind nicht endgültig, weil jedes Land diese Werte kurzzeitig nach oben setzen kann, bis auf 50 bis 500 mSv. Dies ist besonders für Katastrophen vorgesehen, damit die Evakuierungszone kleiner gehalten werden kann, jedoch gelten diese Werte maximal 3 Monate. Sollte diese Werte sich danach immer noch nicht senken, so gelten die allgemeinen Grenzwerte wieder.⁶⁰

Die Europäische Union hat die Verordnung 733:2008 in Bezug auf den Unfall von Tschernobyl verfasst. Dort in Artikel 2 Absatz 2 a und b lautet es:

„a: 370 Bq/kg für Milch und Milcherzeugnisse, die in Anhang II aufgeführt sind, sowie für Lebensmittel für die Ernährung speziell von Säuglingen während der vier bis sechs ersten Lebensmonate, die für sich genommen dem Nahrungsbedarf dieses Personenkreises genügen und in Packungen für den Einzelhandel dargeboten werden, die eindeutig als Zubereitungen für Säuglinge gekennzeichnet und etikettiert sind

b: 600 Bq/kg für alle anderen betroffenen Erzeugnisse“⁶¹

Dieses Zitat bedeutet, dass die Verordnung im Jahr 2008 geändert angepasst wurde. So haben sich die Grenzwerte geändert. Für Milch, Milchprodukte und Babynahrung, gilt ein Grenzwert von 370 Bq / Kg. Für sonstige Lebensmittel ein Grenzwert von 600 Bq / Kg.

Im Jahr 2010 hat die Europäische Kommission Werte für bestimmte Radionuklide in Lebensmitteln festgelegt, die in folgender Tabelle dargestellt werden.

⁶⁰ Diehl J. F., (2003), Seite 157

⁶¹ Amtsblatt der Europäischen Union, Verordnungen, 733:2008 (2008)

Tabelle 5: Vergleich von Grenzwerten für Radionuklide betroffener Regionen für Lebensmittel in [Bq/Kg]:⁶²

Lebensmittel	Cäsium-134 und Cäsium-137	Iod-131	Plutonium-239	Strontium-90
Milch und Milchprodukte	200/1.000/370	300/500	1/20	125
Fisch und Meeresfrüchte	500/1.250/600	2.000	10/80	750
Getränke	200/1.000	300/500	1/20	125
Futtermittel	500	2.000	X	X

Schwarz: Allgemeine Grenzwerte

Grün: Kurzzeitige Notverordnung nach der Katastrophe in Japan (Fukushima)

Blau: Nach der Katastrophe von Tschernobyl

Wie man der Tabelle entnehmen kann, galten seit dem Jahr 1986 Grenzwerte, die in der Tabelle in blau gefärbt sind. Es betraf jedoch besonders Cäsium in Milch, Milchprodukten und in Fisch und Fischerzeugnissen, da Cäsium beim Reaktorunglück von Tschernobyl in größeren Mengen ausgeschüttet wurde und durch die lange physikalische Halbwertszeit ist es auch Jahre später noch nachweisbar. Nach der Katastrophe von Fukushima im März 2011, wurden per Notverordnung die Grenzwerte für die Radionuklide nach oben gesetzt. Diese sind in der Tabelle grün markiert. Die Erhöhung, ist für kurze Zeit möglich und es entstehen dabei keine Schäden. Am 08.04.2011 wurden die Grenzwerte wieder nach unten gesetzt, auf die Werte, die schwarz sind.

Foodwatch und das Umweltinstitut München e.V. haben am 29.03.2011 eine gemeinsame Veröffentlichung herausgegeben, in der die EU-Grenzwerte in der EU-Eilverordnung (297:2011), die am 27.03.2011 in Kraft gesetzt wurde für Produkte aus Japan angehoben wurden und die Öffentlichkeit wurde darüber nicht informiert. So galten vor dieser

⁶² Tab. 6: Verbraucherzentrale Hamburg, (2011 b)

Verordnung EU-Weit Grenzwerte, wie 370 Bq / Kg für Säuglingsnahrung und Milchprodukte, sowie 600 Bq / Kg für andere Lebensmittel. Diese Werte sind in der EU-Verordnung 733:2008 geregelt. Diese Werte wurden in 400 Bq / Kg Säuglingsnahrung, 1.000 Bq / Kg Milch und Milchprodukte und 1.250 Bq / Kg für andere Lebensmittel geändert. Unbedeutende Lebensmittel, wie Gewürze, dürfen Werte bis zu 12.500 Bq / Kg besitzen.

Doch man ist der festen Überzeugung, dass für den Verbraucher keine Gefahren bestehen. Nach der Tschernobyl-Katastrophe im Jahre 1986, wurde ein Jahr später die Verordnung 3954:1987 erlassen, die besagt, dass die Grenzwerte für kurze Zeit (3 Monate) erhöht werden dürfen, damit keine Nahrungsengpässe entstehen. Da Japan kein großes Exportland ist und nur etwa 0,1% der gesamten Waren, die in Deutschland ankommen aus Japan stammen, ist die Kritik an der Grenzwertenerhöhung gerechtfertigt.⁶³

Etwa einen Monat später, Anfang April, hatte die Bundesregierung angekündigt, die erhöhten EU-Grenzwerte die in der Eilverordnung beschlossen worden sind, wieder zu senken.⁶⁴

⁶³ Rücker M., Hacker C., (2011), http://foodwatch.de/presse/pressearchiv/2011/atom_katastrophe_in_japan/index_ger.html, [Letzter Zugriff: 28.10.2011, 13:13 Uhr]

⁶⁴ Foodwatch, (2011), http://www.foodwatch.de/kampagnen__themen/radioaktivitaet/nachrichten/grenzwerte/index_ger.html, [Letzter Zugriff: 28.10.2011, 14:11 Uhr]

Tabelle 6: Wichtige Dosis- und Grenzwerte: ⁶⁵

Dosis	
0,01 mSv pro Jahr	Höchste jährliche Dosis einer Person im Umkreis eines Kernkraftwerks unter Normalbedingungen
0,01-0,03 mSv	Dosis bei einer Röntgenaufnahme des Brustkorbs (Thorax)
Bis zu 0,1 mSv	Dosis durch Höhenstrahlung bei einem Flug von München nach Japan
1 mSv pro Jahr	Grenzwert (maximal zulässige Dosis) für die jährliche Strahlenexposition einer Person der Normalbevölkerung aus Tätigkeiten, u.a. aus dem Betrieb kerntechnischer Anlagen in Deutschland
2 mSv pro Jahr	Durchschnittliche jährliche Dosis einer Person in Deutschland aus künstlichen Quellen, vornehmlich Medizin (Wert für 2009 = 1,8 mSv)
2 mSv in 50 Jahren	Gesamte Dosis für eine Person im Voralpengebiet auf Grund des Reaktorunfalls von Tschernobyl für den Zeitraum 1986-2036
2-3 mSv pro Jahr	Durchschnittliche jährliche Strahlenexposition der Bevölkerung in Deutschland aus natürlichen Quellen
10-20 mSv	Ungefähre Dosis für eine Ganzkörper-Computertomographie eines Erwachsenen
20 mSv pro Jahr	Grenzwert (maximal zulässige Dosis) der jährlichen Strahlenexposition für beruflich strahlenexponierte Personen in Deutschland
100 mSv	Schwellendosis für angeborene Fehlbildungen oder Tod des Foetus
100 mSv	Bei dieser Dosis treten in einer Bevölkerungsgruppe etwa 1% zusätzliche Krebs- und Leukämiefälle auf
250 mSv	Grenzwert (maximal zulässige Dosis) für eine Person beim Einsatz lebensrettender Maßnahmen oder zur Vermeidung großer Katastrophen in Deutschland
400 mSv	Grenzwert (maximal zulässige Dosis) für die Berufslebensdosis bei beruflich strahlenexponierten Personen in Deutschland
500 mSv*	Bei akuter Exposition treten ab dieser Schwellendosis Hautrötungen auf
1000	Bei akuter Exposition treten ab dieser Schwellendosis akute Strahleneffekte auf

⁶⁵ Tab. 3: Bundesamt für Strahlenschutz, (2011),

http://www.bfs.de/de/kerntechnik/papiere/japan/strahlenschutz_japan.html, [Letzter Zugriff: Zugriff: 28.10.2011, 13:51 Uhr]

mSv*	(zum Beispiel Übelkeit, Erbrechen)
1000 mSv	Bei dieser Dosis treten in einer Bevölkerungsgruppe etwa 10% zusätzliche Krebs- und Leukämiefälle auf
3000 – 4000 mSv	Ohne medizinische Eingreifen sterben bei dieser Dosis 50% der exponierten Personen nach 3-6 Wochen, wenn es sich um eine in kurzer Zeit erfahrene Strahlenbelastung handelt
> 8.000 mSv	Sicherer Tod

* Um die Vergleichbarkeit mit den ansonsten in Sievert (Sv) angegebenen Messwerten zu ermöglichen, ist der Wert hier ebenfalls in Sievert angegeben; wissenschaftlich präziser wäre die Angabe in Gray (Gy).

4.8 Nord- und Ostsee:

Der Nachweis von Radioaktivität in der Nord- und Ostsee hat mehrere Ursachen. Es ist möglich, dass man noch geringe Spuren von Radionukliden aus den Atomwaffentests der 50er und 60er Jahre nachweisen kann. Des Weiteren, gelangte radioaktiver Fallout durch die Katastrophe von Tschernobyl in die Nord- und Ostsee, sowie die Ableitung von geringen Mengen Radioaktivität aus Kernkraftwerken.

Durch Meeresströmungen, überbrückten Radionuklide mit langen physikalischen Halbwertszeiten längere Entfernungen.

Durch den Golfstrom, gelangte auch Radioaktivität in die Nordsee.

Aufgrund internationaler Proteste, gegen das weitere Einleiten von Radionukliden aus den Wiederaufbereitungsanlagen, sanken die Werte im Vergleich zu den 70er Jahren stark.

In der Ostsee konnte man bereits vor dem Unglück von Tschernobyl radioaktive Stoffe nachweisen, die aus dem globalen Fallout der Atomtests waren. Durch Tschernobyl, erhöhten sich die Werte, da die Ostsee keinen schnellen Wasseraustausch erfährt, wie die Nordsee in den Atlantischen Ozean. Es wird angenommen, dass der vollständige Wasseraustausch der Ostsee etwa bei 20 bis 30 Jahren liegt.⁶⁶

Das Eingreifen des Menschen in die Natur, verstärkt die Radioaktivität, besonders durch das Fördern von Erdöl und Gasvorkommen aus dem Erdinneren. In diesen beiden fossilen Brennstoffen, befinden sich ebenfalls radioaktive Stoffe, die der Mensch an die Oberfläche

⁶⁶ Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (BMU), (2008), Seite 61

befördert, wie Uran, Radium und Radon.

Vor allem durch die Verbrennung von Öl und Benzin, kommt es zur Freisetzung größerer Mengen Radioaktivität.⁶⁷

Ein Jahr nach dem Unglück von Tschernobyl, lagen die Werte von Cäsium-137 in Süddeutschland dreimal höher, als in Norddeutschland. Auch Untersuchungen der Nord- und Ostsee haben ergeben, dass die Cäsium-Konzentration zeitweise bei 15 Bq / Kg Fisch gemessen wurde. Nach einiger Zeit, nahmen die Werte wieder ab, der Grund dafür lag wahrscheinlich an den Wiederaufbereitungsanlagen, die keine Radionuklide ins Meerwasser ableiten durften.⁶⁸

Es gibt einen Unterschied zwischen Fließenden- und stehenden Gewässern. Während sich die Konzentration, von Cäsium-137 in fließenden Gewässern schneller gesenkt hat, dauert es bei stehenden deutlich länger, weil es dort keinen Abtransport gibt, der die Radionuklide in größere Wassermassen verteilt und durch den Verdünnungseffekt sind die Werte unter der Nachweisgrenze.⁶⁹

Die höchsten Werte, gelangten durch den Tschernobyl-Unfall in die Ostsee. Das hauptverantwortliche Radionuklid bildet dabei das Cäsium-137. In der Nordsee ist bereits seit mehreren Jahren die Nachweisgrenze unterschritten.⁷⁰

Am 04.08.2011, wurde Bekanntgegeben, dass die Wiederaufbereitungsanlage Sellafield im Nordwesten Englands stillgelegt werden soll. Der genaue Zeitpunkt steht noch nicht fest, aber diese Wiederaufbereitungsanlage hatte in letzter Zeit keine Aufträge mehr erhalten, weil sie vor allem Brennstäbe aus Japan erhalten hatte. Durch die Katastrophe von Fukushima wurden Konsequenzen gezogen.⁷¹

⁶⁷ Rieth U. Kanisch G., (2011), Seite 31

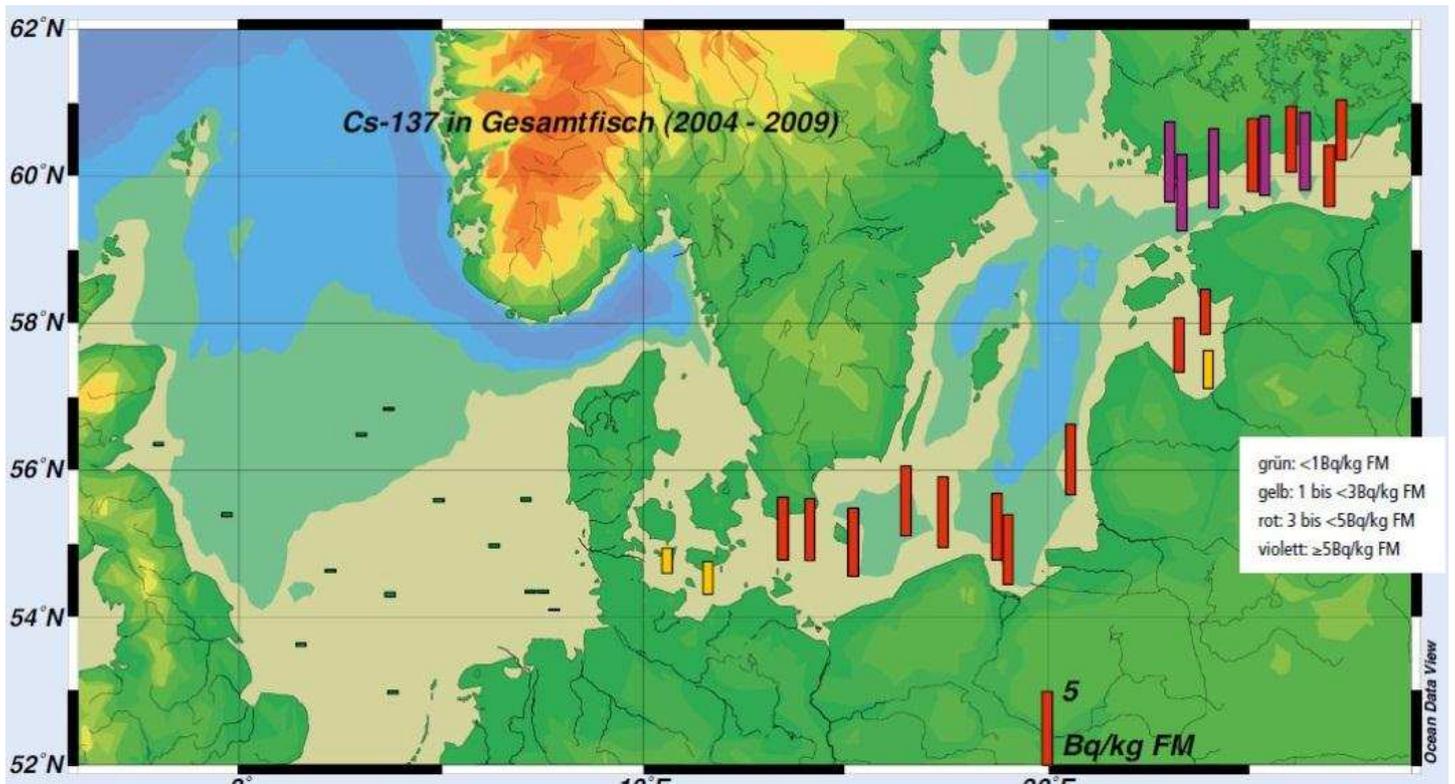
⁶⁸ Diehl J. F., (2003), Seite 109 ff.

⁶⁹ Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (BMU), (2008), Seite 66

⁷⁰ Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (BMU), (2008), Seite 69

⁷¹ Handelsblatt, (2011), <http://www.handelsblatt.com/politik/international/sellafield-ist-den-briten-zu-riskant/4462684.html>, [Letzter Zugriff: 28.10.2011, 14:14 Uhr]

Abbildung 7: Mittelwerte von Cäsium-137 Konzentrationen im Gesamtfisch der Nord- und Ostsee, in den Jahren 2004 bis 2009:⁷²



Auf dieser Abbildung 21 sieht man, dass die Werte für Cäsium-137 in der Nordsee, in den Jahren 2004 bis 2009 kaum sichtbar sind, dagegen in der Ostsee findet man höhere Messwerte, die auf die Tschernobyl Katastrophe zurückzuführen sind. Außerdem gibt es keinen guten Wasseraustausch in der Ostsee, was zwangsläufig dazu führt, dass die Konzentration über längere Zeit bestehen bleibt und nur langsam abnimmt.

Die Werte in der Nordsee befanden sich in diesem Zeitraum unter 1 Bq pro Feuchtmasse Fisch. Die roten Balken bedeuten, dass sich die Cäsium-137 Konzentrationen zwischen 3 bis 5 Bq / Kg Feuchtmasse befinden und violett liegt über 5 Bq / Kg Feuchtmasse Fisch.

4.9 Atomkraftwerke in Deutschland:

Um Energie im Atomkraftwerk produzieren zu können, muss als erstes das spaltbare Material gewonnen werden. Die Brennstäbe bestehen in den meisten Kraftwerken aus dem radioaktiven Uran-235. Da Uran natürlich vorkommt, wird es in Bergwerken als Uranerz gefördert. Jedoch besteht dieses Natur-Uran zu 99,2742% aus dem Uran-238 und nur zu

⁷² Abb. 8: Rieth Dr. U., Kanisch G., (2011), Seite 32

0,7204% aus dem gewünschten Uran-235. D. h. durch aufwendige Anreicherungs- und Trennprozesse wird die Konzentration, bis auf etwa 3% erhöht. Im Groben nutzt dieses Verfahren die Massenunterschiede durch Zentrifugen aus. Das Resultat ist Urandioxid (UO₂) in Pulverform. Dieses Pulver wird in Tablettenform gepresst und in Metallröhren gesammelt, die später als Brennstäbe fungieren.⁷³

Zwischen den Brennstäben müssen sich Kontrollstäbe befinden, die in der Lage sind Neutronen aufzufangen. Würden bei den Kernspaltungen zu viele Neutronen gleichzeitig entstehen, würde die Energiegewinnung zu schnell voranschreiten und es könnte zur Explosion führen.⁷⁴

Der Vorteil von Uran ist, dass es einen schweren Kern besitzt, der viele Neutronen und Protonen im Atomkern beinhaltet. Dadurch sind die Abstoßungskräfte zwischen den Protonen relativ groß und es genügt ein Beschuss mit Neutronen, um den Kern zu spalten. Dabei hat man wenig Energie eingesetzt und erhält mehr Energie bei der Spaltung. Einige Spaltprodukte sind Barium, Krypton und weitere, aber auch Neutronen entstehen. Es hängt davon ab, an welcher Stelle das Neutron den Uran Kern trifft, so entstehen nicht immer die gleichen Produkte.⁷⁵

Des Weiteren entsteht bei der Kernspaltung Wärme, die das umgebende Wasser erwärmt und Wasserdampf erzeugt. Dieser Dampf wird durch Turbinen geleitet und somit aus der Bewegungsenergie elektrischer Strom gewonnen.⁷⁶

Im Jahr 2011 sind in Deutschland 17 Kernkraftwerke noch in Betrieb. Sie haben im Jahr 2010 eine Bruttostromerzeugung von 140,6 Milliarden kWh erzeugt, was ca. 11% der Gesamtenergie in Deutschland ausmacht.⁷⁷

⁷³ Hünten M., Pfenning R., (1996), Seite 69

⁷⁴ Mortimer, C. E., Müller, U., (2010), Seite 658 ff.

⁷⁵ Hünten M., Pfenning R., (1996), Seite 69

⁷⁶ Microsoft® Encarta® 2009 [DVD] „Kernenergie“

⁷⁷ Marx D. H., (2011),

http://www.kernenergie.de/kernenergie/Themen/Kernkraftwerke/Kernkraftwerke_in_Deutschland/, [Letzter Zugriff: 28.10.2011, 14:18 Uhr]

4.10 Hamburg:

Bereits im Jahre 1961 hat das Hygiene Institut die Überwachung der Radioaktivität in Hamburg begonnen. Die Aufgaben bestanden darin, radioaktive Stoffe in Lebensmitteln und der Umwelt zu analysieren. Im Jahre 1957 wurde auf europäischer Ebene die Atomgemeinschaft „Euratom“ gegründet. Der Grund dafür war die starke radioaktive Strahlung durch die Atomtests in der Zeit zwischen 1951 und 1963.⁷⁹

Wie Abbildung 5 zeigt, wurde Hamburg durch Tschernobyl nicht so stark mit Cäsium-137 belastet, wie andere Teile Deutschlands. Auch heutzutage ist die radioaktive Belastung in der Hansestadt gering.

4.10.1 Hamburger Hafen:

Die einzige Kontamination die zu erwarten wäre, könnte durch Importe aus Japan ausgehen. Jedoch gelangen keine radioaktiven Lebensmittel in den Hamburger Hafen. Die Importe aus Japan und Umgebung sind zwar sehr gering, im Vergleich zu anderen Ländern, aber auch nach intensiven Untersuchungen, unterschreiten die Lebensmittel die Grenzwerte deutlich. Dies wurde vom Institut für Hygiene und Umwelt im Mai 2011 mitgeteilt.⁸⁰

Darüber hinaus müssen Lebensmittel aufgrund der Haltbarkeit aus Japan per Flugzeug transportiert werden. Diese Waren kommen am Frankfurter Flughafen an, wo sie vom Deutschen Zoll geprüft werden.

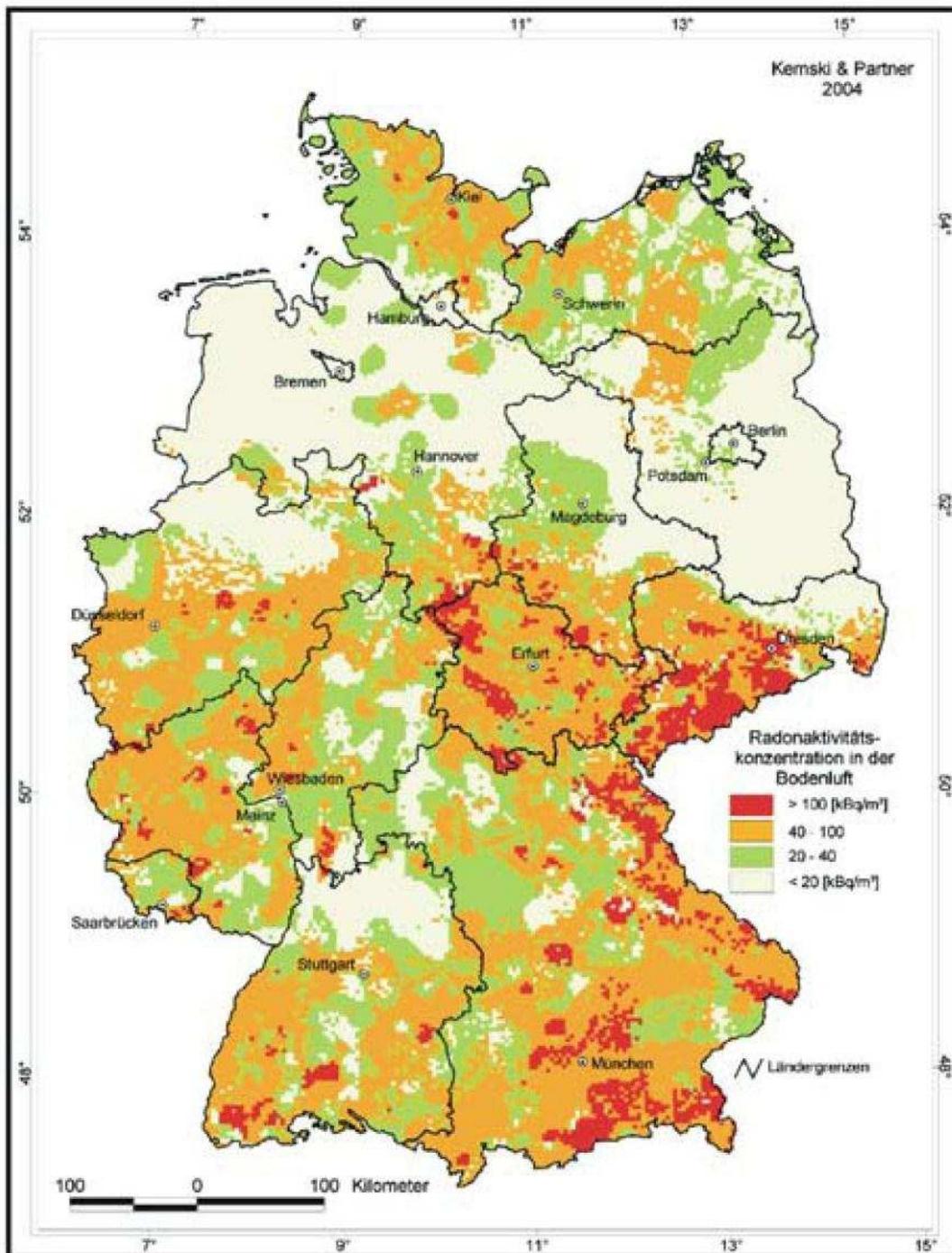
4.11 Radonkonzentration in Bodennähe:

Radon ist ein Edelgas, welches radioaktiv ist und ein Zerfallsprodukt aus der Uranzerfallsreihe. Somit handelt es sich um eine natürliche Strahlenexposition, die aber nicht ungefährlich sein muss. Da es gasförmig ist, gelangt es durch Spalten und Risse im Boden an die Oberfläche und macht einen großen Teil der natürlichen Strahlenbelastung aus. Es gibt Regionale Unterschiede in der Konzentration, die von den Uranvorkommen abhängt. Die folgende Deutschlandkarte zeigt Radonkonzentrationen, die sich in Bodennähe befinden.

⁷⁹ Bärle P., (2006), Seite 3

⁸⁰ Schmidt R., (2011), Seite 1

Abbildung 9: Radon-222 Konzentrationen in Deutschland in Bodennähe:⁸¹



Auf dieser Abbildung 20 kann man die Konzentration von Radon-222 in Bodennähe erkennen. Man sieht, dass die Konzentration in Südost Deutschland, in Dresden und Bayern, an der Tschechischen Grenze am höchsten ist. Die Werte liegen über oder gleich 100 Bq pro Kubikmeter. Nördlich der Mitte Deutschlands, in den Bundesländern, Niedersachsen,

⁸¹ Abb. 10: Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (BMU), (2008), Seite 17

Bremen, Hamburg, Sachsenanhalt, Berlin und Brandenburg, liegen die niedrigsten Konzentrationen, mit unter $20 \text{ Bq} / \text{m}^3$. Nördlich davon, d. h. in Schleswig-Holstein und Mecklenburg Vorpommern, liegen die Werte im Mittelmaß, zwischen unter 20 bis $100 \text{ Bq} / \text{m}^3$ und vereinzeln Gebiete über $100 \text{ Bq} / \text{m}^3$, die mit Radon belastet sind.

Es ist festgestellt worden, dass bereits $100 \text{ Bq} / \text{m}^3$ Raumluf, das Risiko an Lungenkrebs zu erkranken um 16% steigern.⁸²

4.12 Bundesamt für Strahlenschutz (BfS):

Das BfS ist eine Institution, die Aufgabenfelder der Wissenschaft nach gesetzlichen Regelungen prüft. Dazu gehört auch die Radioaktivität, die regelmäßig untersucht wird. Dabei wird die sogenannte γ -Ortsdosisleistung (ODL), mit Deutschlandweit 1.940 Messstellen betrieben. Diese Messstellen fungieren auch als Frühwarnsystem. Auf der Internetseite vom BfS, besteht die Möglichkeit aktuelle Daten des ODL zu erhalten.

<http://odlinfo.bfs.de/> [Letzter Zugriff: 02.11.2011, 12:44 Uhr]

Dort ist eine Deutschlandkarte abgebildet mit den jeweiligen Messstellen. Beim Klicken auf einen Punkt, erscheint die aktuelle γ -Ortsdosisleistung, die an dieser Stelle gemessen wird.⁸³

5. Katastrophe in Tschernobyl 1986:

Am 26.04.1986 ereignete sich in der damaligen Sowjetunion, später Ukraine, an der Grenze zu Weißrussland und Russland das Unglück von Tschernobyl. Das Atomkraftwerk Tschernobyl befindet sich in der Ukraine etwa 100 Kilometer von der Hauptstadt Kiew entfernt.

5.1 Allgemeine Informationen zu Tschernobyl:

Das Kernkraftwerk Tschernobyl ging 1974 ans Netz und geplant war, es zu dem größten Atomkraftwerk der Welt zu machen. Bauarbeiter sollten noch einen fünften und sechsten Reaktor bauen, der 1988 fertiggestellt sein sollte. Doch die Frist wurde verkürzt und der Bau sollte so schnell wie möglich fertiggestellt werden. Dabei standen nur minimale Material Ressourcen zur Verfügung.

Am 25.04.1986, um 13:00 Uhr beginnen die Mitarbeiter des Kernkraftwerks mit einem Test,

⁸² Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (BMU), (2008), Seite 18

⁸³ Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (BMU), (2008), Seite 35

bei dem die Leistung auf 25% der Gesamtleistung heruntergefahren wird. Dabei sollen die Sicherheitssysteme getestet werden, ob sich diese In Gang setzen. Eine Stunde später werden Notkühlungssysteme abgeschaltet. Kurze Zeit später kommt ein Auftrag, der besagt, dass am selben Tag am Abend mehr Energie benötigt wird. Daraufhin muss der Test verschoben werden, um die geforderte Energie liefern zu können. In der Nacht, am 26.04.1986, um 00:30 Uhr, erreicht der Reaktor eine Leistung von einem Prozent, was verboten ist, weil es eine Gefährliche Situation darstellt. Ab dieser Zeit versuchen die Arbeiter den Wert von 25% per Hand wieder herzustellen. Dazu wurden die Bremsstäbe aus dem Reaktor weiter herausgezogen, sodass sich schließlich nur noch 6 bis 8 Bremsstäbe im Reaktor befanden. Laut Vorschriften liegt das Minimum bei 15 Bremsstäben, die immer vorhanden sein müssen. Die Wasserzuleitung, war um das Dreifache erhöht. Um 01:23 Uhr des 26.04.1986, wird der Reaktor instabil, weil die Leistung stark ansteigt und der Leiter betätigt daraufhin die Notabschaltung. Doch die Leistung ist zu schnell angestiegen und befindet sich bereits deutlich über der Normalleistung. 01:24 Uhr beginnt das Uran, welches sich in den Brennstäben befindet zu schmelzen. Durch die mehrere tausend Grad Celsius heiße Uranmasse, verdampft die Kühlflüssigkeit und der entstandene Druck sprengt die Abdeckung des Reaktors in Block 4. Aus diesem Grund entstehen mehrere Brände, vor allem des Graphits. Der heiße Graphit lässt weiteres Wasser verdampfen und es entsteht Wasserstoff, welches zu einer weiteren Explosion führt. Die zweite Explosion war so stark, dass viele Radionuklide mehrere Kilometer in die Luft befördert wurden. Da sich das Kernkraftwerk an der Grenze zu Weißrussland und Russland befindet, wurden diese 3 Staaten am stärksten belastet. Alle Brennstäbe umfassten eine Masse von 190 Tonnen Material. Davon wurden geschätzte 6 Tonnen in die Luft freigesetzt. Unterschiedliche Quellen, berichteten von einer Freisetzung zwischen 13 bis 30% der Radionuklide. Der Hauptbestandteil bildet das Iod-131, gefolgt von Cäsium-137, aber auch Xenon und Krypton wurden frei, weil es sich dabei um Edelgase handelt, die entwichen sind. In geringeren Mengen sind auch Strontium-90 und Plutonium in die Umwelt gelangt. Am folgenden Tag wurden die Menschen aus der Nahegelegenen Stadt Pripjat aufgefordert die Umgebung innerhalb 30 Kilometern um das Kraftwerk zu verlassen. Dies betraf etwa 340.000 Menschen.

Drei Tage nach dem Unfall, kam in Deutschland die Nachricht an, dass in der ukrainischen Stadt Tschernobyl, das gleichnamige Atomkraftwerk explodiert sei. Doch weitere Informationen bleiben aus.

Am 30.04.1986 (4 Tage nach der Katastrophe) wurden Werte in Berlin von 0,04 Bq pro Stunde Iod-131 und 0,02 Bq pro Stunde Cäsium-137 gemessen. Der Grenzwert lag bei 4 Bq.

Weitere Probenentnahmen der Luft in der DDR, haben ergeben, dass die Werte rückläufig sind. So hat eine Messung am 30.04.1986 einen Wert von 460 mBq pro Kubikmeter Luft ergeben, so waren es am 01.05.1986 noch 210 mBq pro Kubikmeter Luft und am 02.05.1986 noch 96 mBq pro Kubikmeter Luft. Durch solche Aussagen wurde die Bevölkerung beruhigt und weitere Details blieben geheim. 10 Tage nach der Katastrophe wurden 5.000 Tonnen Sand, Blei, Lehm, Bor und Stickstoff aus Helikoptern über dem Gelände abgelassen, was die austretende Radioaktivität eindämmen sollte.

Einige Jahre nach der Katastrophe zerfiel der Sarkophag, weil Arbeiter ihn schnell als Schutz vor der Radioaktivität errichtet hatten.^{84 85 86}

25 Jahre nach der Katastrophe von Tschernobyl sind einige Gebiete immer noch Radioaktiver Strahlung ausgesetzt, so auch Lebensmittel und landwirtschaftliche Flächen.⁸⁷

⁸⁴ Greenpeace, (2006), <http://www.greenpeace-berlin.de/tschernobyl/tagx.html>, [Letzter Zugriff: 28.10.2011, 14:42 Uhr]

⁸⁵ Bundesamt für Strahlenschutz, (2011 b), Seite 7

⁸⁶ Tait D., Roos N., (2011), Seite 27

⁸⁷ Greenpeace, (2011),

<http://www.greenpeace.org/austria/de/themen/atom/probleme/atomunfaelle/tschernobyl/25-Jahre-Tschernobyl/>, [Letzter Zugriff: 28.10.2011, 14:45 Uhr]

Abbildung 10: Radioaktive Ausbreitung von Tschernobyl über Europa:⁸⁸



Ausbreitung der radioaktiven Wolken in der Zeit vom 27. April bis 6. Mai 1986

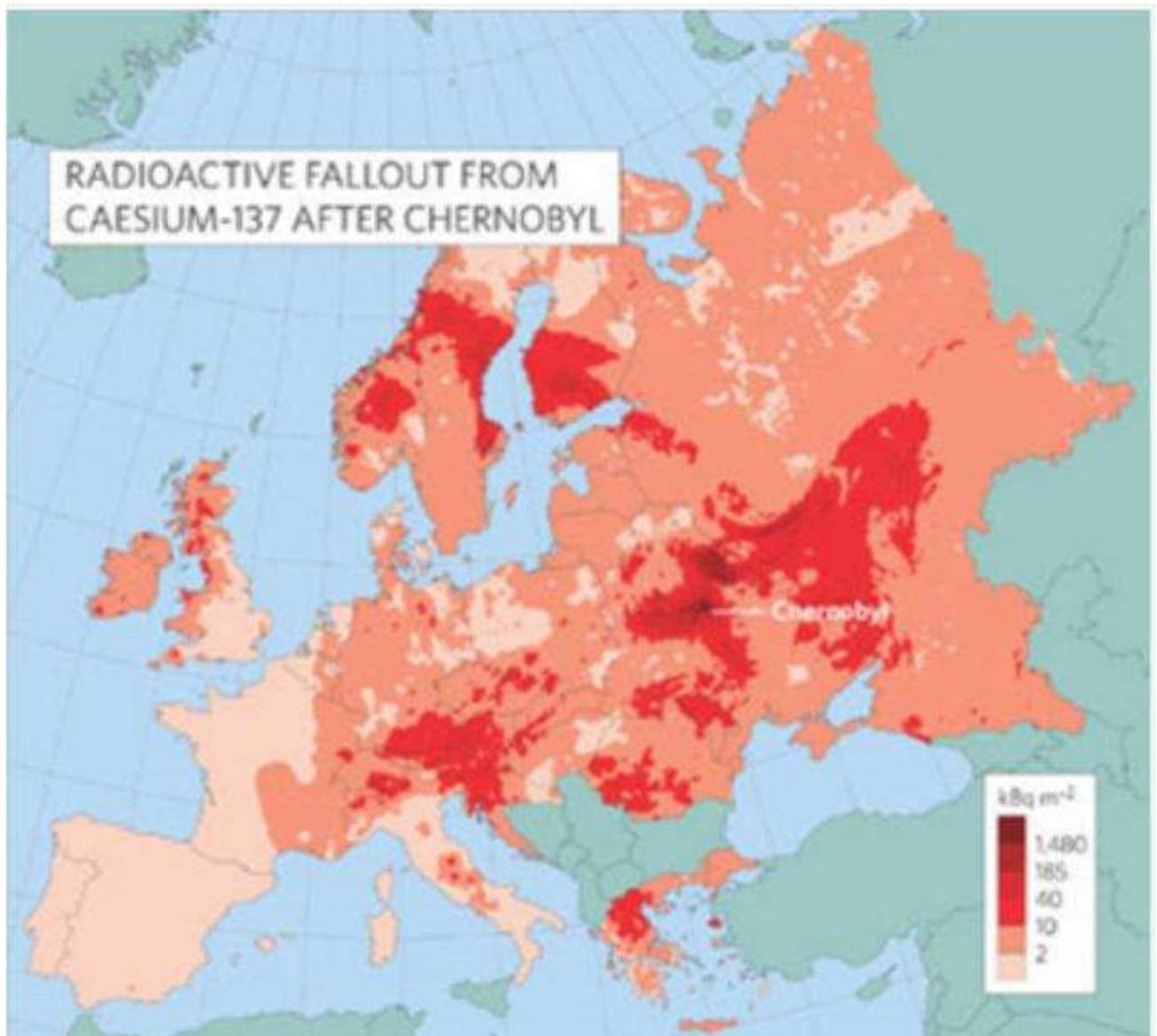
Auf dieser Abbildung kann man die Ausbreitung der radioaktiven Stoffe von Tschernobyl über Europa erkennen. Der Standort des Atomkraftwerks Tschernobyl ist mit einem roten Punkt gekennzeichnet. Die gelben Pfeile beschreiben den Weg der Radioaktivität, die aufgrund der meteorologischen Verhältnisse sich auf diese Art ausgebreitet hat.

Es ist ersichtlich, dass sich große Mengen nach Westen und Nordwesten bewegt haben. Aus diesem Grund, war die radioaktive Kontamination in Südbayern (München) und in den Skandinavischen Staaten derart hoch. Da sich die meisten Radionuklide bereits in Süddeutschland abgelagert haben, gelangten nur geringe Spuren nach Norddeutschland. Außerdem kann man der Karte entnehmen, zu welcher Zeit die radioaktive Wolke sich wo

⁸⁸ Abb. 11: Bundesamt für Strahlenschutz, (2011 b), Seite 5

befunden hat. So lässt sich ablesen, dass die Wolke zwischen dem 30.04 und 01.05 nach Deutschland gelangt ist.

Abbildung 11: Auswirkungen der Tschernobyl-Katastrophe auf Europa aufgrund von Cäsium-137.⁸⁹



Diese Abbildung zeigt die Ausbreitung des Radionuklids Cäsium-137, welches das bedeutendste in dieser Katastrophe war, weil am meisten davon freigesetzt wurde und durch die geringe Dichte und relativ lange Halbwertszeit kann es auch weite Entfernungen überbrücken. Der Ort, wo sich das Kernkraftwerk Tschernobyl befindet, ist auf dieser Karte eingezeichnet und die Umgebung ist stark belastet. Auch Teile Süddeutschlands, sowie Österreich sind davon betroffen.

⁸⁹ Abb. 12: Brake M., Heise C., (2011), <http://www.heise.de/tp/artikel/34/34616/1.html>, [Letzter Zugriff: 28.10.2011, 14:57 Uhr]

6. Katastrophe in Fukushima 2011:

Um 14:46 Uhr japanischer Zeit, gab es ein Erdbeben vor der Ostküste. Dieses hatte ein Tsunami zur Folge, der am 11.03.2011 die Ostküste Japans traf, wo sich auch das Kernkraftwerk Fukushima befindet, und führte dazu, dass die Stromversorgung der Pumpen und die Notstromaggregate ausgefallen sind. Dadurch kam es in den Blöcken Fukushima 1, 2 und 3 zu mehreren Explosionen. Der Grund dafür könnte auf Bildung von Wasserstoff und Wasserdampf zurückzuführen sein. Dies führte dazu, dass sich die Brennstäbe auf mehrere tausend Grad Celsius erhitzt haben und geschmolzen sind. D. h. es ereignete sich eine Kernschmelze. Kurze Zeit nach der Katastrophe, wurden auf dem Gelände des Kernreaktors Werte von 400 bis 500 mSv pro Stunde gemessen.⁹⁰ Am 15.03.2011 wurden am Haupttor des Kraftwerks Spitzenwerte bis zu etwa 12.000 µSv gemessen. Ein Tag später betragen die Werte noch ca. ein Zehntel, mit 1.300 µSv. Der Durchschnitt lag bei 3.000 bis 4.000 µSv.⁹¹

Nach der Katastrophe wurde die Evakuierung der Umgebung eingeleitet. Sie umfasste einen Sperrkreis von 30 Kilometern um das Kernkraftwerk herum. Es gibt keine Vorschriften, welche Entfernung die Bevölkerung einhalten muss. Es hängt individuell von der Katastrophe ab, welche Gebiete hoch Belastet sind.

Die Entscheidung trifft die Katastrophenschutzbehörde.⁹²

Japan ist im Allgemeinen kein Exportland. Nach Europa gelangt nur ein kleiner Teil der ohnehin kleinen Menge exportierter Waren. Außerdem müssen alle Lebensmittel aus Japan Messergebnisse auf Radioaktivität enthalten. Der Deutsche Zoll macht dennoch eine Nachkontrolle. So kann man sicher sein, dass keine radioaktiv belasteten Lebensmittel nach Deutschland bzw. nach Europa gelangen. Aus der Gesamtheit, der Waren, die nach Deutschland importiert werden, entspricht der Import aus Japan unter 0,1%.

Die Waren, die Japan exportiert, sind hauptsächlich: Würzsoßen, Wein, Tee und Backwaren.⁹³ Des Weiteren werden in Deutschland jährlich etwa 900.000 t Fisch importiert.

⁹⁰ Bundesamt für Strahlenschutz, (2011), http://www.bfs.de/de/kerntechnik/papiere/japan/strahlenschutz_japan.html, [Letzter Zugriff: 28.10.2011, 13:51 Uhr]

⁹¹ Gesellschaft für Anlagen- und Reaktorsicherheit (GRS), (2011), Seite 1 ff.

⁹² Bundesamt für Strahlenschutz, (2011), http://www.bfs.de/de/kerntechnik/papiere/japan/strahlenschutz_japan.html, [Letzter Zugriff: 28.10.2011, 13:51 Uhr]

⁹³ Bundesamt für Strahlenschutz, (2011), http://www.bfs.de/de/kerntechnik/papiere/japan/strahlenschutz_japan.html, [Letzter Zugriff: 28.10.2011, 13:51 Uhr]

Davon etwa 60 t aus Japan.⁹⁴

Dies entspricht 0,00666% $((60/900.000)*100 = 0,00666)$

6.1 Radioaktivität aufgrund Fukushima in der Umgebung und Messwerte:

Mitte 2011 ist die Nordostküste Japans noch kontaminiert. Die bedeutendsten Radionuklide in diesem Zusammenhang sind Iod-131, Cäsium-134 und Cäsium-137, wobei das Cäsium-137 das wichtigste Radionuklid ist.

Kurze Zeit nach der Katastrophe von Fukushima, gab es die ersten Messdaten, in der Nähe des Atomkraftwerks im Meer gezogen wurden. Dabei wurde festgestellt, dass die Konzentration von Iod-131 bei 180.000 Bq / L, Cäsium-134 bei 47.000 Bq / L und Cäsium-137 die gleiche Menge, wie Cäsium-134 besaß. An der gleichen Position wurden auch Anfang Mai Proben gezogen, die eine deutliche Reduzierung erkennen lassen haben. Die Werte lagen für Iod-131 bei 17 Bq / L, Cäsium-134 bei 78 Bq / L und Cäsium-137 bei 85 Bq pro Liter.⁹⁵ Diese starke Abnahme deutet daraufhin, dass eine Verdünnung und Zerfälle stattgefunden haben.

Untersuchungen an weiteren Fischarten, in der Umgebung von Fukushima, haben keine Einheitlichen Messwerte ergeben. Diese Werte liegen im Durchschnitt zwischen 5 bis 30 Bq / Kg. Flundern, die sich in der direkten Umgebung des Atomkraftwerks aufgehalten haben, wiesen Werte zwischen 80 bis 140 Bq / Kg auf. Dies bedeutet, dass je näher Fische des Atomkraftwerks waren, desto höher belastet waren diese. Jedoch gibt es im Meer einen Verdünnung Effekt, der dazu führt, dass die Messwerte einige Kilometer weiter unter der Nachweisgrenze liegen, da Iod und Cäsium in Wasser gut löslich sind.

Durch die Strömungen findet eine permanente Durchmischung statt. Man erwarte, dass es Jahre dauern könnte, bis die gelösten Radionuklide weitere Küsten im Pazifik erreichen, wie die USA. Dadurch kann man damit rechnen, dass die Werte ebenfalls unter der Nachweisgrenze liegen dürften. Uran, Plutonium und Americium, sind nicht wasserlöslich und sinken an Staub und Schwebeteilchen gebunden nach unten und lagern sich dort auf dem

⁹⁴ Expertengespräch Rieth Dr. U., (2011)

⁹⁵ Bundesamt für Strahlenschutz, (2011),

http://www.bfs.de/de/kerntechnik/papiere/japan/strahlenschutz_japan.html, [Letzter Zugriff: 28.10.2011, 13:51 Uhr]

Meeresboden ab. Dies bedeutet, sollten diese Isotope in Fukushima freigeworden sein, so findet man diesen nur in einem kleinen Umkreis um das Kernkraftwerk herum.⁹⁶

In Fukushima werden sogenannte Siedewasserreaktoren verwendet. Diese werden mit Meerwasser gekühlt, welches anschließend wieder in den Ozean gepumpt wird. In diesem Fall, wurden die Zuleitungen zerstört. Somit konnten die Pumpen kein weiteres Wasser zu den Brennstäben befördern. Dies führte dazu, dass die Brennstäbe nicht mehr gekühlt werden konnten und der Wasserstand fiel. Dabei haben die mehrere tausend Grad Celsius heißen Brennstäbe das Wasser verdampft. Da der gasförmige Zustand ein größeres Volumen einnimmt, steigt der Druck. Neben Wasserdampf entsteht auch Wasserstoff. Diese beiden Gase sammeln sich oben im Reaktorbehälter und führen an den Brennstäben zu einer schnellen Oxidation, wodurch die Temperatur der Brennstäbe weiter ansteigt. In Fukushima haben Helfer, die auch Liquidatoren genannt werden, durch Ventile den Druck abgelassen und gehofft, dass eine Katastrophe verhindert werden kann. Doch in diesem Fall hat sich der Wasserdampf und der Wasserstoff in dem Gebäude verteilt. Dies führte durch Mischung von Wasserstoff mit Sauerstoff zu einer Knallgasreaktion, welche das Gebäude explodieren ließ. Haben die Brennstäbe eine gewisse Temperatur erreicht, in der Regel von etwa 2.000 Grad Celsius, dann schmelzen diese samt allen Radionukliden, die dort beinhaltet sind und sammeln sich unten im Reaktorbehälter. Der Behälter kann Temperaturen von mehreren tausend Grad Celsius nicht standhalten und beschädigt die Außenhülle und Radioaktivität gelangt in die Umwelt. Der größte Anteil der Radionuklide bilden Iod-129, Iod-131, Plutonium, Cäsium-134, Cäsium-137 und Strontium-90. Selbstverständlich sind auch noch weitere radioaktive Stoffe enthalten, weil während der Spaltung viele verschiedene Radionuklide entstehen, bis zu mehreren hundert Stück. Diese genannten Radionuklide sind der Menschheit schon bekannt, weil sie auch beim Tschernobyl Unfall in größeren Mengen freigesetzt worden sind. Andere Radionuklide sind nicht von Bedeutung, weil sie in sehr geringen Mengen freigesetzt werden. Besonders in den ersten Tagen nach der Katastrophe, ist das Iod-131 schädlich, weil es leichte Partikel sind, die sich auch über größere Entfernungen ausbreiten können und eingeatmet werden. Im Körper sammelt sich das Iod-131 in der Schilddrüse an. Dadurch ergibt sich eine Strahlenexposition von innen. Cäsium-137 besteht ebenfalls aus leichten Partikeln und wird auch eingeatmet, doch anders als Iod-131, verteilt sich Cäsium-137 im ganzen Körper und reichert sich besonders in

⁹⁶ Bundesamt für Strahlenschutz, (2011), http://www.bfs.de/de/kerntechnik/papiere/japan/strahlenschutz_japan.html, [Letzter Zugriff: 28.10.2011, 13:51 Uhr]

Muskeln an. Strontium-90 wird auch in den Körper aufgenommen und sammelt sich in Knochen an. Da sich im Knochenmark Blutbildende Systeme befinden, können diese durch Strontium-90 geschädigt bzw. zerstört werden. Plutonium besteht aus schwereren Teilchen und bindet an Staub und Schmutzpartikel, worüber es eingeatmet wird und sich in der Lunge ablagert.

Diese Radionuklide sind schädlicher als solche, die ausschließlich von außen auf den Menschen einwirken. Auch wenn sich radioaktive Stoffe auf die Haut fallen, dann gelangt nur ein kleiner Teil der Strahlung ins Innere.⁹⁷

Kurze Zeit nach der Katastrophe, betrug die Dosisleistung nahe dem Kernkraftwerk Fukushima, 400 mSv pro Stunde.⁹⁸

Dies bedeutet, dass $(400/60 =) 6,6667$ mSv pro Minute eingewirkt haben. Nach Europäischem Grenzwert, könnten sich Menschen maximal 3 Minuten in diesem Gebiet aufhalten, um eine Strahlendosis von 20 mSv zu erhalten.

Untersuchungen von Milch und Spinat in mehreren Gebieten haben ergeben, dass die Werte deutlich über den Grenzwerten liegen. So beträgt der Iod-131 Gehalt in Milch und Spinat 54.000 Bq / Kg. Der Grenzwert liegt bei 2.000 Bq / Kg. Auch Trinkwasser ist hoch belastet. Der Grenzwert liegt bei 300 Bq / L und die ermittelten Werte liegen durchschnittlich zwischen 900 und 1.000 Bq / L.

Für Deutschland, werden keine Gefahren erwartet, weil die Entfernung ca. 9.000 Km beträgt und der Import durch deutsche Behörden verstärkt kontrolliert wird.⁹⁹

6.2 Vergleich der Katastrophen von Tschernobyl und Fukushima:

„Technisch gesehen handelt es sich in Fukushima um einen anderen Verlauf der Ereignisse als bei Tschernobyl. In Tschernobyl wurde Radioaktivität in große Höhen geschleudert und großflächig verbreitet. Bei Fukushima gibt es vor allem in der Region um Fukushima und an bestimmten Stellen, teilweise auch außerhalb des Evakuierungsradius, sehr hohe Belastungen mit radioaktiven Stoffen. Dort ist die Gefahr einer Kontamination besonders hoch, aber auch

⁹⁷ Zeit Online, (2011), <http://www.zeit.de/wissen/umwelt/2011-03/kernschmelze-japan-atomkraftwerk>, [Letzter Zugriff: 07.08.2011, 14:27 Uhr]

⁹⁸ Lichtenberg W., (2011), Seite 297

⁹⁹ Inga T., (2011), <http://www.artikelmagazin.de/gesundheit/ernaehrung/radioaktivitaet-in-lebensmittelnahrungsmittel-und-wasser-in-japan-radioaktiv-kontaminiert.html>, [Letzter Zugriff: 28.10.2011, 15:12 Uhr]

in anderen Gegenden kann die Belastung schnell ansteigen, wenn die Freisetzung nicht eingedämmt wird oder sich die Wetterverhältnisse ändern.“¹⁰⁰

Dieses Zitat sagt aus, dass man die beiden Katastrophen von Tschernobyl und Fukushima nicht vergleichen kann, weil in Tschernobyl die radioaktiven Stoffe in große Höhen verbracht wurden, was dazu geführt hat, dass sich die Radioaktivität Schrittweise auf der Erdoberfläche durch Fallout verteilt hat. Bei Fukushima, ist dies nicht der Fall, Radionuklide wurden über weite Strecken verteilt und die Belastung hängt mehr von der Wetterlage ab, welche Gebiete mehr betroffen sein werden.

Ein weiterer Unterschied der beiden Kernkraftwerks Katastrophe ist, dass in beiden Atomkraftwerken unterschiedliche Kernreaktoren verwendet wurden. In Tschernobyl wurde ein Reaktor eingesetzt, der durch Graphit moderiert wurde (Neutronen abgebremst). Graphit ist entzündlich und hat durch den Brand die Radionuklide in große Höhen befördert. In Japan wurde ein Siedewasserreaktor verwendet, der nicht entzündlich ist. Lediglich durch den hohen Druck, der entstanden ist, aufgrund von Wasserdampf und Wasserstoff, kam es zur Explosion der Schutzhülle, weswegen Radioaktivität ausgetreten ist. Außerdem gibt es in der Atmosphäre einen Verdünnungseffekt, somit verdünnt sich die Radioaktivität je weitere Entfernungen sie zurücklegt. Damit ist in Deutschland mit keiner Erhöhung der Radioaktivität zu rechnen. Des Weiteren besitzt das Bundesamt für Strahlenschutz in Schauinsland eine sehr empfindliche Messstation, womit auch geringste Mengen Radioaktivität in der Luft gemessen werden können.¹⁰¹

Das Kernkraftwerk Tschernobyl liegt 1.380 Kilometer von Hamburg entfernt, Fukushima etwa 9.000 Kilometer Luftlinie.¹⁰²

Seit dem 21.03.2011 führt der Betreiber des Kernkraftwerks Fukushima „Tepco“ regelmäßige Untersuchungen am Meerwasser in der Umgebung um das Kraftwerk, immer an den gleichen Stellen durch. Die Untersuchung ist auf die Radionuklide Iod-131, Cäsium-134 und Cäsium-137 beschränkt.¹⁰³

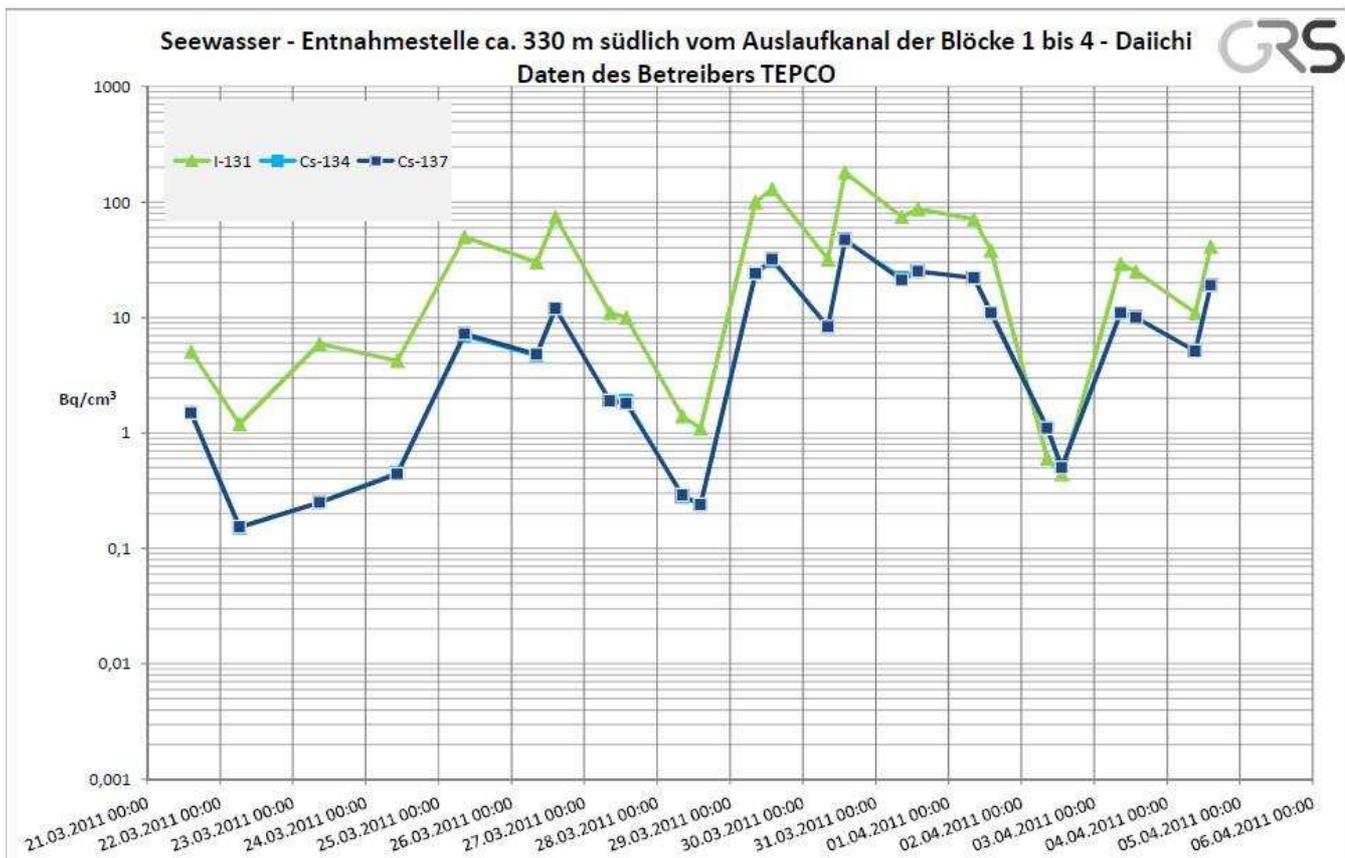
¹⁰⁰ Zitat: Bundesamt für Strahlenschutz, (2011), http://www.bfs.de/de/kerntechnik/papiere/japan/strahlenschutz_japan.html, [Letzter Zugriff: 28.10.2011, 13:51 Uhr]

¹⁰¹ Expertengespräch Bundesamt für Strahlenschutz, Fragenkatalog 1, (2011)

¹⁰² Google, (o.J.), <http://www.luftlinie.org/>, [Letzter Zugriff: 02.11.2011, 13:14 Uhr]

¹⁰³ Gesellschaft für Anlagen- und Reaktorsicherheit (GRS), (2011 b), <http://fukushima.grs.de/content/meerwasserkontamination>, [Letzter Zugriff: 28.10.2011, 15:14 Uhr]

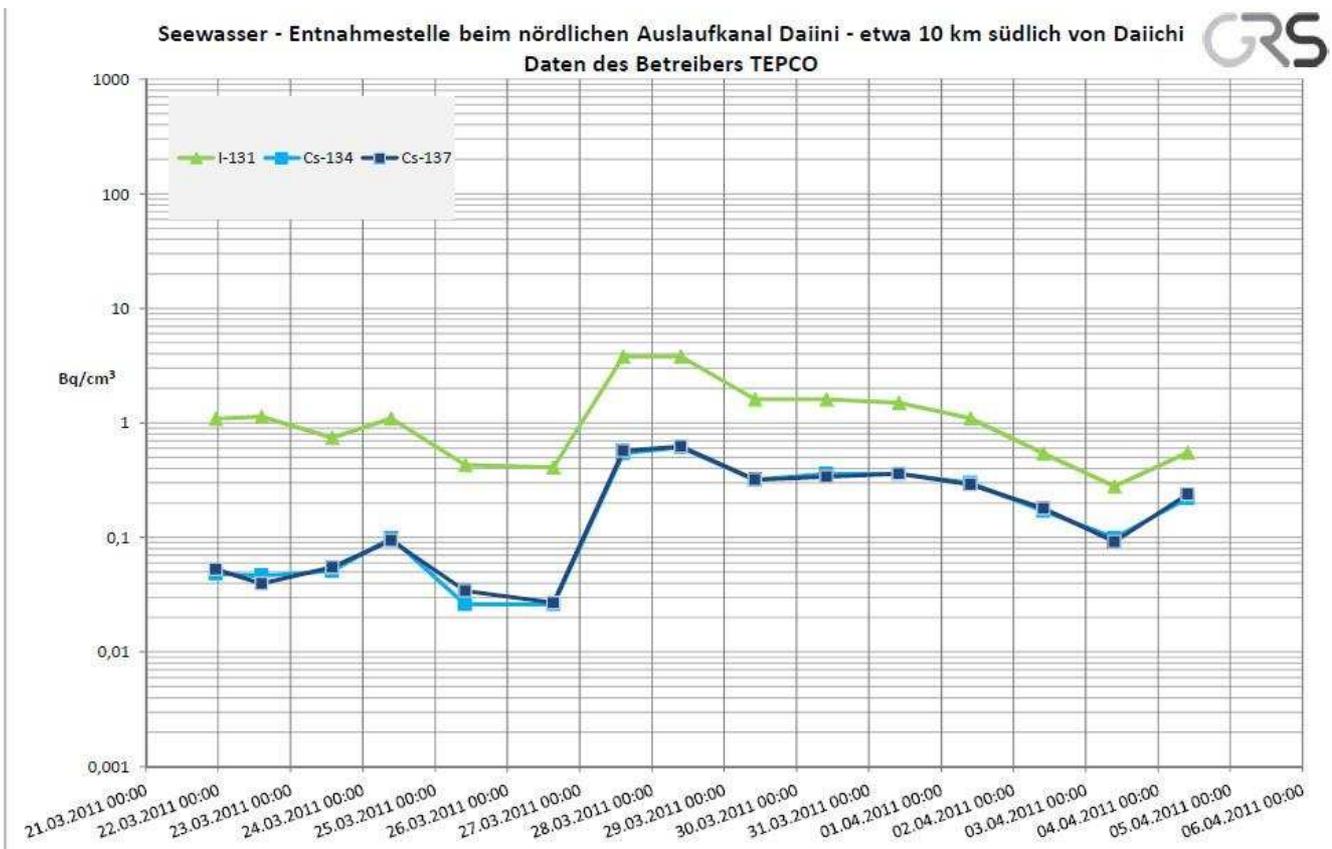
Abbildung 12: Messdaten des Meerwassers 330 m südlich des Kernkraftwerks Fukushima.¹⁰⁴



Auf dieser Abbildung kann man die Entwicklung der drei Radionuklide Iod-131, Cäsium-134 und Cäsium-137 sehen, die 330 m südlich des Kraftwerks Fukushima in Japan ermittelt wurden. Alle 3 Radionuklide sind Schwankungen ausgesetzt, die mit dem Austreten der radioaktiven Stoffe aus dem Kernkraftwerk, sowie den Umwelteinflüssen zusammenhängen. Cäsium-134 und Cäsium-137 bleiben den ganzen Zeitraum unterhalb von 100 Bq / cm³ Meerwasser. Iod-131 besitzt das Maximum an den Tagen 30.03.2011 und 31.03.2011.

¹⁰⁴ Abb. 13: Gesellschaft für Anlagen- und Reaktorsicherheit (GRS), (2011 b), <http://fukushima.grs.de/content/meerwasserkontamination>, [Letzter Zugriff: 28.10.2011, 15:14 Uhr]

Abbildung 13: Messdaten des Meerwasser 10 Km nördlich des Kernkraftwerks Fukushima:¹⁰⁵



In dieser Abbildung, kann man Messwerte erkennen, die 10 Km nördlich des Kraftwerks ermittelt wurden. Man sieht, dass der Verlauf sich zur Abbildung zuvor unterscheidet. Diese Werte bleiben nahezu konstant und etwa um das 10-Fach niedriger. Sie haben das Maximum bei ca. 7 Bq / m³. 1 m³ entspricht einem mL Wasser. Der Grund für die niedrigeren Werte liegt am Verdünnungseffekt. Die Radionuklide gelangen in den Pazifischen Ozean und vermischt sich mit den großen Wassermassen des Ozeans. Dadurch ist die Konzentration geringer.

¹⁰⁵ Abb. 14: Gesellschaft für Anlagen- und Reaktorsicherheit (GRS), (2011 b), <http://fukushima.grs.de/content/meerwasserkontamination>, [Letzter Zugriff: 28.10.2011, 15:14 Uhr]

7. Radioaktivität in Lebensmitteln:

Nahrung kann sowohl natürliche- als auch künstliche Radionuklide aufnehmen. In Deutschland sind die Werte für die natürlichen Radionuklide höher als die der künstlichen. Dies liegt vor allem daran, dass die radioaktive Belastung aus Tschernobyl, bereits deutlich abgenommen hat und teilweise einige Radionuklide unter der Nachweisgrenze liegen. Des Weiteren kann man mit Sicherheit davon ausgehen, dass die Radioaktivität aus Fukushima keine Auswirkungen für Deutschland mit sich bringt. Doch im Boden befinden sich natürliche Radionuklide, die sich während der Genesis gebildet haben. Dies sind Isotope, wie Uran (235, 238), Kalium-40 und Radon-222. Besonders Radon-222 ist bedeutend, da dieses Radionuklid in der Zerfallsreihe von Uran enthalten ist. Da es sich um ein Gas handelt, gelangt es an die Erdoberfläche und kann von Menschen leicht eingeatmet werden. Durch die sehr langen physikalischen Halbwertszeiten von mehreren Millionen bzw. teilweise Milliarden Jahren, hat sich die Strahlung kaum geändert.¹⁰⁶

Auch das Kalium-40 ist bedeutsam, da es eine sehr lange physikalische Halbwertszeit von $1,28 \cdot 10^7$ Jahren besitzt. Außerdem befindet es sich zu 0,012% im normalen Kalium. Dies drückt aus, dass Menschen im Durchschnitt / Kg Nahrung etwa 100 Bq an K-40 aufnehmen.¹⁰⁷

„Die Aktivität spielt bei der Berechnung der Strahlenbelastung durch Lebensmittel eine wesentliche Rolle. Ihre Messung ist schwierig, weil sich die Strahlung aus dem Lebensmittelkern auf ihrem Weg zur Oberfläche abschwächt und zwar unterschiedlich je nach Strahlenart und Strahlenenergie. Daher sind aufwendige [...] Detektorsysteme erforderlich, wenn nicht nur die Oberflächenbelastung des Lebensmittels erfasst werden soll.“¹⁰⁸

Dies deutet daraufhin, dass man mit einfachen Messungen an Lebensmitteln ausschließlich die Oberflächenbelastung ermitteln würde. Um das gesamte Lebensmittel analysieren zu können, sind aufwendige Verfahren notwendig.

„In allen Nahrungsmitteln kommen natürliche Radionuklide vor. Die natürliche Radioaktivität in Nahrungsmitteln, die zur Strahlenexposition des Menschen beiträgt, ist hauptsächlich durch das Kaliumisotop Kalium-40 (K-40) und die langlebigen Radionuklide der Uran-Radium- und der Thorium-Zerfallsreihe bedingt. Von Bedeutung sind Uran-238 (U-238), Uran-234 (U-

¹⁰⁶ Expertengespräch Herr Rieth, Dr. U. (2011)

¹⁰⁷ Bundesamt für Strahlenschutz, (2008), Seite 16

¹⁰⁸ Lichtenberg W., (2011), Seite 292

234), Radium-226 (Ra-226), Radium-228 (Ra-228), Blei-210 (Pb-210), Polonium-210 (Po-210) und die Thorium-Isotope Thorium-230 (Th-230), Thorium-232 (Th-232) und Thorium-228 (Th-228).“¹⁰⁹

Dieses Zitat vom Bundesamt für Strahlenschutz bedeutet, dass nahezu alle Lebensmittel mit radioaktiven Stoffen belastet sind.

„Pflanzen und Tieren nehmen zusammen mit den zum Wachstum erforderlichen Nährstoffen infolge ähnlicher chemischer Eigenschaften auch Radionuklide auf. Die Höhe der Radionuklidkonzentrationen in Nahrungsmitteln wird von der Radioaktivität der genutzten Quellmedien (Böden, Wasser), der Verfügbarkeit der Nährstoffe und übrigen Stoffe aus Boden und Wasser und anderen Gegebenheiten am Standort der Pflanzen- oder Tierproduktion bestimmt. Die aufgenommenen Radionuklide gelangen aus den Quellmedien in Pflanzen und Tiere und sind demzufolge in pflanzlichen und tierischen Erzeugnissen für die menschliche Ernährung enthalten. Mit Ausnahme der Fische erfolgt üblicherweise in der Nahrungskette jeweils eine Verringerung der spezifischen Aktivität. In Abhängigkeit von der Pflanzenart und dem jeweiligen Entwicklungs- und Ernährungszustand der Pflanzen bei der Ernte sind die Mineralstoffe in den Pflanzenteilen unterschiedlich lokalisiert. Diese Elementverteilungen haben Auswirkungen auf die spezifischen Aktivitäten in pflanzlichen Nahrungsmitteln. So weisen Getreidekörner höhere spezifische Aktivitäten der Radium-Isotope Ra-226 und Ra-228 auf als Gemüse oder Obst. Eine weitere Kontamination von Nahrungsmitteln ist jedoch auch über den Luftweg durch die Folgeprodukte des Radon-222 möglich. Das aus Böden und Gesteinen in die Atmosphäre gelangende gasförmige Radon-222 zerfällt in seine radioaktiven, aber nicht gasförmigen Folgeprodukte, die infolge der Ablagerung auf Blattoberflächen und anteiliger Aufnahme in das Blattinnere in den Pflanzen enthalten sein können. Von Bedeutung sind hierbei die langlebigen Folgeprodukte des Rn-222, die Radionuklide Blei-210 und Polonium-210, die deshalb insbesondere im Blattgemüse in höheren Aktivitätskonzentrationen vorkommen.

„Bei tierischen Produkten kommen in Lebern und Nieren im Vergleich zum Fleisch höhere Radionuklidkonzentrationen vor, weil in diesen Organen aufgrund ihrer Funktion als "Schadstofffilter" im Stoffwechsel verschiedene Elemente und Radionuklide am stärksten konzentriert sind. In Fischen und Meeresfrüchten (unter anderem im weichen Gewebe von

¹⁰⁹ Zitat: Bundesamt für Strahlenschutz, (2010), <http://www.bfs.de/de/ion/nahrungsmittel/nahrung.html>, [Letzter Zugriff: 28.10.2011, 15:18 Uhr]

Muscheln, Garnelen, Hummern und Shrimps) können Anreicherungen von Radionukliden, besonders von Pb-210 und Po-210, auftreten, da gelöste Radionuklide relativ leicht in Organismen des aquatischen Bereichs und in die verschiedenen Glieder der Nahrungskette gelangen. Daher weisen Meeresfische gegenüber anderen Nahrungsmitteln deutlich höhere Polonium-210-Aktivitäten auf.“¹¹⁰

Dieses Zitat sagt aus, dass Lebewesen mit der Nahrung Nährstoffe aufnehmen. Zum Teil bestehen die Nährstoffe auch aus Radionukliden, die sich aufgrund ihrer ähnlichen Eigenschaften zu anderen Nährstoffen im Körper anreichern. Die Aufnahmemenge hängt dabei von mehreren Faktoren, wie Bodenbeschaffenheit, Wasservorkommen und andere Nährstoffe im Boden, ab. Sowohl Pflanzen als auch Tiere, nehmen die Radionuklide in sich auf und geben diese an den nächst höheren Rang in der Nahrungskette wieder ab. Da der Mensch das letzte Glied der Nahrungskette bildet, sind auch in seiner Ernährung Radionuklide enthalten, die sich nach jeder Stufe in der Nahrungskette verringern. Jedoch tritt dieser Effekt nicht bei Fischen ein. Dort reichern sich radioaktive Stoffe in jeder Stufe der Nahrungskette weiter an.

Bei pflanzlichen Lebensmitteln verteilen sich Radionuklide unterschiedlich. So kann man davon ausgehen, dass Getreidekörner mehr radioaktives Radium-226 und Radium-228 enthalten, als Obst und Gemüse.

Des Weiteren gelangen radioaktive Stoffe auch durch das gasförmige Radon-222 auf Lebensmittel. Da es den Aggregatzustand gasförmig besitzt, entweicht es durch Risse aus dem Boden und sammelt sich in der Atmosphäre. Die Spaltprodukte sind hingegen nicht gasförmig und lagern sich auf Pflanzen ab. Dabei sind die wichtigsten Stoffe Blei-210 und Polonium-210.

In tierischen Lebensmitteln, ist die Konzentration von Radionukliden in Leber und Niere besonders hoch, da es sich dabei um 2 wichtige Entgiftungsorgane des Körpers handelt. Aus diesem Grund, ist es nur zulässig von jungen Tieren die Leber zum Verzehr freizugeben. Meerestiere, haben im Durchschnitt höhere Konzentrationen

7.1 Wichtigste Radionuklide in Lebensmitteln:

Die wichtigsten Radionuklide in Lebensmitteln sind Iod-131 und Cäsium-137. Der Grund dafür ist, dass diese beiden Stoffe flüchtig sind und sich schnell verteilen können. Andere

¹¹⁰ Zitat: Bundesamt für Strahlenschutz, (2010), <http://www.bfs.de/de/ion/nahrungsmittel/nahrung.html>, [Letzter Zugriff: 28.10.2011, 15:18 Uhr]

radioaktive Stoffe, wie Strontium, Plutonium und Uran sind weniger flüchtig und sind eher in der näheren Umgebung um die Explosion zu finden. Da die Behörden eine Sperrzone einrichten, darf niemand sich in dieser Zone aufhalten geschweige denn Lebensmittel herstellen und konsumieren. Die Ablagerung von Iod und Cäsium-Isotopen erfolgt primär auf Pflanzen. Ein geringer Teil gelangt auf den Erdboden und wird durch die Wurzeln aufgenommen. Deshalb sind Gemüse, die direkt über der Erde wachsen stark kontaminiert. Durch grasende Tiere, wie Rinder und Kälber, gelangen die Isotope ins Fleisch und in die Milch. Nach Tschernobyl und Fukushima sind vor allem Spinat und Milch am höchsten belastet gewesen.

Im selben Jahr, als die Tschernobyl Katastrophe sich ereignete, wurden um München, Werte von bis zu 20.000 Bq / Kg Iod-131 und 7.000 Bq an Cäsium-137 in Spinat gemessen. In Milch war die Kontamination nicht so stark wie in Spinat, aber dennoch hoch belastet mit 1.000 Bq / L Iod-131 und 300 Bq an Cäsium-137. In Spinat kann man die Belastung herabsetzen durch gründliches waschen, weil sich die Partikel hauptsächlich an der Oberfläche festsetzen.¹¹¹

7.2 Radioaktive Belastung von Lebensmitteln:

Nicht nur einzelne Lebensmittel, sondern auch die gesamte Nahrung wurde auf radioaktive Stoffe untersucht. Das Ergebnis für Cäsium-137 und Strontium-90 hat ergeben, dass im Jahr 2007 die tägliche Zufuhr an Cäsium-137 bei etwa 0,26 Bq pro Tag pro Person befunden hat und 0,09 Bq pro Tag pro Person an Strontium-90. Dies sind keine Endgültigen Ergebnisse, da einige Proben unterhalb der Nachweisgrenze lagen und trotzdem einbezogen wurden.¹¹²

In Lebensmitteln nehmen die Radionuklide Cäsium-137 und Strontium-90 eine besondere Rolle ein. Sie besitzen die gleichen Eigenschaften wie Kalium bzw. Calcium besitzen und somit ist gleichzeitig die biologische Halbwertszeit sehr hoch, weil sich diese nährstoffähnlichen Radionuklide im Körper anreichern.

7.2.1 Pilze:

Heutzutage sind Wildpilze immer noch radioaktiv belastet mit dem Radionuklid Cäsium-137. Dies ist auf die Katastrophe von Tschernobyl zurückzuführen. Jedoch hängt es von der Pilzart und dem Standort ab, wie hoch die Kontamination ist.

¹¹¹ Bundesamt für Strahlenschutz, (2011), http://www.bfs.de/de/kerntechnik/papiere/japan/strahlenschutz_japan.html, [Letzter Zugriff: 28.10.2011, 13:51 Uhr]

¹¹² Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (BMU), (2008), Seite 79

In Bayern werden in Wildpilzen, wie Maronenröhrling und Semmelstoppelpilzen, noch Werte von Cäsium-137 von bis zu mehreren 1.000 Bq / Kg gemessen. Hingegen in Steinpilzen und Pfifferlingen kann man noch Werte von einigen 100 Bq / Kg ermitteln. Während bei Parasolpilzen bereits das Cäsium unter 100 Bq / Kg gefallen ist. Die Werte in Süddeutschland sind bis zu 10-Mal so hoch belastet, wie in Norddeutschland.¹¹³

Abbildung 14: Parasolpilz:¹¹⁴ Abbildung 15: Maronenröhrling:¹¹⁵ Abbildung 16: Steinpilz:¹¹⁶



Abbildung 14; Parasolpilze (Macrolepiota Procera)

Abbildung 15; Maronenröhrling (Xerocomus badius)

Abbildung 16; Steinpilz (Boletus edulis)

¹¹³ Bundesamt für Strahlenschutz, (2006), http://www.bfs.de/de/bfs/publikationen/broschueren/ionisierende_strahlung/tschernobyl/wildpilze.html. [Letzter Zugriff: 28.10.2011, 15:20 Uhr]

¹¹⁴ Abb. 15: Jacob T., Jacob H.J., (2011), <http://www.pictokon.net/bilder/Bildersammlung%20Steffen/lepiota-procera-neu-macrolepiota-procera-riesenschirmpilz-parasolpilz-.jpg>, [Letzter Zugriff: 28.10.2011, 15:21 Uhr]

¹¹⁵ Abb. 16: o.A., Maronenröhrling, <http://www.rheinsberger-see.de/Pilze/Maronenroehrling.jpg>, [Letzter Zugriff: 28.10.2011, 15:31 Uhr]

¹¹⁶ Abb. 17: Lohberg R., Lohberg P., Braendle K., Steinpilz, <http://www.neckarkiesel.de/img/90-steinpilz-1-2.gif>, [Letzter Zugriff: 28.10.2011, 15:33 Uhr]

Abbildung 17: Semmelstoppelpilz:¹¹⁷



Abbildung 17; Semmelstoppelpilze

Pilze in Kulturen, d. h. gezüchtete Pilze, sind entweder gering oder gar nicht belastet. Der Grund dafür ist, dass sich Cäsium an Tonminerale im Boden bindet und so nicht in Pflanzen und Pilze aufgenommen werden kann. Waldböden bestehen aus organischen Auflageschichten, die Mineralstoffreich sind und keine Tonminerale besitzen. So kann das Cäsium-137 von den Pflanzen aufgenommen und gespeichert werden. Des Weiteren fallen Blätter und Pflanzenteile auf den Boden und geben so das gespeicherte Cäsium wieder an den Boden ab, sodass beispielsweise Pilze, es aufnehmen können. So ist das Cäsium für Pilze gut verfügbar und die Radioaktivität geht nur langsam zurück. Gezüchtete Pilze wachsen auf Böden, die Tonminerale besitzen und somit kann nur sehr wenig bis gar kein radioaktives Cäsium aufgenommen werden.¹¹⁸

Menschen, die bis zu 200 g Wildpilze in unregelmäßigen Abständen verzehren, haben keine Gefahren daran zu erkranken. Laut einer Faustformel gilt: 80.000 Bq an Cäsium-137 entsprechen ca. 1 mSv. Die Dosis ist so hoch, dass man große Mengen hoch belasteter Wildpilze verzehren müsste, was gesetzlich kaum möglich ist, da Wildpilze bis zu einem Wert von maximal 600 Bq / Kg an radioaktivem Cäsium-137 verkauft werden dürfen. Das Gesetz, dass Lebensmittel, wie Wildpilze, bis zu 600 Bq / Kg belastet sein dürfen, gilt ausschließlich für Waren, die gewerblich verkauft werden und nicht für das eigenständige

¹¹⁷ Abb. 18: Lohberg R., Lohberg P., Braendle K., Semmelstoppelpilz, <http://www.neckarkiesel.de/img/102-semmelstoppelpilz-1-4.gif>, [Letzter Zugriff: 29.10.2011, 14:18 Uhr]

¹¹⁸ Bundesamt für Strahlenschutz, (2006), http://www.bfs.de/de/bfs/publikationen/broschueren/ionisierende_strahlung/tschernobyl/wildpilze.html, [Letzter Zugriff: 28.10.2011, 15:20 Uhr]

sammeln von Pilzen im Wald.¹¹⁹

Würde man Wildpilze mit einer Belastung von 600 Bq / Kg an Cäsium-137 verzehren, so müsste man unrealistischer Weise 133,333 Kg Wildpilze verzehren, sodass man auf den Wert von 1 mSv kommt, was auch noch keine gefährliche Dosis darstellt.

Die Belastung in Lebensmitteln durch Tschernobyl ist deutlich rückläufig. Die Belastung an Cäsium-137 zeigt, dass ein Erwachsener Mensch ca. 100 Bq / Jahr aufnimmt.

Bei Wildpilzen und Wildbret ist die Situation anders. Die Ursache darin liegt in der Beschaffenheit des Bodens. Die oberste Schicht des Waldes bildet organisches Material und Mikroorganismen, welches keine Tonminerale besitzt, im Gegensatz zur normalen Ackerfläche. Cäsium lagert sich im Boden an Tonmineralien an und kann in dieser Verbindung nicht in die Wurzeln von Pflanzen aufgenommen werden. Daher hat in den letzten 25 Jahren die Konzentration in Wäldern kaum abgenommen und es ist auch für die nächsten Jahre diese Entwicklung zu erwarten. Man muss jedoch noch die Unterscheidung machen, dass in Norddeutschland die Wälder kaum betroffen sind, weil es dort kaum radioaktiven Fallout gegeben hat. Anders hingegen im Bayerischen Wald und südlich der Donau.¹²⁰

Beim Wildbret hängt die Kontamination neben dem Gebiet auch von der Tierart ab. So sind Wildschweine am meisten belastet, gefolgt von Rehen und Rothirschen. Laut Messungen im Bayerischen Wald, im Jahr 2004, waren Wildschweine zwischen 80 bis 40.000 Bq / Kg belastet. Daraus hat sich ein Mittelwert von 7.000 Bq / Kg ergeben. Im Vergleich dazu betrug die Kontamination von Rehen, im gleichen Jahr und Gebiet, zwischen 700 und 2.100 Bq / Kg. Plausibel war dabei, dass man jahreszeitliche Unterscheidungen treffen konnte, denn im Sommer befinden sich die Tiere überwiegend im Wald und ernähren sich von den hoch belasteten Pilzen und Pflanzen. Somit reichern sich die Radionuklide im Fleisch an.¹²¹ Ausschließlich Fleisch mit einem Maximalwert von 600 Bq / Kg, durfte gesetzlich verkauft werden.

In Wäldern, besonders in Südbayern, können Waldbeeren, Wildfleisch und Pilze höher als die Grenzwerte liegen. Pilze sind auch Schadstoffsammler, weil sie ausschließlich auf der obersten Bodenschicht wachsen und von dort auch ihre Nährstoffe beziehen.¹²²

¹¹⁹ Bundesamt für Strahlenschutz, (2006), http://www.bfs.de/de/bfs/publikationen/broschueren/ionisierende_strahlung/tschernobyl/wildpilze.html, [Letzter Zugriff: 28.10.2011, 15:20 Uhr]

¹²⁰ Bundesamt für Strahlenschutz, (2011 b), Seite 10

¹²¹ Bundesamt für Strahlenschutz, (2011 b), Seite 11

¹²² Hacker C., Wurzbacher K., Reiche A., (2005), Seite 3

Die erste größere Belastung mit Radionukliden war während der Atomtests der 50er und 60er Jahre. Diese radioaktiven Stoffe wurden über mehrere Jahre in der ganzen Welt durch Wind und Fallout verteilt. Durch den Reaktorunfall in Tschernobyl, kamen weitere Mengen Radionuklide hinzu, die besonders in Süddeutschland als Niederschlag messbar waren. Anfang Mai 1986 kam die radioaktive Wolke nach Deutschland und war in München messbar. Die Gammadosisleistung stieg von einem normalen Wert zwischen 70 bis 80, auf einen Wert, der bei 1.100 nGy pro Stunde lag. Als Indikator dient das Radionuklid Cäsium, da es nicht natürlich vorkommt und durch die geringe Dichte, kann es über weite Strecken transportiert werden. Die Cäsium-Belastung der Böden betrug 1986 in Deutschland zwischen 0 bis 173.000 Bq pro Quadratmeter. Heutzutage liegt die Kontamination in Südbayern durchschnittlich bei 15.000 Bq pro Quadratmeter. Von diesen 15.000 Bq / m² entfallen etwa 20% (3.000 Bq / m²) auf die Atomtests der 50er und 60er Jahre. Dieser Wert ist bekannt, da man bereits von Tschernobyl die Werte bestimmt hatte und so die Menge, die durch Tschernobyl hinzugekommen war, addiert.¹²³

Es gibt einen Unterschied zwischen dem Wald- und Ackerboden. Ackerböden werden durch mechanische Bearbeitung, wie das Pflügen, durchgemischt und diese Art beinhaltet viele Tonmineralien. Außerdem befindet sich auf Ackerböden keine organische Oberschicht. So kann sich das Radiocäsium mit dem Ton verbinden und ist somit für Pflanzen nicht mehr verfügbar. Der Waldboden dagegen besitzt eine organische Oberschicht, die aus Laub, Ästen und anderen Baumbestandteilen besteht. Pilze, Pflanzen und Wildtiere ernähren sich von dieser Schicht und nehmen so das Radiocäsium auf. Sterben diese Lebewesen ab, werden diese Stoffe wieder dem Waldboden zugeführt und es entsteht ein Kreislauf, wodurch der Gehalt an radioaktivem Cäsium nicht sonderlich abnimmt. Sind die Waldböden leicht sauer und Tonmineralarm, kann Cäsium von Pflanzen besonders gut aufgenommen werden. Es gibt aber auch unter den Pilzen noch Unterscheidungen. Wildpilze, wie der Maronenröhrling oder der Semmelstoppelpilz sind regelrechte Cäsiumsammler. Sie speichern große Mengen des radioaktiven Stoffes. Hingegen andere Arten, wie Champignons nehmen geringere Mengen auf. Pfifferlinge und Steinpilze befinden sich in der Mitte bezüglich der Aufnahme, zwischen den Maronenröhrlingen und den Champignons. Der Mensch greift in diesen Kreislauf ein, indem er Wildfleisch, Wildpilze und Waldbeeren verzehrt. So gelangen die Radionuklide in den Körper des Menschen.¹²⁴

¹²³ Hacker C., Wurzbacher K., Reiche A., (2005), Seite 4 / 5

¹²⁴ Hacker C., Wurzbacher K., Reiche A., (2005), Seite 7

Rechenbeispiel:

Ein Mensch verzehrt 500 g Wildpilze, die mit 3.000 Bq / Kg Cäsium-137 belastet sind, dann kommt eine Menge von 0,02 Sv zusätzlich hinzu.

80.000 Bq entsprechen 1 Sv

500 g Wildpilze mit 3.000 Bq/Kg belastet. Dies heißt, dass man ein 0,5 Kg verzehrt, was 1.500 Bq entspricht.

$$1500 \text{ Bq} / 80000 \text{ Bq} = \underline{0,01875 \text{ Sv} \sim 0,02 \text{ Sv}}$$

Bei einer Menge von 26,6 Kg Wildpilzen, die mit 3.000 Bq /Kg belastet sind, ergibt sich eine Dosis von 1,0 mSv zusätzlich.

$$80.000 \text{ Bq} / 3000 \text{ Bq} = \underline{26,6666}$$

Verzehrt man häufiger Wildpilze, ist es möglich, an den Grenzwert von 1,0 mSv pro Jahr der in der Strahlenschutzverordnung angegeben wird heranzukommen. Doch Wildpilze sind nicht die einzigen Lebensmittel, die Radionuklide enthalten können, so empfiehlt es sich nicht regelmäßig Wildpilze zu verzehren. Eine Alternativen sind Pilze aus Norddeutschland und Zuchtpilze, die geringe Belastungen aufweisen.¹²⁵

Japan importiert 0,1% der gesamten Waren, die in Deutschland ankommen. Dies bedeutet, dass die Menschen in Deutschland sich über Radioaktiv belastete Lebensmittel aus Japan keine Sorgen machen müssen. Auch japanisch klingende Produkte, wie Shiitake-Pilze, werden in deutschen Gewächshäusern angebaut. Dies trifft auch für Gemüse, wie beispielsweise Spinat zu. Da Spinat eine Pflanze ist, die nahe dem Boden wächst, ist diese stärker vom Fallout betroffen. In Japan wurden auch Werte über dem Grenzwert gemessen, aber diese Waren werden nicht nach Deutschland exportiert.¹²⁶

Hohe Radioaktivität in Lebensmitteln gibt es heutzutage in Mitteleuropa nicht mehr. Zwar sind noch Wildpilze und Wildbret vor allem in Süddeutschland belastet, aber auch wenn diese Lebensmittel über den Grenzwerten liegen, so darf man geringe Mengen in unregelmäßigen Abständen verzehren. Diese Grenzwerte gelten nur für Lebensmittel, die für den Handel bestimmt sind, also nicht für die Produkte, die man selber sammelt bzw. fängt, bezieht man allerdings die Grenzwerte vom Handel, so liegt dieser für Wildpilze und Wildbret bei 600 Bq

¹²⁵ Hacker C., Wurzbacher K., Reiche A., (2005), Seite 10

¹²⁶ Volz T., (2011), <http://www.stuttgarter-zeitung.de/inhalt.radioaktivitaet-lieferstopp-fuer-spinat-und-kohl.b696daaf-bde1-4fc1-9886-b8a2ca8a58f3.html>, [Letzter Zugriff: 29.10.2011, 14:33 Uhr]

/ Kg. Wissenschaftler vermuten, dass verstärkt geringe Dosen über einen längeren Zeitraum, für langfristige Schäden, wie Krebs, verantwortlich gemacht werden können.¹²⁷

7.2.2 Trink- und Mineralwasser:

Trinkwasser ist laut §3 der Trinkwasserverordnung aus dem Jahre 2001, die 2003 in Kraft gesetzt wurde:

„... alles Wasser, im ursprünglichen Zustand oder nach Aufbereitung, das zum Trinken, zum Kochen, zur Zubereitung von Speisen und Getränken oder insbesondere zu den folgenden anderen häuslichen Zwecken bestimmt ist:

- Körperpflege und -reinigung
- Reinigung von Gegenständen, die bestimmungsgemäß mit Lebensmitteln in Berührung kommen,
- Reinigung von Gegenständen, die bestimmungsgemäß nicht nur vorübergehend mit dem menschlichen Körper in Kontakt kommen.“¹²⁸

Die in den Jahren 2006 und 2007 getesteten Trinkwasserproben, ergaben, dass über 95% der Messergebnisse für Cäsium-137 Konzentrationen in Trinkwasser unterhalb der Nachweisgrenze lagen. Die anderen Proben, enthielten nur sehr geringe Mengen an Cäsium-137 und Strontium-90. Andere Radionuklide, wie natürliches Kalium-40 und Uran-238, waren in größeren Mengen als die künstlichen radioaktiven Stoffe enthalten.¹²⁹

In jedem Trink- bzw. Mineralwasser, lassen sich unterschiedliche Konzentrationen an Radionukliden finden. Dies liegt in erster Linie an dem Gebiet, wo die Proben gezogen wurden, weil das Wasser verschiedene Bodengesteine passiert und dabei Spuren aufnimmt. Aus diesem Grund, findet man natürliche Radionuklide, wie Uran-238 und Kalium-40 häufiger in Quell- und Trinkwasser.¹³⁰

Die Organisation Foodwatch, führte Ende 2009 Untersuchungen an Trink- und Mineralwasser durch und stellte dabei fest, dass in einigen Proben gesundheitsschädliche Werte von Uran enthalten waren. Die Bundesregierung hat bis zu diesem Zeitpunkt noch keinen Grenzwert festgelegt. Die Bundesregierung kündigte an, in Zukunft einen Grenzwert festzumachen, der sich bei 10 µg pro Liter befinden soll. Experten empfinden diesen Wert für zu hoch. Er sollte

¹²⁷ Massholder F., (2011), <http://www.lebensmittellexikon.de/r0001550.php>, [Letzter Zugriff: 29.10.2011, 14:36 Uhr]

¹²⁸ Zitat: Trinkwasserverordnung, (2001), §3,1

¹²⁹ Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (BMU), (2008), Seite 58

¹³⁰ Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (BMU), (2008), Seite 60

bei 2 µg Uran pro Liter Wasser liegen, damit auch für Kinder keine Gesundheitsrisiken bestehen.¹³¹

Trinkwasser kann Radionuklide enthalten, da es aus Quellen an die Oberfläche gelangt. Dabei fließt es durch mehrere Bodenschichten, die natürliche Radionuklide enthalten können. Aus diesem Grund wurden zahlreiche Untersuchungen verschiedener Mineral- und Tafelwasser durchgeführt. Insgesamt, wurden 401 Mineral- und Tafelwasser vom Bundesamt für Strahlenschutz 2002 untersucht. Dabei war das Resultat, dass keines dieser getesteten Wasser gesundheitsschädliche Dosen enthielt. Dennoch sollte der Wert 0,1 mSv nicht überschritten werden. Die bekanntesten sieben Wasser sind folgende:

Tabelle 7: Bekannte Mineralwasser und beinhaltende Strahlendosen für Erwachsene im Jahr 2002.¹³²

Wassersname (Herkunft)	Strahlendosis in [µSv] für Erwachsene die 350 Liter im Jahr trinken
Adelholzener (Deutschland – Bayern)	2
Evian (Frankreich)	4
Fürst Bismarck (Deutschland – Schleswig-Holstein)	4
Gerolsteiner (Deutschland – Rheinland-Pfalz)	4
San Pellegrino (Italien)	20
Vittel (Frankreich)	5
Volvic (Frankreich)	4

Laut dem Gesetz der Europäischen Union, ist der Höchstwert an radioaktiver Belastung in Wasser 0,1 mSv pro Jahr.¹³³

Im Jahr 2010, haben die deutschen pro Kopf etwa 140 Liter Mineralwasser getrunken. Die

¹³¹ Foodwatch, (2009), http://www.foodwatch.de/kampagnen__themen/mineralwasser/index_ger.html , [Letzter Zugriff: 29.10.2011, 14:42 Uhr]

¹³² Tab. 8: Bundesamt für Strahlenschutz, (2002)

¹³³ Bundesamt für Strahlenschutz, (2002)

Tendenz steigt. Es wird empfohlen zwischen 1,5 bis 2,0 L pro Tag zu trinken.¹³⁴

Doch Menschen trinken nicht ausschließlich Mineralwasser. Die EU hat Grenzwerte für Trinkwasser aufgestellt, die besagen, dass der Tritium- (Wasserstoff-3) Gehalt nicht mehr als 100 Bq / L betragen darf. Außerdem eine Maximaldosis von 0,1 mSv pro Jahr an anderen Radionukliden, außer Tritium, Kalium-40, Radon und Radon Zerfallsprodukte. Tritium befindet sich zu etwa 6 Bq pro Liter im Oberflächenwasser. Die Isotope Kalium-40 und Radon-222, müssen unter der Aktivität von 100 Bq / L vorhanden sein.¹³⁵

In Tokio wurden 3 Monate nach der Katastrophe von Fukushima geringe Mengen von Cäsium im Urin von Kindern nachgewiesen, was darauf deutet, dass die Belastung von Cäsium-137 bis in das Trinkwasser von Tokio gelangt ist. Die Menschen dort wurden angewiesen kein Leitungswasser mehr zu trinken, sondern ausschließlich aus Flaschen, welches in anderen Gebieten abgefüllt wurde.¹³⁶

7.2.3 Milch und Milchprodukte:

Die Werte für Milch und Milchprodukte waren stärkeren Schwankungen in den Jahren seit den Messungen ausgesetzt. Es gab Ausschläge während und nach den globalen Atomtests und dann einige Zeit später nach dem Tschernobyl Unglück. Doch zwischen 1975 bis 1985 hatten die Werte für Cäsium-137 ein sehr niedriges Niveau eingenommen. Ab 1990 bis 2007 befanden sich die Werte auf einem niedrigen Niveau.

Strontium-90, im Vergleich zu Cäsium-137, blieb seit 1960 auf einem relativ geringem Niveau und geringer als Cäsium-137.¹³⁷

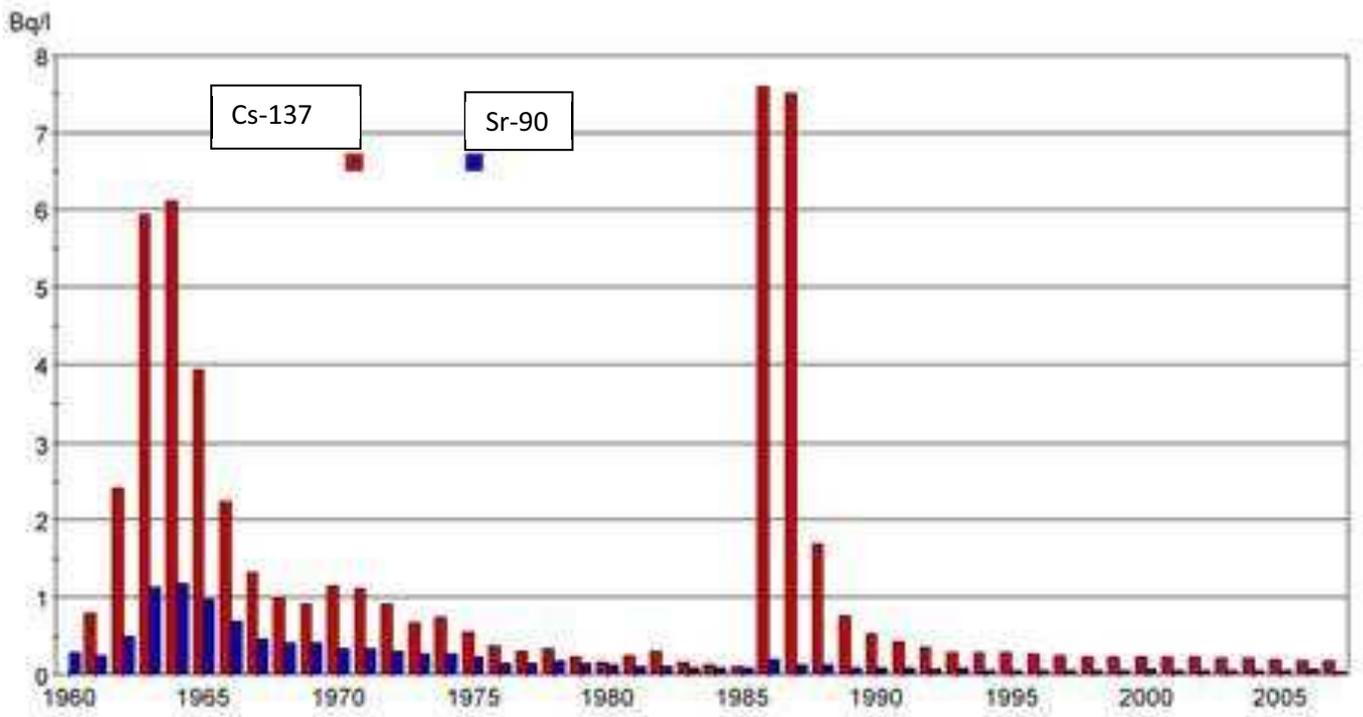
¹³⁴ Barknecht F., Bittner B., Buron A., et. Al., (2010), <http://www.dradio.de/dlf/sendungen/marktplatz/1146405/>, [Letzter Zugriff: 29.10.2011, 14:44 Uhr]

¹³⁵ Lichtenberg W., (2011), Seite 295

¹³⁶ Verbraucherzentrale Hamburg e.V., (2011), <http://www.vzhh.de/ernaehrung/112918/radioaktivitaet-in-lebensmitteln.aspx>, [Letzter Zugriff: 28.10.2011, 13:57 Uhr]

¹³⁷ Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (BMU), (2008), Seite 76

Abbildung 18: Cäsium-137 und Strontium-90 Messungen in Milch und Milchprodukten von 1960 bis 2007 in Deutschland (Mittelwerte):¹³⁸



Auf dieser Abbildung stellen die roten Balken Cäsium-137 und die blauen Balken Strontium-90 dar. Die Messungen begannen im Jahr 1960 und dauerten bis 2007. Die getesteten Milch und Milchprodukte in dieser Abbildung, sind Mittelwerte der jeweiligen Jahre. Man erkennt, dass die Sr-90 Konzentration zu jeder Zeit unter der Cs-137 bleibt. Während und nach den Atomtests in den 50er und 60er Jahren, steigen beide Radionuklide an. Cäsium-137 hat in der Zeit zwischen 1963 und 1964 einen Wert von ca. 6,1 Bq / L erreicht. In der gleichen Zeit liegt Strontium-90 auf dem höchsten Wert von etwa 1,2 Bq pro Liter. Zwischen den Jahren 1965 bis 1985 nehmen die Werte beider Radionuklide kontinuierlich ab. 1986 ereignete sich die Katastrophe von Tschernobyl, wo die Cäsium-137-Werte das höchste Niveau der gesamten Messung erreichen. Dieser Wert liegt 1986 bei ungefähr 7,5 Bq / L Strontium-90 liegt bei ca. 0,2 Bq / L. Ein Jahr später, 1987, sinken die Werte langsam. Bei Cäsium-137, um etwa 0,1, auf 7,4 Bq / L und bei Strontium-90 auch um 0,1 auf 0,1 Bq / L. In den darauffolgenden Jahren erfolgt erst ein exponentieller Rückgang von Cäsium-137, bis auf einen Wert von 0,7 Bq / L und anschließend langsamer fallend. Strontium fällt über den gesamten Zeitraum langsam. Der Grund für die hohe Cäsium-137 Kontamination in der Zeit um 1986 liegt an Tschernobyl, weil dieses Radionuklid am meisten freigesetzt wurde und durch die lange

¹³⁸ Abb. 19: Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (BMU), (2008), Seite 76

physikalische Halbwertszeit kann es auch längere Strecken zurücklegen.

Man merkt, dass die Graphen zu bestimmten Zeiten stark steigen und anschließend schnell wieder abfallen. Der Grund dafür liegt an der Beschaffenheit des Bodens. Pflanzen nehmen Cäsium-137 hauptsächlich über die Wurzeln auf, jedoch kann dieser Prozess gestört sein, wenn die Böden Ton reich und einen pH-Wert besitzen der im neutralen Bereich oder leicht alkalisch ist. Die pH-Werte liegen etwa bei 7,0 und leicht darüber. In diesen Fällen wird das Cäsium-137 an Bodenpartikel gebunden und kann nicht in die Pflanzen gelangen.

Dagegen in Humusreichen, sauren und tonarmen Böden, ist das Cäsium für die Pflanzen verfügbar. Diese Art von Böden kommt in Mooren und Wäldern vor. Weiden für Kühe sind Landwirtschaftliche Flächen die zu der ersten Kategorie gehören und somit nimmt die Cäsium-Konzentration schnell ab.¹³⁹

Vergleicht man Waldprodukte (Wildpilze, Waldbeeren und Wildbret) mit landwirtschaftlichen Produkten (Gemüse, Fleisch und weiteren Produkten), so ergibt sich, dass die Waldprodukte deutlich mehr Cäsium-137 enthalten als die landwirtschaftlichen Produkte. In Waldböden wird das Cäsium schnell in Pflanzen aufgenommen. Durch herunterfallende Blätter und Nadeln, die das Cäsium enthalten, gelangt es erneut auf den Boden und in andere Pflanzen. Dadurch nimmt die Konzentration nicht ab. Man kann aber auch noch nach Tierart und Gebiet Unterscheidungen treffen. So sind Wildschweine am meisten mit Cäsium-137 belastet, da sie sich überwiegend mit Produkten aus dem Wald ernähren, die hoch belastet sind und auch die sogenannten Hirschtrüffel verzehren, die sehr hohe Cäsiumspeicher besitzen. Damit ist auch das Fleisch der Wildschweine stärker kontaminiert. Doch verzehrt ein Mensch in unregelmäßigen Abständen kleinere Mengen höher belastetes Fleisch, kommt es zu keinen Schädigungen. Eine Faustformel besagt, dass 80.000 Bq Cäsium-137 etwa 1 mSv entspricht. Die höchsten Werte, die in Wildschweinen ermittelt wurden, waren 40.000 Bq / Kg Cäsium-137. Dementsprechend müsste man 2 Kg Wildschwein verzehren um 1 mSv mehr zu erhalten. 2 Kg ist eine Menge, die ein Mensch kaum bei einer Mahlzeit verzehren kann und außerdem stellt 1 mSv keine Gefahr dar, wenn die anderen Strahlungsquellen nicht hoch sind. Die natürliche Strahlenexposition in Deutschland liegt zwischen 1 bis 10 mSv und im Mittel bei 2,1 mSv.¹⁴⁰

Nach der Katastrophe von Tschernobyl waren einige Lebensmittel besonders belastet. Zwischen 1986 bis 1990 wurden verstärkt Untersuchungen durchgeführt. Sie haben ergeben, dass Milch und Milchprodukte kurze Zeit nach der Katastrophe von Tschernobyl hoch mit

¹³⁹ Tait D., Roos N., (2011), Seite 29

¹⁴⁰ Tait D., Roos N., (2011), Seite 30

Iod-131 belastet waren. Doch bereits nach einer Woche, verringerte sich die Kontamination, durch die geringe physikalische Halbwertszeit von 8,02 Tagen. Milchpulver blieb dagegen weiter problematisch. Auch für Gemüse, Pilze und Kartoffeln galten erhöhte Werte für Radionuklide, vor allem Cäsium-137. Der Grund dafür lag daran, dass die radioaktive Wolke von Tschernobyl von der Ukraine nach Süddeutschland gelangt ist. So waren auch landwirtschaftliche Flächen betroffen.

7.2.4 Fische:

Da Deutschland nur einen geringen Teil Fisch (0,00666%) aus Japan bezieht und die Kontrollen verschärft wurden, besteht für die Bevölkerung keine Gefahr. Eines der wichtigsten importierten Fischarten nach Deutschland ist der Alaska-Seelachs, der etwa 2.500 Km von Fukushima entfernt in der Beringsee gefangen wird. Doch das vTI (Fischereiökologie) gibt Entwarnung. Es ist mit keiner Zunahme der Radioaktivität zu rechnen. Des Weiteren besitzt die EU weitere Prüfstellen, die den Pazifischen Ozean beobachten. Sollte eine Erhöhung der Radionuklide vorliegen, so kann die Bevölkerung rechtzeitig gewarnt werden.¹⁴¹

An der Ostküste Japans sind die Werte für kontaminierte Fische langsam angestiegen. Dies liegt vor allem daran, dass diese Stoffe sich erst in der Nahrungskette verteilen müssen. Mitte Mai 2011 wurden Messungen durchgeführt, die gezeigt haben, dass nahe der Ostküste Japans gefangene Plattfische verschiedener Art, Werte zwischen 5 bis 30 Bq / Kg besitzen. In Makrelen, Sardinen und einigen Lachsarten, fand man Werte von ca. 20 Bq / Kg. Doch dagegen haben einige Messungen ergeben, dass in Kabeljau und Seelachs keine messbaren Mengen gefunden wurden. Nach Erwartungen, besitzen Raubfische eine höhere Belastung, da sie andere kleinere Fische fressen. Somit sammeln sich die Radionuklide in den Raubfischen an. In einer japanischen Veröffentlichung, aus dem Jahre 2002, werden für verschiedene Arten von Fischen allgemeine Cäsium-137 Konzentrationsfaktoren angegeben. So erhielt Zooplankton („In Wasser frei schwebende lebende Tiere [...] mit geringer oder ohne Eigenbewegung.“¹⁴²) einen Faktor von 18. Für Krebse und Krustentiere wurde der Faktor 25 festgelegt, für Fische die Zooplankton fressen 30, für Fische, die andere kleinere Fische fressen 55 und für Raubfische, die am Ende der Nahrungskette stehen, Faktor 85. Dieser Faktor bedeutet, dass die Konzentration (Bq / Kg) in den Fischen 85-Mal so hoch war, wie im

¹⁴¹ Bundesamt für Strahlenschutz, (2011), http://www.bfs.de/de/kerntechnik/papiere/japan/strahlenschutz_japan.html, [Letzter Zugriff: 28.10.2011, 13:51 Uhr]

¹⁴² Der Brockhaus Multimedial Premium 2009 [DVD] „Plankton“

umgebenden Wasser.

Doch es gibt keine Gefahren für den Menschen. Man kann ohne Bedenken weiterhin Fisch verzehren. Wer ganz sicher gehen möchte, der kann auf den jeweiligen Fischverpackungen das Fanggebiet ablesen. Die Welternährungsorganisation (FAO) teilte die Weltmeere in 19 Fanggebiete auf.¹⁴³

Am 24.03.2011 gab es 30 Km vor der japanischen Ostküste Messungen. Aus diesen Messungen ging hervor, dass im Durchschnitt 42 Bq an Iod-131 und 16 Bq an Cäsium-137 pro Liter Meerwasser gemessen wurden. Die japanischen Grenzwerte liegen für Iod-131 bei 40 Bq und 90 Bq für Cäsium-137 / L Meerwasser. Tägliche Messungen des auslaufenden Wassers, direkt am Unglücksreaktor, ergab am 23.03.2011, Werte, die bei 5.900 Bq Iod-131 und 250 Bq Cäsium-137 lagen. Doch diese Werte sind nicht alleine ausschlaggebend, da das Gebiet weiträumig abgesperrt wurde, das Wasser im Meer stark verdünnt ist. Iod-131 besitzt eine kurze physikalische Halbwertszeit von 8,02 Tagen und ist somit nach etwa 80 Tagen unterhalb der Nachweisgrenze. Laut dem vTI, geht für den Deutschen Verbraucher keine Gefahr aus. Der Alaska-Seelachs wird in der Beringsee gefangen. Es handelt sich dabei um eines der wichtigsten Fanggebiete der Erde, aber dieses Gebiet befindet sich 2.500 Km vor der Küste Japans und somit deutlich außerhalb der Gefahrenzone durch die Verdünnung. Man rechnet mit einer zusätzlichen Belastung an Cäsium-137 von 0,002 Bq / L.¹⁴⁴

Im Zeitraum zwischen 1986 und 1990 waren Fische, die in fließenden Gewässern gefangen wurden ohne Probleme verzehrbar. Dagegen in einigen stehenden Gewässern, wurde das Fangen zeitweise eingestellt, da die Fische hoch belastet waren, weil sich die Radionuklide nicht so stark verdünnen konnten und anreicherten. So wurden in Baden-Württemberg Werte bis zu 4.500 Bq / Kg Hecht festgestellt.¹⁴⁵

7.2.5 Wildfleisch:

Wildtiere, die im Wald leben, nehmen durch die Nahrung Radiocäsium auf, welches in Pflanzen, Pilzen und Beeren gespeichert ist. In diesem Zusammenhang ist Cäsium das wichtigste Radionuklid, weil es die gleichen Eigenschaften wie Kalium besitzt und sich in Muskeln anreichert. Strontium besitzt wiederum die gleichen Eigenschaften wie Calcium und lagert sich daher in Knochen an und ist somit nicht entscheidend.

¹⁴³ Bundesamt für Strahlenschutz, (2011), http://www.bfs.de/de/kerntechnik/papiere/japan/strahlenschutz_japan.html, [Letzter Zugriff: 28.10.2011, 13:51 Uhr]

¹⁴⁴ Rieth U., Welling M., (2011),

¹⁴⁵ Verbraucherzentrale Hamburg, (2011 b)

Man kann auch zwischen den Jahreszeiten die aufgenommene Menge Cäsiums unterscheiden.

Im Sommer und Herbst nehmen Wildtiere, wie vor allem Wildschweine, am meisten Radiocäsium auf. Dagegen im Winter und Frühling, werden diese Stoffe meistens ausgeschieden. Das hängt damit zusammen, dass die Wildtiere im Sommer und Herbst ihre Nahrung im Wald finden. Im Winter und Frühling, ist das Angebot nicht so groß und die Tiere werden von Förstern und Jägern gefüttert. Damit ist die Belastung an Radiocäsium gering.

Von allen Wildtieren sind Wildschweine mit deutlichem Abstand am meisten belastet, weil sie sich hauptsächlich von Wurzeln und Hirschtrüffeln aus den oberen Waldschichten ernähren, die bis zu 10-Mal so hoch kontaminiert sein können, wie Pilze und andere Pflanzen im Wald. So gibt es seit 1995 keinen Rückgang der Radioaktivität in Wildschweinen, es ist sogar eine Zunahme festgestellt worden.¹⁴⁶

Eine Untersuchung vom Bundesamt für Strahlenschutz, im Jahr 2004 in Südbayern, hat ergeben, dass Wildschweine eine durchschnittliche Belastung von 6.700 Bq / Kg aufweisen. Das Maximum lag sogar bei 70.000 Bq / Kg. Gesetzlich wurde ein Grenzwert für Wildfleisch und andere Lebensmittel, in Europa von 600 Bq / Kg. festgelegt¹⁴⁷

Die Abweichung beträgt 11.666,6%. Verzehren Menschen Wildtiere, die radioaktiv belastet sind, so gelangen diese Stoffe in den Darm, wo sie absorbiert werden. Die Menge hängt von dem jeweiligen Radionuklid ab. Cäsium wird allerdings vollständig absorbiert und Strontium zu einem Teil bis 30%. Da Cäsium die gleichen Eigenschaften wie Kalium besitzt, reichert es sich beim Menschen auch in den Muskeln an. Die biologische Halbwertszeit von Radiocäsium liegt bei 40 bis 200 Tagen. D. h., dass innerhalb dieser Zeit die Hälfte der aufgenommenen Cäsiummenge wieder ausgeschieden wird. Strontium hat Ähnlichkeit zu Calcium, was dazu führt, dass es sich in Knochen ansammelt. Die energiereiche Strahlung, lässt Radikale im Menschen entstehen. Sind viele Radikale entstanden, ist die Wahrscheinlichkeit größer, dass diese sich zu giftigen Verbindungen zusammensetzen.¹⁴⁸

Ein Radikal ist beispielsweise die OH-Gruppe (Hydroxy-Gruppe). Sie besteht aus einem Teil Sauerstoff und aus einem Teil Wasserstoff. Durch die freien Elektronenpaare und die negative Gesamtladung, neigt dieses Molekül dazu, sich an andere Verbindungen anzulagern, weil es durch die negative Gesamtladung ein Elektron zu viel besitzt und einen energieärmeren Zustand anstrebt, indem dieses Molekül das Elektron abgibt.

¹⁴⁶ Bundesamt für Strahlenschutz, (2011 b), Seite 12

¹⁴⁷ Hacker C., Wurzbacher K., Reiche A., (2005), Seite 9

¹⁴⁸ Hacker C., Wurzbacher K., Reiche A., (2005), Seite 10

Verbinden sich 2 Hydroxy-Gruppen miteinander, so entsteht das Zellgift Wasserstoffperoxid.



„Da sich für Radioaktivität keine Grenze angeben lässt, unterhalb der sie ungefährlich ist, sollte so wenig wie möglich aufgenommen werden.“¹⁴⁹

Dieses Zitat vom Umweltinstitut München e.V. bedeutet, dass man zwar Grenzwerte für Radioaktivität festlegen kann, die man einhalten muss, aber in der Realität ist jede radioaktive Strahlung schädlich, auch wenn sie noch so gering ist und damit sollte das primäre Ziel, sein sich nicht nach Grenzwerten zu richten, sondern die Strahlung so gering wie möglich zu halten. Die ersten akuten Schäden treten bereits nach Dosen ab 200 mSv auf, aber auch geringere Dosen können zu Schäden führen, dies sind jedoch Spätschäden, wie Krebs oder Leukämie.¹⁵⁰

Untersuchungen im Jahr 2006 von Wildscheinen in Süddeutschland, haben gezeigt, dass der Grenzwert von 600 Bq / Kg in 29% der Proben überschritten wurde. Insgesamt wurden 1.175 Proben gezogen, die Werte zwischen 0 bis 8.728 Bq / Kg aufwiesen. D. h. 341 Proben ($1.175 \cdot 0,29 = 340,75$) ~ 341 waren erhöht.¹⁵¹

7.2.6 Rindfleisch

Einige Monate nach der Katastrophe, im Kernkraftwerk Fukushima in Japan, haben die Behörden festgestellt, dass sich erhöhte Konzentrationen von Radionukliden im Rindfleisch befinden. Die Ursache dafür ist, dass die Rinder Stroh und Gras gefressen haben, welches mit Cäsium-137 höher belastet war. Dieses Rindfleisch kam in ganz Japan in den Einzelhandel. Daraufhin wurde ein Verbot der Behörden ausgesprochen, Fleisch aus der Region von Fukushima in den Verkehr zu bringen.¹⁵²

7.2.7. Kartoffeln

Japanische Wissenschaftler haben festgestellt, dass Kartoffeln in der Umgebung von Fukushima mehr radioaktiv sind als anderes Gemüse. Dies liegt daran, dass Iod und Cäsium verstärkt eingebaut werden kann.¹⁵³

Kartoffeln und anderes Gemüse, welches auf dem Acker wächst, weist in Deutschland noch geringe Mengen Radioaktivität auf. Die Werte liegen zwischen 0,001 Bq / Kg für Thorium-

¹⁴⁹ Zitat: Hacker C., Wurzbacher K., Reiche A., (2005), Seite 10

¹⁵⁰ Hacker C., Wurzbacher K., Reiche A., (2005), Seite 10

¹⁵¹ Verbraucherzentrale Hamburg, (2011 c)

¹⁵² Winkler-Hermaden R., Aigner L., Burgstaller K., et. al., (2011), <http://derstandard.at/1310511435647/Japan-Erneut-radioaktiv-verseuchtes-Rindfleisch-entdeckt>, [Letzter Zugriff: 29.10.2011, 15:06 Uhr]

¹⁵³ Blank L. M., (2011), <http://www.suite101.de/news/kartoffeln-radioaktiver-als-andere-gemuesesorten-a113779>, [Letzter Zugriff: 06.11.2011, 20:33 Uhr]

232 und 0,048 Bq / Kg für Radium-226.¹⁵⁴

Ein Grund für diese niedrigen Messwerte könnte darin liegen, dass Kartoffeln auf Feldern mit Tonmineralreichen Böden wachsen. Somit werden einige Radionuklide an diese Tonminerale gebunden und sind für die Kartoffelpflanze nicht verfügbar.

7.3 Bestrahlung von Lebensmitteln zur Konservierung:

Heutzutage kann man viele verschiedene Technologien verwenden, um Lebensmittel länger haltbar zu machen. Eine davon ist die Lebensmittel durch energiereiche Strahlung zu bestrahlen. In diesem Fall kommen UV-, β -, Röntgen oder γ -Strahlung zum Einsatz. Weiter kann man in Strahlung unterscheiden, die auch in die Tiefe eindringt, wie die drei letztgenannten. UV-Strahlung dagegen bleibt auf der Oberfläche. Die Strahlen dürfen laut Gesetz nicht zu energiereich sein, damit in Lebensmitteln keine Kernreaktionen ablaufen. Es werden ausschließlich die Mikroorganismen abgetötet.¹⁵⁵

Doch eine Veränderung im Lebensmittel ist unvermeidlich, weil bereits die Absorption von 10 Kgy (Kilo Gray) (10.000 Gy) die Temperatur um 2,5°C erhöht. Außerdem werden auch Radikale gebildet, wie OH-Gruppen (Hydroxy-Gruppe). Um die Keimzahl in Lebensmitteln zu verringern, benötigt man durchschnittlich 2.000 Gy, um auch sporenbildende Bakterien abzutöten müssen zwischen 20.000 bis 50.000 Gy aufgewendet werden. Um alle Viren zu inaktivieren, müssen etwa 300.000 Gy verwendet werden.¹⁵⁶

8. Auswirkungen von radioaktiver Strahlung auf den Menschen:

8.1 Strahlungseinwirkungen auf den Menschen:

Der Mensch ist permanent radioaktiver Strahlung ausgesetzt. Dies stammt vor allem aus den natürlichen Radionukliden, Kalium-40, Uran-235, Uran-238, Radium-226, Radon-222 und weitere. Diese Radionuklide befinden sich im Boden gelangen somit auch in Lebensmittel. Der natürliche Beitrag beträgt im Durchschnitt 2,1 mSv pro Jahr durch alle natürlichen Radionuklide in Deutschland. Dieser Wert von 2,1 mSv ist jedoch ausschließlich ein Mittelwert.

Die tatsächlichen Werte schwanken zwischen 1 bis 10 mSv pro Jahr, je nach Region. Von der

¹⁵⁴ Bundesamt für Strahlenschutz, (2010), <http://www.bfs.de/de/ion/nahrungsmittel/nahrung.html>, [Letzter Zugriff: 28.10.2011, 15:18 Uhr]

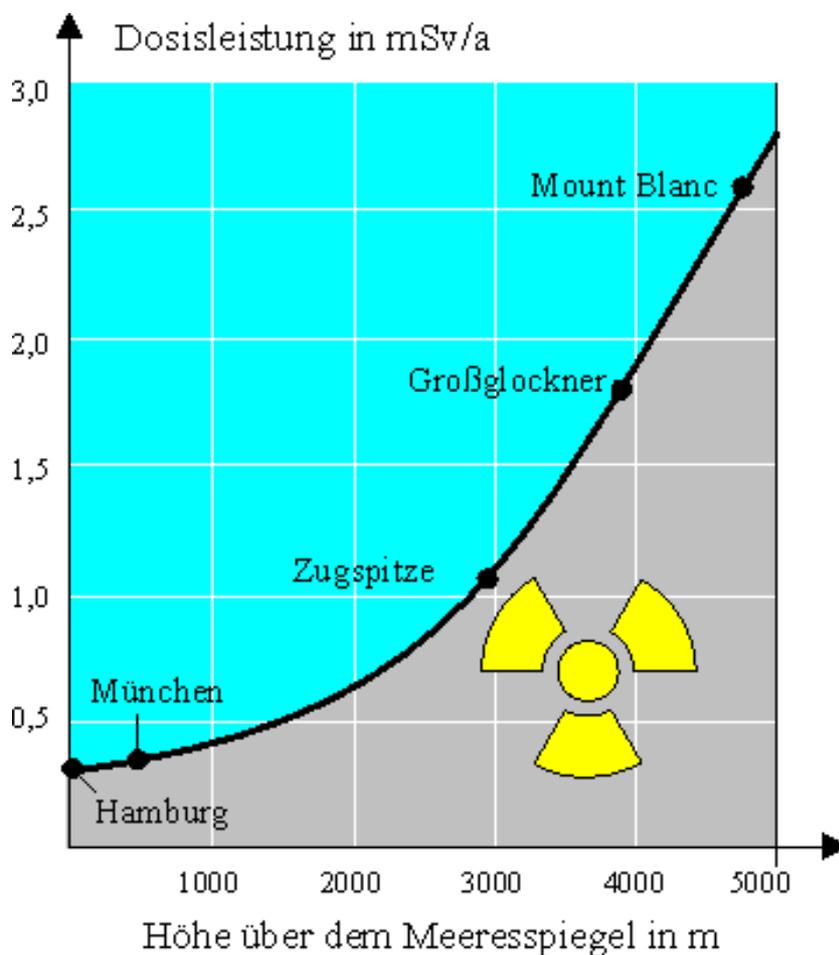
¹⁵⁵ Diehl J. F., (2003), Seite 157

¹⁵⁶ Diehl J. F., (2003), Seite 158

Sonne und dem Weltall gelangt kosmische Strahlung auf die Erde. Die kosmische Strahlung besteht hauptsächlich aus Energiereichen Teilchen und γ -Strahlung. Diese Strahlung wird durch Luft teilweise absorbiert. D. h. je höher man sich befindet, desto stärker ist auch die Strahlung. Auf Meereshöhe liegt die Höhe der Strahlung bei 0,3 mSv.¹⁵⁷

Doch nicht nur natürliche Strahlung trifft auf den Menschen auch künstliche, vom Menschen erzeugte Strahlung. In diesem Zusammenhang macht die medizinische Diagnostik den größten Teil, mit 0,3 mSv pro Jahr, aus.¹⁵⁸

Abbildung 19: Dosisleistung in Beziehung zur Höhenlage:¹⁵⁹



Hamburg liegt etwa 6 m über Normal Null (NN) und die Strahlung liegt dort bei ca. 0,35 mSv pro Jahr.

München befindet sich etwa auf 518 m NN und die Strahlung liegt bei 0,38 mSv pro Jahr. Die

¹⁵⁷ Rupprecht-Gymnasium, (o.J.), http://www.leifiphysik.de/web_ph12/umwelt_technik/11belast/hoehen.htm, [Letzter Zugriff: 29.10.2011, 15:12]

¹⁵⁸ Lichtenberg W., (2011), Seite 294

¹⁵⁹ Abb. 20: http://www.leifiphysik.de/web_ph12/umwelt_technik/11belast/hoehen.htm, [Letzter Zugriff: 29.10.2011, 15:12 Uhr] und <http://www.code-knacker.de/normalnull.htm>, [Letzter Zugriff: 29.10.2011, 15:14 Uhr]

Zugspitze ist die höchste Erhebung in Deutschland, mit einer Höhe von 2.962 m NN, und die Dosisleistung liegt dort bei ca. 1,1 mSv pro Jahr. In Deutschland befindet sich die durchschnittliche Dosisleistung bei 0,3 mSv pro Jahr.

Wie bereits erwähnt, ist die kosmische Strahlung in größeren Höhen stärker, so betrifft dies auch das Fliegen in Flugzeugen, die in der Regel eine Reiseflughöhe von 12 Kilometern besitzen. Passagiere die im Jahr etwa 25 Stunden auf Interkontinentalflügen sind, haben eine zusätzliche Strahlenbelastung von 0,2 mSv pro Jahr.

Durch Kohle- und Atomkraftwerke ist der Mensch zusätzlicher Strahlung ausgesetzt. Da man Kohle aus Stollen unter der Erde fördert, sind auch natürliche Radionuklide enthalten die bei der Verbrennung freigesetzt werden. In der Umgebung von Atomkraftwerken ist auch eine leicht erhöhte Strahlung messbar. Der Grenzwert liegt bei 0,3 mSv pro Jahr. Die tatsächlichen Werte liegen zwischen 0,001 und 0,01 mSv pro Jahr. Es ist Pflicht, die Dosis so gering wie möglich zu halten und den Grenzwert nicht ausschöpfen.

Eine weitere Strahlenexposition gelangt durch die Medizin in den Menschen. Vor allem sind Strahlentherapien und Röntgen relevant. Durch das Röntgen liegt die effektive Dosis pro Person bei 1,8 mSv.¹⁶⁰

Im Flugzeug liegt die Strahlenexposition höher als auf dem Boden, da die Höhenstrahlung mehr Einfluss besitzt. Doch auch die geographische Lage ist entscheidend, wie hoch die Strahlung ist. Je näher man sich der beiden Pole befindet, desto höher ist die Strahlung. Im Durchschnitt ist Flugpersonal zwischen 1 bis 6 mSv im Jahr zusätzlich belastet.¹⁶¹

Laut Deutschem Gesetz, ist Flugpersonal seit dem Jahr 2003, welches auf Transatlantik Flügen eine effektive Dosis von mehr als 1 mSv ausgesetzt ist, gezwungen jährliche Ärztliche Kontrollen durchzuführen. Der Gesetzliche Höchstwert, darf 20 mSv nicht überschreiten.¹⁶²

8.2 Strahlenkrankheit:

Unter der Strahlenkrankheit bezeichnet man Symptome, die auf Grund von ionisierender Strahlung auftreten.¹⁶³

In Europa besteht heutzutage keine Gefahr durch den Verzehr von Lebensmitteln an Symptome der Strahlenkrankheit zu leiden. In Deutschland produzierte Lebensmittel sind entweder gering oder gar nicht radioaktiv belastet. Importierte Lebensmittel, vor allem aus der

¹⁶⁰ Bundesamt für Strahlenschutz, (2008), Seite 14 ff.

¹⁶¹ Bundesamt für Strahlenschutz, (2008), Seite 19

¹⁶² Bundesamt für Strahlenschutz, (2008), Seite 29

¹⁶³ Microsoft® Encarta® 2009 [DVD] „Strahlenkrankheit“

Umgebung um Fukushima werden strengen Kontrollen unterzogen, sodass auch von diesen Lebensmitteln keine Gefahr für die deutsche Bevölkerung ausgeht. Wie das Rechenbeispiel auf Seite 66 zeigt, ist die Belastung für den Menschen gering, auch wenn Lebensmittel bis zu 3.000 Bq belastet sind und man 0,5 Kg davon verzehrt, erhält man eine zusätzliche Dosis von ca. 0,02 mSv.

Ab 0,5 Sievert, nimmt man an, dass das Krebsrisiko erhöht ist und erste Symptome wie Kopfschmerzen auftreten können. Um 1 Sievert, kann es zu Symptomen kommen, wie Übelkeit, Erbrechen und Durchfall. Außerdem sterben durchschnittlich 10% der Menschen in den ersten 4 bis 6 Wochen nach der Bestrahlung.

Zwischen 1 und 2 Sievert, kann es zu Müdigkeit, Übelkeit, Erbrechen, Durchfällen und Haarausfall kommen und 30 bis 40% der Menschen sterben an den Folgen. Zwischen 2 bis 3 Sievert, verstärkt sich der Haarausfall und Schädigungen der Blutbildenden Zellen beginnen. Zusätzlich sterben 50% der Menschen und das Risiko an Krebs zu erkranken steigt um 20%. Allgemein kann man davon ausgehen, dass pro Sievert die Krebswahrscheinlichkeit um ca. 5% steigt. Zwischen 3 bis 4 Sievert, treten Blutungen, vor allem im Mund auf und Zellen werden stärker geschädigt. Ab 4 Sievert, spricht man bereits von Akuter Strahlenkrankheit. Ab 6 Sievert liegt die Sterblichkeitsrate bei 90%. Zwischen 6 bis 10 Sievert, tritt bei fast allen Menschen der Tod nach etwa 4 Wochen ein. Zwischen 10 bis 20 Sievert, tritt der Tod nach einer bis 2 Wochen ein, über 20 Sievert lebt man durchschnittlich noch wenige Tage, bis zum Ableben und ab 50 Sievert, sterben alle Menschen innerhalb weniger Stunden. Bereits wenige Sekunden nach einer Strahlenbelastung von 50 Sievert, tritt Koma ein und wenige Stunden später versagt das gesamte Nervensystem und der Tod tritt ein. Ab 80 Sievert, stirbt ein Mensch innerhalb weniger Augenblicke.

Die Helfer der Tschernobyl-Katastrophe, waren Bestrahlungen bis zu 16 Sievert ausgesetzt.¹⁶⁴

8.2.1 Akute Strahlenschäden (Deterministische Strahlenwirkung):

Es ist bekannt, dass jede Strahlenbelastung, unabhängig wie hoch sie ist, eine schädigende Wirkung auf den menschlichen Körper ausübt.

Akute Strahlenschäden sind die Schäden, die unmittelbar nach bzw. noch während der Bestrahlung zu beobachten sind. In der Regel treten derartige Symptome einige Wochen, bis 90 Tage nach der Bestrahlung auf. Daraus lässt sich schließen, dass die Dosis relativ hoch

¹⁶⁴ Böhm-Dittmer D., Driesner H., Gänger J., et. al., (2011), <http://www.n-tv.de/Spezial/Die-Folgen-fuer-den-Menschen-article2822641.html>, [Letzter Zugriff: 29.10.2011, 15:19 Uhr]

sein muss. Überschreitet die Dosis einen Schwellenwert, so treten Deterministische Strahlenwirkungen ein. Die Hohe Strahlendosis, führt zur Schädigung vieler Körperzellen. In geringem Ausmaß, können derartige Schäden von körpereigenen Reperaturmechanismen korrigiert werden. Sind jedoch zu viele Zellen geschädigt worden, sind diese Reperaturmechanismen überfordert. Dies tritt im Durchschnitt bei einer Gesamtkörperdosis von 500 mSv auf. Ab 5.000 mSv Gesamtkörperdosis sterben fast alle Menschen.¹⁶⁵

Anfängliche Symptome bei niedrigeren Dosen unter 500 mSv sind: Appetitlosigkeit, Übelkeit, Erbrechen, Kopfschmerzen und Durchfall. Ab einer höheren Dosis kommt es zu Haarausfall, sowie Schädigung von Organsystemen, wie der Magen-Darm-Trakt, Nervensystem, Schleimhäute und blutbildende Systeme, wie das Knochenmark. Langfristig erhöht sich die Wahrscheinlichkeit an Krebs zu erkranken. Da jeder Mensch individuell ist, können bei jedem etwas unterschiedliche Symptome bei verschiedenen Dosen feststellbar sein. Ist der menschliche Körper etwa einem Gray (Gy) ausgesetzt bzw. mehr als 30% des Körpers, kann es bereits zu akuten Strahlenschäden kommen. Die häufigsten Symptome bei einem Gray sind Kopfschmerzen, Unwohlsein, Rückgang der Blutzellen, Hautrötungen und Blutungen, besonders des Zahnfleisches. Ab einer Dosis von 4 Gray sterben etwa 50% der Menschen an den Folgen innerhalb von 30 Tagen nach der Bestrahlung. Liegt die Dosis über 5 Gray, erleiden die Menschen Erbrechen und schwere Durchfälle und damit verbunden, einen großen Flüssigkeitsverlust. In der Regel sterben diese Menschen innerhalb von 10 bis 14 Tagen. Nur wenige überleben. Liegt die Dosis bei 20 Gray, werden zusätzlich Nerven geschädigt, was zu Krämpfen und zum Koma führt und die Menschen sterben innerhalb weniger Tage. Bei 100 Gray sterben die Menschen innerhalb von wenigen Stunden. Unter akuten Strahlenschäden versteht man solche, die nach wenigen Minuten bis 90 Tagen nach der Bestrahlung auftreten. Die Wahrscheinlichkeit zu überleben hängt von der Höhe der Dosis und der Schnelligkeit der medizinischen Hilfe ab.

Bei der Tschernobyl Katastrophe wurden maximal 16 Gray in der Umgebung freigesetzt, die die Helfer ausgesetzt waren. Bei diesen Helfern traten erste Symptome innerhalb von 30 Minuten auf (Erbrechen und Durchfälle). Doch die Dosis war in diesem Fall nicht die einzige Gefahr, weil die Helfer noch zusätzlich giftige und radioaktive Stoffe eingeatmet haben. Zwar wurden diese Menschen in modernen Kliniken behandelt, aber dennoch starben über 90% der Menschen an den Folgen der Bestrahlung und an giftigen Stoffen. Aus der Gruppe die

¹⁶⁵ Bundesamt für Strahlenschutz, (2008), Seite 25

geringerer Strahlung ausgesetzt war, um 1 Gray herum, starb niemand, obwohl Symptome aufgetreten sind.¹⁶⁶

8.2.2 Nichtakute Strahlenschäden (Stochastische Strahlenwirkung):

Unter nichtakuten Strahlenschäden versteht man Symptome, die später als 90 Tage auftreten. Diese Schädigungen treten mit bestimmten Wahrscheinlichkeiten auf. Die Erscheinung ist jedoch erst Jahre, bis Jahrzehnte später sichtbar.¹⁶⁷

Es ist abhängig von der Strahlenexposition, je höher diese war, bzw. über einen längeren Zeitraum, desto wahrscheinlicher ist, dass ein Folgeschaden entsteht. Die häufigsten Krebsarten sind Schilddrüsen- (Struma maligna) und Blutkrebs (Leukämie).¹⁶⁸

Man führt bereits seit Jahren regelmäßige Beobachtungen an Personen durch, die über einen längeren Zeitraum mit niedriger Radioaktivität bestrahlt wurden. Die Ergebnisse führen dazu, dass bei stärkerer Bestrahlung die Todesrate linear ansteigt. Doch bei geringen Strahlungen sind die statistischen Werte nicht eindeutig belegbar. D. h. bei geringeren Strahlenbelastungen ist man sich nicht ganz sicher, ob der Tod mit der Einwirkung der Strahlung zusammenhängt. Das liegt vermutlich daran, dass bei der Versuchsgruppe viele weitere Faktoren (Umwelteinflüsse) eine Rolle spielen könnten, die im Zusammenspiel zum Tod geführt haben.¹⁶⁹

8.3 Schäden aufgrund radioaktiver Strahlung:

An Tierversuchen, genauer an Mäusen, haben Wissenschaftler herausgefunden, dass eine hohe Strahlendosis auch über einen kurzen Zeitraum zum Tode geführt hat. Senkt man jedoch die Dosis auf einen geringeren Wert und über einen längeren Zeitraum, dann wirkt es in vielen Fällen nicht letal. Daraus geht hervor, dass die Dosis und der Zeitfaktor wichtige Rollen spielen. Der Grund dafür ist, dass der Organismus genügend Zeit hat die aufgetretenen Schäden wieder auszugleichen. Die Messeinheit Sievert pro Zeiteinheit berücksichtigt die Stärke der Strahlung, biologische Wirksamkeit und die Dosiszeit.¹⁷⁰

¹⁶⁶ Microsoft® Encarta® 2009 [DVD] „Strahlenkrankheit“

¹⁶⁷ Bundesamt für Strahlenschutz, (2008), Seite 25

¹⁶⁸ Microsoft® Encarta® 2009 [DVD] „Strahlenkrankheit“

¹⁶⁹ Diehl J. F., (2003), Seite 26

¹⁷⁰ Diehl J. F., (2003), Seite 22

8.6 Gesundheitliche Konsequenzen nach einer Atomkatastrophe:

Während einer Atomkatastrophe, unabhängig davon, ob es sich um eine Atombombe oder einen Kernreaktorunfall handelt. Die Konsequenzen sind, dass Menschen mit Radionukliden belastet werden. Die Hauptkernzerfälle in Atomkraftwerken bestehen aus Uran und Plutonium. Doch durch die Zerfälle der Atome entstehen weitere instabile Atomkerne, die ebenfalls radioaktiv sind. Bei einem Defekt treten somit sehr viele verschiedene Stoffe aus. Dabei ist besonders die nähere Umgebung betroffen, weil die Radionuklide durch die Explosion über eine gewisse Distanz bereits verteilt werden. Durch Wind und andere physikalische Einflüsse vergeht Zeit, bis die Stoffe eine weitere Distanz überbrückt haben. Dies bedeutet auch, dass kurzlebige Radionuklide wie Iod-131 bereits weitgehend zerfallen sind.

In der ersten Zeit nach der Katastrophe geht die Gefahr hauptsächlich von den radioaktiven Stoffen Iod-131, Cäsium-134 und Cäsium-137 aus.

Wie bereits besprochen, besitzt Iod-131 eine geringe physikalische Halbwertszeit von 8,02 Tagen. Dies bedeutet, dass es bereits nach etwa 10 Halbwertszeiten kaum nachweisbar ist. Somit ist eine Zeit von 80 Tagen vergangen. Da es sich bei Iod-131 um einen α -Strahler handelt, ist die schädigende Wirkung auf den Menschen umso größer. Außerdem wird dieses Iod ausschließlich in der Schilddrüse gespeichert, was bei erhöhter Konzentration das Risiko von Schilddrüsenkarzinom prozentual erhöht. Es gibt eine Möglichkeit sich vor diesem Risiko zu schützen. Die sogenannte Iod-Blockade.¹⁷¹

Ist das meiste Iod zerfallen, ist noch ein weiteres Radionuklid wichtig, das Cäsium. Da es eine physikalische Halbwertszeit von 30,17 Jahren besitzt und nicht durch Medikamente verhindert werden kann, muss man sich durch Schutzkleidung, wie Atemmaske, undurchlässiger Anzug und genügend Abstand schützen. Ein weiteres Problem bei Cäsium ist, dass es die gleichen Eigenschaften wie Kalium besitzt und sich somit im menschlichen Körper gut anreichern kann und in Stoffwechsel einbezogen wird. Die biologische Halbwertszeit beträgt ungefähr 3 Monate.¹⁷²

Andere Radionuklide, wie Strontium und Plutonium, sind nicht so flüchtig wie Iod und Cäsium und befinden sich eher in der näheren Umgebung der Katastrophe. Die Besonderheit

¹⁷¹ Bundesamt für Strahlenschutz, (2011), http://www.bfs.de/de/kerntechnik/papiere/japan/strahlenschutz_japan.html, [Letzter Zugriff: 28.10.2011, 13:51 Uhr]

¹⁷² Bundesamt für Strahlenschutz, (2011), http://www.bfs.de/de/kerntechnik/papiere/japan/strahlenschutz_japan.html, [Letzter Zugriff: 28.10.2011, 13:51 Uhr]

von Strontium ist, dass es die gleichen Eigenschaften wie Calcium besitzt und sich somit in Knochen anreichert. Freigesetztes Plutonium hingegen lagert sich an Staubpartikel an und gelangt hauptsächlich durch die Atmung in den Körper des Menschen, genauer in die Lunge. Befinden sich Plutonium-Partikel auf Lebensmitteln, so wird der überwiegende Teil ausgeschieden. Plutonium ist außerdem ein α -Strahler, was ihn noch schädlicher macht. Beide Radionuklide, sowohl Strontium, als auch Plutonium besitzen eine sehr lange physikalische-, als auch biologische Halbwertszeit, die Jahre bis Jahrzehnte andauern kann.¹⁷³

Die Symptome nach einer Strahlendosis, die von der Höhe und der Dauer abhängig sind, so können die Symptome sofort, Stunden, Tage, Wochen, Jahre oder Jahrzehnte nach einer Strahlenexposition auftreten, wie beispielsweise: Verbrennungen der Haut, unstillbare Blutungen, Erbrechen, Kollaps des blutbildenden Systems, Zusammenbruch, Leukämie, Krebs (Schilddrüsenkarzinom) oder Tod.¹⁷⁴

In dem Zeitraum zwischen 1991 und 2005 wurden in Belarus, Ukraine und Gebieten Russlands etwa 6.900 Schilddrüsenkarzinome registriert. Ungewöhnlich war, dass diese Art von Krebs bereits 4 Jahre nach der Tschernobyl Katastrophe gemessen wurde. Im Normalfall muss bei Schilddrüsenkrebs die Schilddrüse entfernt werden. Daraus resultiert, dass die Patienten täglich Tabletten einnehmen müssen, um die Funktion der Schilddrüse ersetzen zu können. Die Erkrankungsrate bei Krebs stieg um das 6-Fache an. 10 Jahre nach der Katastrophe, trat verstärkt Leukämie auf, überwiegend bei Menschen, die sich auch noch nach dem Unglück in der Nähe des explodierten Kernkraftwerks befunden haben. Diese Erkrankung hatte einen Anstieg von 2,2-mal zur Folge.¹⁷⁵

8.8 Iod-Blockade:

Die Iod-Blockade schützt Menschen vor dem Risiko an Schilddrüsenkrebs er erkranken. Bei diesem Verfahren, nehmen Menschen stabiles Iod in Form von „Kaliumiodid“ Tabletten ein. Dies soll bewirken, dass sich das stabile Iod in der Schilddrüse anreichert und so kein instabiles aufgenommen werden kann. Diese Tabletten sollte man nur mit Absprache eines Arztes konsumieren, da es zu Nebenwirkungen kommen kann, wie z.B. zu einer Schilddrüsenüberfunktion (Hyperthyreose).

Da die Entfernung zu Japan etwa 9.000 Km beträgt, kann man in Deutschland entweder sehr

¹⁷³ Bundesamt für Strahlenschutz, (2011), http://www.bfs.de/de/kerntechnik/papiere/japan/strahlenschutz_japan.html, [Letzter Zugriff: 28.10.2011, 13:51 Uhr]

¹⁷⁴ Bundesamt für Strahlenschutz, (2011 b), Seite 13

¹⁷⁵ Bundesamt für Strahlenschutz, (2011 b), Seite 15

geringe bzw. keine messbaren Konzentrationen an Radionukliden erwarten. Somit wird davon abgeraten derartige Iod Tabletten einzunehmen.¹⁷⁶

8.9 Strahlung in der Medizin:

Die Radioaktivität wird auch unter anderem für medizinische Zwecke genutzt, wie diagnostische Anwendungen durch Röntgenstrahlung, um Knochen sichtbar zu machen, oder eine Strahlentherapie zur Bekämpfung von Krebs. Zwar gibt es auch für die in der Medizin verwendete Radioaktivität Nebenwirkungen, jedoch werden diese akzeptiert, um dem Patienten zu helfen. In den letzten 10 Jahren, sind die Röntgenuntersuchungen in Deutschland rückläufig. Ärzte versuchen auf alternative Arten der bildgebenden Verfahren zurückzugreifen, um die Strahlenmenge so gering wie möglich zu halten. Doch es werden ca. $1,3 \cdot 10^8$, entspricht (130.000.000) Röntgenuntersuchungen pro Jahr in Deutschland durchgeführt. Dabei durchdringen diese Strahlen den menschlichen Körper und werden zu einem Teil von den Knochen absorbiert, da die Strahlung an Knochen ein Hindernis findet, im Gegensatz zu Muskeln, Haut und Sehnen.¹⁷⁷

In den letzten Jahren, wurden die Verfahren so verbessert, dass immer geringere Dosen verabreicht werden können, die dennoch den gleichen Effekt haben. Die Idee der Bestrahlung von Krebs ist, dass Krebszellen anfälliger für radioaktive Strahlung sind, als gesundes Gewebe. Somit wird der Krebs durch die Bestrahlung vernichtet und das gesunde Gewebe weitestgehend verschont.¹⁷⁸

Ärzte müssen entscheiden, ob beim Patienten ein Röntgen durchgeführt werden muss, oder nicht. Gibt es Alternativen, die ebenfalls zufriedenstellende Lösungen bieten, so ist der Arzt nach Internationalen Bestimmungen verpflichtet die Alternative Behandlung vorzunehmen. Laut Strahlenschutz, gilt, dass das „ALARA-Prinzip“ angewendet wird. Es bildet die Abkürzung für „As Low As Reasonably Achievable“. (Die Strahlenexposition soll so gering wie möglich gehalten werden).¹⁷⁹

¹⁷⁶ Bundesamt für Strahlenschutz, (2011), http://www.bfs.de/de/kerntechnik/papiere/japan/strahlenschutz_japan.html, [Letzter Zugriff: 28.10.2011, 13:51 Uhr]

¹⁷⁷ Bundesamt für Strahlenschutz, (2008), Seite 20

¹⁷⁸ Lunow R., et al., (2011), <http://www.cancerlink.org/radioaktivitat-in-der-medizin-nutzen-und-schaden>, [Letzter Zugriff: 29.10.2011, 15:30 Uhr]

¹⁷⁹ Bundesamt für Strahlenschutz, (2008), Seite 26

9. Historie:

Bereits im Jahre 1896 hatte Antoine Henri Becquerel die natürliche Radioaktivität zufällig entdeckt.

Er bewahrte ein uranhaltiges Gestein in der Nähe einer Fotoplatte auf. Diese Fotoplatte war mit lichtundurchlässiger Folie bedeckt.

Fotoplaten sind mit „Silberhalogeniden“ beschichtet, die Lichtempfindlich sind und durch chemische Reaktionen, machen sie den hell-dunkel Kontrast sichtbar. So konnte man anschließend Schwärzungen an den Stellen erkennen, wo sich das Uran befand. Daraus schloss Becquerel, dass einige Stoffe unsichtbare Strahlung aussenden, die auch lichtundurchlässige Folien durchdringen können.¹⁸⁰

Im Jahr 1898 haben Marie und Pierre Curie weitere radioaktive Stoffe, wie Polonium und Radium, entdeckt und mit denen experimentiert.

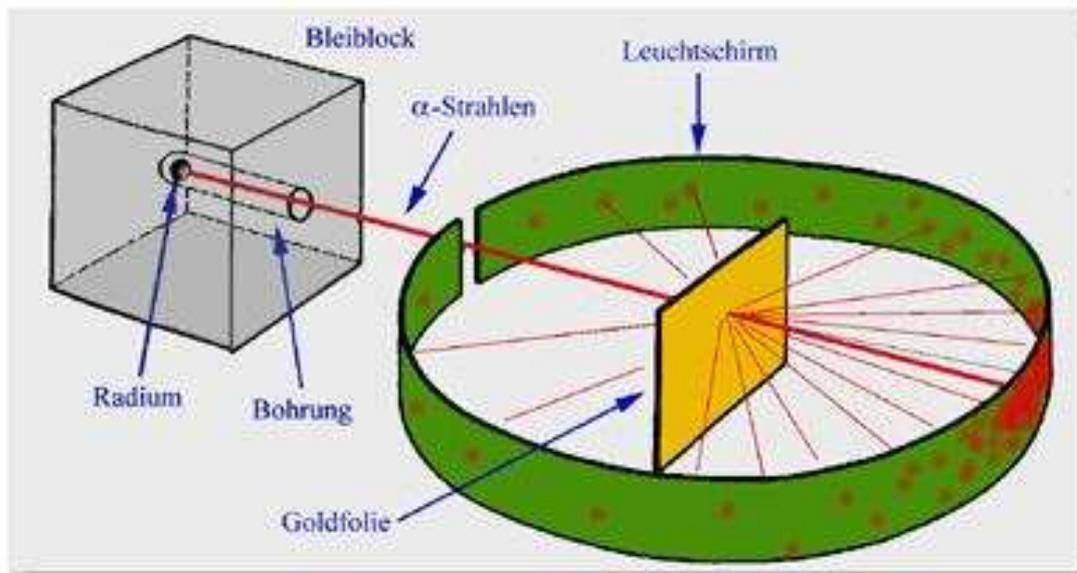
Im Jahr 1911 führte Ernest Rutherford Experimente mit α -Strahlung durch. Dieses Experiment ist unter dem Namen „Rutherford'scher Streuversuch“ bekannt. Im Ausgangsversuch wurde die Streuung von Alpha-Teilchen an Gold Atomkernen untersucht. Dafür verwendete er eine Goldfolie, die auf eine dicke von 0,0004 mm gepresst war. D. h. die Goldfolie bestand nur aus wenigen Goldmolekülen übereinander. Diese Folie wurde mit α -Strahlung beschossen. Um diese Folie herum befanden sich Fotoplaten. Rutherford registrierte bei diesem Experiment, dass die meiste Strahlung durch die Folie drang und direkt dahinter eine Schwärzung der Fotoplaten hervorrief. Nur ein geringer Teil der Strahlung wurde abgelenkt bzw. reflektiert. Dadurch konnte die These aufgestellt werden, dass Atome aus Protonen, Neutronen und Elektronen bestehen, wobei sich die Protonen und Neutronen im Kern befinden und zwischen dem Atomkern und der Hülle leerer Raum ist. Der Grund für diese Aussage war, dass das Durchdringen der Strahlung so zu erklären war, dass die Helium-Kerne zwischen den Atomkernen des Goldes durchflogen. Das Auftreffen auf Elektronen aus der Atomhülle war unwahrscheinlich, da diese Elektronen klein sind und eine sehr hohe kinetische Energie besitzen. Trafen α -Teilchen die Atomkerne des Goldes tangential, so wurden die Heliumkerne abgelenkt. Erfolgte jedoch ein frontaler Zusammenstoß der α -Teilchen mit den Goldatomkernen, so wurden die Teilchen reflektiert.¹⁸¹

Die nachfolgenden Abbildungen zeigen diesen Versuch:

¹⁸⁰ Hünten M., Pfenning R., (1996), Seite 44

¹⁸¹ Mortimer, C. E., Müller, U., (2010), Seite 20

Abbildung 20: Rutherfords Streuversuch mit α -Teilchenbeschuss von Goldfolie:¹⁸²

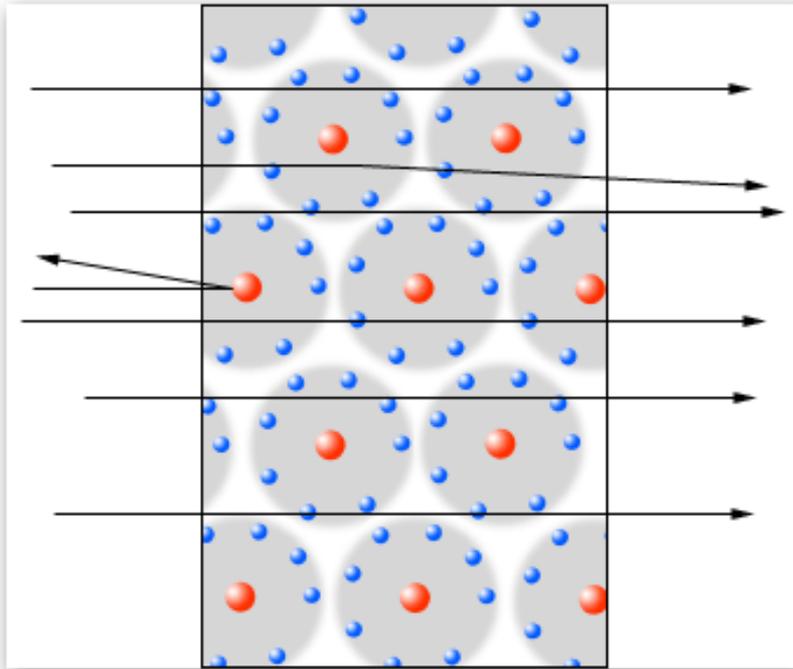


Diese Abbildung zeigt den Versuchsaufbau, den Rutherford durchgeführt hatte. Als α -Strahler wurde ein radioaktives Isotop des Radiums verwendet, welcher in einem Bleiblock steckte, damit keine weitere Strahlung austreten konnte, als durch das eine Loch. Damit die α -Teilchen nicht auf Luftmoleküle stießen, musste dieser Versuch im Ausschluss von Luft durchgeführt werden.

Die Strahlung traf im Anschluss direkt auf die Goldfolie, welche hier in Gelb dargestellt ist. Durch die roten Linien kann man den Weg der α -Strahlung verfolgen und an welchen Stellen die Fotoplatten geschwärzt wurden. Man erkennt deutlich, dass die meiste Strahlung in einer geraden Linie durch die Folie gedrungen ist.

¹⁸²Abb. 23: Helmich U., (2004), <http://www.u-helmich.de/che/09/03-atombau/atombau03.html> [Letzter Zugriff: 29.10.2011, 15:59 Uhr]

Abbildung 21: Rutherford's Auswertung des Streuversuchs:¹⁸³



Diese Abbildung veranschaulicht eine vereinfachte Darstellung der einzelnen Gold-Atome. Die roten Kugeln stellen die Atomkerne dar. Die blauen Kugeln stellen die Elektronen, welche sich in der Atomhülle befinden dar.

Die Pfeile, stellen die α -Teilchen dar, womit die Goldfolie beschossen wurde. Man erkennt an den Stellen, wo sich keine Atomkerne des Goldes befinden, dass die Strahlung ungehindert hindurchdringt. Gibt es einen direkten Zusammenstoß, so werden die Teilchen reflektiert.

Es gibt mehrere Arten, wie Radioaktivität entsteht. Eine Quelle war durch die Entstehung der Erde (Genesis). Dabei sind Isotope, wie Uran, Thorium und Kalium entstanden. Eine weitere Quelle ist die ständige Neubildung durch die sogenannte Höhenstrahlung der Isotope Wasserstoff-3 (Tritium) und Kohlenstoff-14.¹⁸⁴

Eine große Menge dieser Radionuklide, die durch Höhenstrahlung gebildet wurden, werden in Wäldern und Ozeanen gespeichert.

¹⁸³ Abb. 24: Helmich U., (2004), <http://www.u-helmich.de/che/09/03-atombau/atombau03.html> [Letzter Zugriff: 29.10.2011, 15:59 Uhr]

¹⁸⁴ Rieth U., Kanisch G., (2011), Seite 31

„So enthält 1 Kubikmeter Meerwasser typischerweise 1.000 Bq Tritium, 4 Bq Kohlenstoff-14, 40 Bq Uran-238, 4 Bq Radium-226, 4 Bq Polonium-210 und 12.000 Bq Kalium-40.“¹⁸⁵

Dieses Zitat gibt darüber Auskunft, in welcher Konzentration die Radionuklide im Meerwasser angereichert sind.

Weitere Quellen bilden künstliche Radionuklide, die durch Atomtests, vor allem in den 50er und 60er Jahre, sowie die beiden Atomkraftwerkskatastrophen von Tschernobyl (1986) und Fukushima (2011) auf der Erdoberfläche verteilt wurden.

9.1 Kernspaltung:

Bereits im Jahr 1938 haben die Wissenschaftler Otto Hahn und Friedrich Straßmann beobachtet, dass beim Beschuss von Urankernen mit Neutronen das Uran in etwa zwei gleichgroße Teile zerfällt. Dieses Phänomen tritt ein, weil der Atomkern, wie auch bei allen anderen Atomen, durch Kernkräfte zusammengehalten wird. jedoch steht diese physikalische Kraft entgegengesetzt zur Abstoßungskraft der Protonen untereinander. Durch den Beschuss von Neutronen, treten so starke Schwingungen auf, dass der Nukleus in zwei Teile (Spaltprodukte) zerfällt. Lise Meitner, bezeichnete diesen Prozess als „Kernspaltung“.

Weitere Messungen haben ergeben, dass während der Kernspaltung Energie frei wird, die hauptsächlich als kinetische Energie (Bewegungsenergie) entweicht. Durch Abbremsen der Bruchstücke, ist es möglich die kinetische- in Wärme Energie zu überführen.

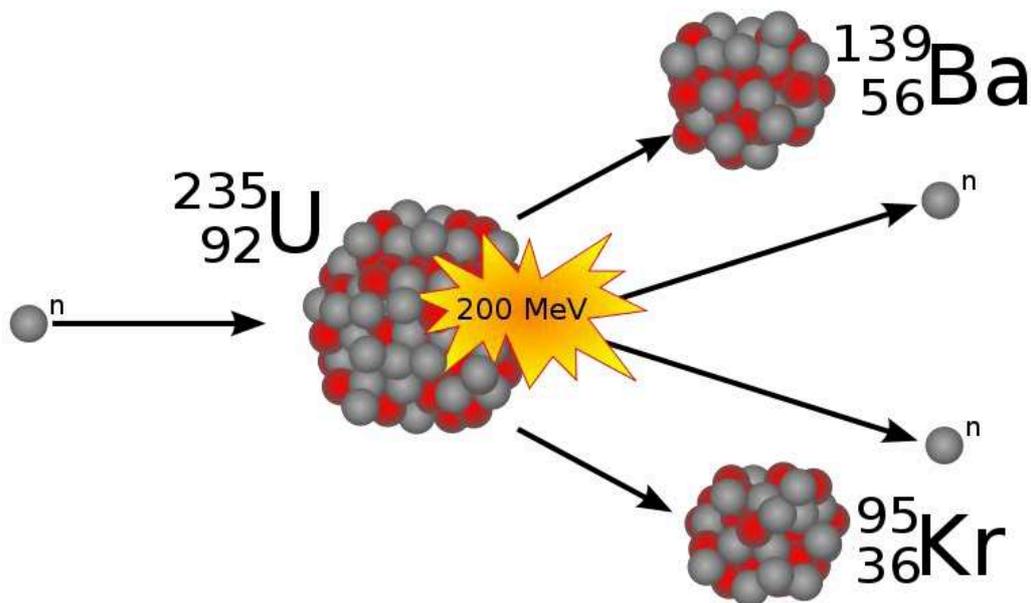
Ein Jahr später, fand Lise Meitner heraus, dass für die Kernspaltung das nur zu einem Bruchteil (0,72%) enthaltene Uran-235 verantwortlich ist. D.h. da der überwiegende Anteil (99,27%) aus Uran-238 besteht, ist es nicht möglich Natururan zur Energiegewinnung zu verwenden. Dazu muss das Uran-235 mithilfe von aufwendigen Trennverfahren auf etwa 3% angereichert werden.

Im selben Jahr, gelingt es einer französischen Arbeitsgruppe, wo auch Marie Curie und ihr Mann Pierre Curie beteiligt sind eine Bahnbrechende Entdeckung zu machen, dass während der Kernspaltung Neutronen frei werden. Im Durchschnitt pro Spaltung mehr als zwei. Man geht davon aus, dass man mit dieser Spaltung eine Kettenreaktion auslösen könnte, denn die Neutronen als Produkte, stoßen auf weitere Uran-Atome und spalten diese, so könnte man diesen Vorgang in Gang halten und als Waffe verwenden.

¹⁸⁵ Zitat: Rieth U., Kanisch G., (2011), Seite 31

Im Jahr 1942 beginnt die USA mit einer Geheimaktion, um die erste Atombombe zu bauen. Dieses Vorhaben ist auch unter dem Namen „Manhattan-Project“ bekannt geworden.¹⁸⁶

Abbildung 22: Kernspaltung eines Uran-235 Atoms.¹⁸⁷



Auf dieser Abbildung 35, kann man die Spaltung eines Uran-235 Atoms erkennen. Dazu trifft ein Neutron auf das Uran-Atom. Dabei zerfällt das Atom in 2 Spaltprodukte, Barium-139 und Krypton-95. Als Nebenprodukte, entstehen auch pro Spaltung 2 Neutronen und 200 MeV Energie.

Die Spaltprodukte Barium-139 und Krypton-95 sind ebenfalls instabil und zerfallen weiter.

9.2 Atomwaffen:

Unter Atomwaffen, versteht man Bomben, die Energie in Form von radioaktiver Strahlung freisetzen.

Die erste Atombombe, wurde von den USA am 16.07.1945 auf einem Testgelände in Alamogordo (New Mexico) getestet. Als Energiequelle, kann man beispielsweise Plutonium-239 oder Uran-235 verwenden.¹⁸⁸

Diese radioaktiven Isotope müssen konzentriert sein, weil sonst die Detonation gestört sein würde.

¹⁸⁶ Der Brockhaus Multimedia Premium 2009 [DVD] „Kernspaltung“

¹⁸⁷ Abb. 25: Herhoffer J.K., (2011), http://referate.mezdata.de/sj2010/atomkraftwerke_jens-kilian_herhoffer/ausarbeitung/prozesse.html, [Letzter Zugriff: 29.10.2011, 16:03 Uhr]

¹⁸⁸ Microsoft® Encarta® 2009 [DVD] „Atomwaffen“

Dabei ist die Atombombe in der Mitte aus einem dieser beiden Radionuklide zusammengesetzt und außenherum, ist TNT (Trinitrotoluol). Dieses TNT wird gezündet. Durch die Explosion und damit verbundene schnelle Ausbreitung von Druck, erfolgt eine sofortige Spaltung des radioaktiven Materials.¹⁸⁹

Im Jahr 1963 haben die Atomwaffenstaaten den sogenannten „Internationalen Vertrag über die Einstellung von Kernwaffenversuchen in der Atmosphäre, im Weltraum und unter Wasser“ unterzeichnet. Somit ist seit diesem Zeitpunkt die Umweltradioaktivität zurückgegangen, weil viele Radionuklide eine kurze Halbwertszeit besitzen, doch einige hingegen, mit einer sehr langen physikalischen Halbwertszeit von beispielsweise mehreren tausend Jahren bestehen noch zu einem großen Anteil. Zu den Radionukliden, mit einer langen physikalischen Halbwertszeit gehören Strontium-90 und Cäsium-137.¹⁹⁰

Tabelle 8: Anzahl der Atomversuche und Sprengkraft in Mt TNT (Megatonnen TNT):¹⁹¹

Staat	Anzahl	Zeitraum	Sprengkraft (Kernspaltung)	Sprengkraft (Fusion)	Gesamt
USA	195	1945-1962	81,5	72,2	153,7
UdSSR	219	1949-1962	85,3	162	247,3
Großbritannien	21	1952-1958	4,22	3,83	8,05
Frankreich	45	1960-1974	6,17	4,02	10,2
China	22	1964-1980	12,2	8,5	20,7
Gesamt	502	1945-1980	189	251	440

Diese Tabelle zeigt die Anzahl und Sprengkraft der Atomversuche an.

Man kann erkennen, dass Die UdSSR und USA die meisten Atomversuche durchgeführt haben. Diese beiden Staaten, haben zusammen 414 Versuche von 502 durchgeführt. Des Weiteren fällt auf, dass die UdSSR Bomben mit der größten Sprengkraft verwendet hat, weil zwischen den USA und der UdSSR in der Anzahl nur ein kleiner Unterschied besteht, aber

¹⁸⁹ Eiselmaier P., (2011), http://home.schule.at/teacher/hokl/Projekt_4/start5_4.htm [Letzter Zugriff: 29.10.2011, 16:06 Uhr]

¹⁹⁰ Bundesamt für Strahlenschutz, (2008), Seite 24

¹⁹¹ Tab. 9: Diehl J.F., (2003), Seite 70

dieser ist in der Sprengkraft, besonders in der Fusion deutlich größer. Auch im Vergleich zum Beispiel zu Großbritannien. Verzehnfacht man die Anzahl von Großbritannien, so kann man dies mit der UdSSR vergleichen, doch die Sprengkraft bleibt deutlich kleiner.

Die großen Atombomben, haben zu einem Fallout geführt, der sich Weltweit ausgebreitet hat. Doch man kann nicht genau sagen, wie hoch die Radioaktivität vor den Atomversuche war, weil die Messungen erst kurze Zeit später begannen.

9.3 Hiroshima und Nagasaki:

Am 06.08.1945 warf ein Flugzeug des US-Amerikanischen Militärs eine Atombombe über der japanischen Stadt Hiroshima ab. Nach Schätzungen wurden 200.000 Menschen innerhalb von wenigen Tagen getötet. Am 09.08.1945 warfen die USA eine weitere Atombombe über der japanischen Stadt Nagasaki ab, was zu weiteren zahlreichen Todesfällen geführt hatte.¹⁹²

Die Atombombe, die von den Amerikanern über Nagasaki abgeworfen wurde, hatte als Energiequelle Plutonium, welches die Größe eines Tennisballs hatte und konnte dadurch eine Sprengkraft von 20.000 t TNT erzeugen.¹⁹³

9.3.1 Hiroshima Todesfälle:

Ab dem Jahre 1950 bis 1990, wurde eine Überwachung der Personen aus Hiroshima durchgeführt.

In diesem Zeitraum von 40 Jahren haben Wissenschaftler sich die Todesfälle in Folge von Krebs angeschaut und mit der normalen Statistik, ohne Einwirkung von radioaktiver Strahlung verglichen.

Das Ergebnis war, dass es in diesem erwähnten Zeitraum 87 tote an Leukämie und 334 tote an anderen Krebsarten mehr gab.

Die zu beobachtende Gruppe, wurde nochmal in kleinere Gruppen, sogenannte Dosisgruppen unterteilt. Die Trennung erfolgte nach der Intensität der Bestrahlung, die die Menschen zu Zeit der Katastrophe ausgesetzt waren. Dabei selektierten sich 2 Gruppen heraus, wo Aussagen getroffen werden konnten. Die erste Gruppe, bestand aus 1.608 Menschen, die 1 bis 2 Sv ausgesetzt waren. Aus dieser Gruppe, starben 26 Menschen in Folge von Krebserkrankungen. Die andere Gruppe, bestand aus 679 Menschen, die über 2 Sv Bestrahlung ausgesetzt waren. Davon starben 30 Menschen.

¹⁹² Der Brockhaus Multimedia Premium 2009 [DVD] „Kernspaltung“

¹⁹³ Microsoft® Encarta® 2009 [DVD] „Atomwaffen“

Bei den anderen Dosisgruppen, konnte kein Zusammenhang zwischen der Bestrahlung und der Entstehung von Krebs nachgewiesen werden.¹⁹⁴

9.4 Radioaktiver Fallout:

Der Begriff „Fallout“, stammt aus dem englischen und bedeutet übersetzt „Niederschlag“. Es bezeichnet den radioaktiven Niederschlag der sich aus der Detonation atomarer Explosionen ergibt. Die freiwerdenden Radionuklide werden in alle Richtungen verteilt, besonders nach oben in die Atmosphäre. Bei einer entsprechend großen Explosion ist es möglich, dass einige Teilchen bis zu einer Höhe von 40 Kilometern (Stratosphäre) gelangen können. Nach Monaten bis Jahren können diese Teilchen auch noch in mehreren tausend Kilometern Entfernung zur Detonation auf die Erdoberfläche regnen. Der beeinflussende Faktor ist vor allem Wind. Durch die ersten drei Atombomben in New Mexiko, Hiroshima und Nagasaki, stellte man fest, dass der Fallout größer als erwartet war. Dies bedeutete, dass große Mengen radioaktiver Isotope auf die Erdoberfläche gelangten. Bis zum Jahr 1980, wurden weltweit insgesamt 502 Atomtests durchgeführt.¹⁹⁵

Die UDSSR hatte im Zeitraum zwischen 1949 bis 1962 insgesamt in 219 Atombomben 247,3 Megatonnen Sprengkraft verwendet. Im Vergleich dazu hatte die USA in 195 Atombomben 153,7 Megatonnen Sprengkraft eingesetzt.¹⁹⁶

In den Jahren 1954 bis 1958 und 1961 bis 1962, waren die Zeiträume, in denen die USA und UDSSR die meisten Atomexplosionen durchgeführt haben. Während dieser Zeit kamen auch Wasserstoffbomben zum Einsatz, die als Zünder eine Kernspaltungsbombe enthielten und somit eine deutlich höhere Sprengkraft besitzen und zusätzlich zu einem weltweiten Fallout beigetragen haben können.¹⁹⁷

Durch den weltweiten Fallout, wurde das Radionuklid Tellur-132 als Hauptprodukt identifiziert, mit $1,7 * 10^{21}$ Bq. Jedoch besitzt es eine geringe physikalische Halbwertszeit von 76,3 Stunden (3,179 Tage).

Weitere Radionuklide waren in absteigender Reihenfolge Barium-140, mit $7,59 * 10^{20}$ Bq und einer physikalischen Halbwertszeit von 306 Stunden, was 12,75 Tagen entspricht. Das nächst

¹⁹⁴ Diehl J. F., (2003), Seite 26 ff.

¹⁹⁵ Diehl J. F., (2003), Seite 69 f.

¹⁹⁶ Diehl J. F., (2003), Seite 70

¹⁹⁷ Diehl J. F., (2003), Seite 71

häufigste, war Iod-131, mit $6,75 \cdot 10^{20}$ Bq und einer physikalischen Halbwertszeit von 192,48 Stunden, was 8,02 Tagen entspricht.¹⁹⁸

Zwischen den Jahren 1949 bis 1963, wurden die meisten Atombombentests durchgeführt, von vier Staaten, den USA, Russland, Frankreich und Großbritannien. Als Folgen der Tests, starben 11.000 Amerikaner auf Grund des Fallouts. Doch die Zahl der Opfer ist erheblich höher, denn der Fallout breitete sich über die gesamte Erde aus. Die Anzahl der Toten in anderen Ländern der Welt ist unbekannt. Die meisten starben an Leukämie, welche hauptsächlich durch das Isotop Strontium-90 hervorgerufen wurde.¹⁹⁹

9.5 Entwicklung der Radioaktivität in Deutschland:

Aufgrund der Atomtests, hauptsächlich in den 50er und 60er Jahren, stieg die radioaktive Belastung an. Durch ein Abkommen, auf Verzicht von Atomtests jeglicher Art, sank die Belastung bis 1970 deutlich. Bis im Jahre 1986 sich das Unglück von Tschernobyl ereignete und erneut einen deutlichen Anstieg der Radioaktivität mit sich brachte. Zwar kann man diese Strahlung bis heute noch messen, aber sie ist bereits etwas zurückgegangen. Vor allem ist in diesem Zusammenhang das Isotop Cäsium-137 von großer Bedeutung, welches eine physikalische Halbwertszeit von 30,17 Jahren besitzt.²⁰⁰

9.6 Unterscheidung zwischen Atom- und Wasserstoffbombe:

Atombomben wurden das erste Mal am 16.07.1945 in Alamogordo (New Mexiko) getestet. Bei einer Atombombe, muss das spaltbare Material in einer kritischen Masse vorliegen. D.h. ist die Masse zu klein, kommt es zu keiner Kettenreaktion und somit zu keiner Explosion. Erhöht man die Masse, dass eine kritische Masse vorliegt, so findet eine Kettenreaktion statt und eine Explosion ist die Folge. Dies liegt daran, dass bei einer kleinen Masse die Neutronen nicht gehalten werden können, um die Reaktion aufrechtzuerhalten. D.h. sie gehen verloren. Zur Explosion einer Atombombe, wurden verschiedene Verfahren erfunden. Eines davon ist, dass die USA mehrere kleine Massen von spaltbarem Material separat in der Bombe eingebracht transportiert haben. Kurz vor der Explosion wurden diese Massen zusammengeführt, was zu einer kritischen Masse geführt hat. Ein weiteres Verfahren ist die sogenannte Implosion. Dabei befindet sich in der Mitte der Bombe das spaltbare Material und darum hochexplosiver Sprengstoff, der mit Zündern versehen ist. Wird diese Bombe

¹⁹⁸ Diehl J. F., (2003), Seite 73

¹⁹⁹ Microsoft® Encarta® 2009 [DVD] „Strahlenkrankheit“

²⁰⁰ Bundesamt für Strahlenschutz, (2011 b), Seite 9

gezündet, so explodiert der Sprengstoff und die Druckwelle richtet sich in Richtung Mitte und erzeugt einen Druck, der das spaltbare Material zusammenpresst. Dadurch entsteht auch eine kritische Masse und es kommt zur Kernspaltung. 0,5 Kg Uran, besitzen eine Sprengkraft von 9,9 Kt TNT. Neben den Atombomben, gibt es auch Wasserstoffbomben, die ihre Energie aus leichten Atomkernen, wie Wasserstoff erzeugen und zu schwereren verschmelzen, wie Helium. Dabei wird spaltbares Material benötigt, um die Startenergie zu liefern, die zur Kernfusion der leichten Atome benötigt wird. Der Vorgang läuft so ab, dass sich zwei Wasserstoffatome zu Deuterium und drei Wasserstoffatome zu Tritium zusammensetzen. Diese verschmelzen zu Helium. Im Vergleich zur Kernspaltung, besitzt 0,5 Kg Wasserstoffbombe eine Sprengkraft von ca. 29 Kilotonnen TNT Sprengkraft. Dieser Wert kann jedoch nicht mit Sicherheit bestätigt werden, weil es eine Kernfusion aller Wasserstoffatome voraussetzt und dies ist unwahrscheinlich, weil Kernfusionen nur bei mehreren Millionen Grad Celsius ablaufen. Je höher die Temperaturen sind, desto besser ist auch der Wirkungsgrad. Die erste Wasserstoffbombe, wurde am 01.11.1952 von den USA auf dem Eniwetok-Testgelände durchgeführt. Im August 1953, testete auch die UdSSR die erste Fusionswaffe. Ein Jahr später, übertrafen sich die USA, mit der bis dahin größten Fusionswaffe, die 15 Megatonnen besaß. In der Regel bestehen Wasserstoffbomben aus zwei bis drei Stufen.

In der ersten Stufe, bringt man das spaltbare Material, Uran zur Kernspaltung. Diese freiwerdende Energie, erhöht die Temperaturen so stark, dass sich Wasserstoffatome, die sich im Inneren der Bombe befinden verschmelzen (fusionieren). Das Resultat sind Helium-Kerne und Neutronen. In der dritten Stufe, kann die Bombe an der Außenhülle noch mit Uran beschichtet sein. Diese Neutronen und Helium-Kerne treffen auf dieses Uran auf, welches zu einer weiteren Spaltung führt.

Die Auswirkungen auf den Menschen sind vielseitig, weil durch die Explosion eine Druckwelle ausgeht, die je nach Sprengkraft die Umgebung zerstören kann, außerdem eine Hitzewelle, weil sich kurzzeitig mehrere Millionen Grad Celsius einstellen, die auch nach außen befördert werden und sich abschwächen, je weiter die Welle gelangt, aber zu schweren Verbrennungen führen kann. Durch das radioaktive spaltbare Material, gelangt auch radioaktive Strahlung in die Umgebung. Die von außen, beispielsweise durch Fallout auf den Menschen einwirken können, oder von innen, wenn sich dieser Fallout auf Lebensmitteln ablagert.²⁰¹

²⁰¹ Microsoft® Encarta® 2009 [DVD] „Atomwaffen“

10. Radioaktivität in Europa:

Nach der Fukushima Katastrophe am 11.03.2011, wurde von der Europäischen Kommission eine Durchführungsvorschrift 297:2011 vom 25.03.2011 eingeführt.

„ zum Erlass von Sondervorschriften für die Einfuhr von Lebens- und Futtermitteln, deren Ursprung oder Herkunft Japan ist, nach dem Unfall im Kernkraftwerk Fukushima“

In Artikel 2 dieser Verordnung steht:

„Nach dem Unfall im Kernkraftwerk Fukushima am 11. März 2011 wurde die Kommission darüber unterrichtet, dass die Radionuklidgehalte bestimmter aus Japan stammender Lebensmittelerzeugnisse, wie Milch und Spinat, die in Japan für Lebensmittel geltenden Auslöswerte überschreiten. Eine solche Kontamination kann eine Bedrohung für die öffentliche Gesundheit und die Tiergesundheit in der Union darstellen; daher ist es als Vorsorgemaßnahme angezeigt, umgehend Sofortmaßnahmen auf Unionsebene zu treffen, um die Sicherheit der Lebens- und Futtermittel, einschließlich Fisch und Fischereierzeugnisse, deren Ursprung oder Herkunft Japan ist, zu gewährleisten. Da der Unfall noch nicht unter Kontrolle ist, sollten in diesem Stadium Lebens- und Futtermittel aus den betroffenen Präfekturen –unter Berücksichtigung einer Pufferzone – den vor der Ausfuhr vorgeschriebenen Tests sowie Lebens- und Futtermittel aus dem gesamten Hoheitsgebiet Japans einer Stichprobenprüfung unterzogen werden.“

Dieses Zitat sagt aus, dass Lebens- und Futtermittel, die aus der Umgebung des Atomkraftwerks Fukushima kommen zum Teil erhöhte Werte von Radioaktivität aufweisen. Zum Schutz der Bevölkerung und Tieren in Europa, müssen Produkte Stichprobenartig untersucht werden.

Nach dem Unglück von Tschernobyl, wurden die leichteren Radionuklide bis in einige Kilometer Höhe geschleudert. Dabei verteilte sich der überwiegende Teil der Radioaktiven Partikel in der Ukraine, Weißrussland und Russland, da das Atomkraftwerk an dieser

Dreistaaten-Grenze stand. Durch Luftströmungen, waren auch Länder in ganz Europa betroffen.²⁰²

Abbildung 23: Landkarte der Ukraine:²⁰³



Auf dieser Abbildung 36, kann man eine Landkarte der Ukraine erkennen, wo auch die Landesgrenzen eingezeichnet sind. Im Norden der Ukraine, an der weißrussischen Grenze,

²⁰² Bundesamt für Strahlenschutz, (2008), Seite 23

²⁰³ Abb. 26: Huber V., (o.j.), <http://www.weltkarte.com/europa/ukraine/karte-verwaltungsbezirke-ukraine.htm>, [Letzter Zugriff: 29.10.2011, 16:09 Uhr], mit eigener Ergänzung

habe ich einen roten Punkt markiert, wo sich das Atomkraftwerk Tschernobyl befindet. Durch die Explosion im Jahre 1986, sind leichte Radionuklide bis nach Russland gelangt.

In Schweden, liegt der Grenzwert für Wildbret bei 1.500 Bq / Kg. Im Vergleich dazu liegt der Grenzwert in Deutschland bei 600 Bq / Kg. Die Begründung dafür ist, dass schwedische Behörden davon ausgehen, dass die Bevölkerung nicht jeden Tag und in großen Mengen Wildbret verzehrt.²⁰⁴

11. Aktuelle Situation und Zukunft:

Seit dem Jahr 2009 gibt es in Deutschland die „Schwarz-Gelbe-Koalition“ (Zusammenschluss von CDU/CSU und FDP), unter Angela Merkel.

Am 11.03.2011 traf ein Tsunami die Japanische Küste, was zum Ausfall der Kühlung der Kernreaktoren führte. Durch folgte der Super Gau. Kurze Zeit vor der Katastrophe in Fukushima wurde in Deutschland über die Laufzeitverlängerung der zurzeit 17 aktiven Atomkraftwerke debattiert. Dies hätte für die Bundesrepublik Deutschland den Vorteil, dass Geld eingespart werden könnte, da die Arbeitsplätze in den Atomkraftwerken erhalten blieben und keine neuen Energiequellen geplant werden müssten. Nach der Katastrophe in Japan wurde verstärkt über den Atomausstieg diskutiert.

Die Gründe dafür liegen vor allem darin, dass die Bürgerinnen und Bürger verunsichert darüber waren, ob ein Super Gau auch hierzulande wahrscheinlich wäre. Darüber hinaus, würde ein Atomausstieg Umweltfreundlich sein, weil keine Radioaktiven Abfallprodukte entstehen. Ein Ergebnis dieser Debatten ist in naher Zukunft nicht zu erwarten. Auch in Zukunft wird der Mensch durch vielerlei Quellen weiterhin Radioaktivität ausgesetzt sein. Durch Lagerung des Atommülls, natürlicher Radioaktivität, wie Höhen- und Terrestrischer Strahlung, die auch zur Strahlenexposition beiträgt.

Das Risiko einer Kernschmelze ist in Deutschland zwar gering, aber dennoch nicht unmöglich. So kann es so lange Menschen auf die Energiegewinnung durch Kernkraftwerke angewiesen sind zu einer Kernschmelze kommen und somit zum Austritt von radioaktiver Strahlung.

²⁰⁴ Apfel P., (2011), http://www.focus.de/panorama/welt/tsunami-in-japan/wissenschaftliche-hintergruende/radioaktive-lebensmittel-wildschwein-strahlt-mehr-als-sushi_aid_610155.html, [Letzter Zugriff: 29.10.2011, 16:13 Uhr]

12. Glossar

Der Mensch ist permanent verschiedenen Arten von Strahlung ausgesetzt, ob Sonnen-, Rundfunk-, Mikrowellen-, oder radioaktive Strahlung. Strahlung ist eine Form von Energie. Diese genannten Strahlungsarten unterscheiden sich in der Wellenlänge Lambda (λ) und Frequenz (ν).

$$\lambda * \nu = c$$

c ist die Lichtgeschwindigkeit, die eine Naturkonstante ist ($2,998 * 10^8$ m/s).

Je kürzer die Wellenlänge, desto energiereicher ist die Strahlung. Die Energie ist entscheidend, ob es Auswirkungen auf den Menschen geben kann. Aus diesem Grund, wird Strahlung in zwei Kategorien unterteilt: Die Ionisierende und die nichtionisierende Strahlung. Ionisierende Strahlung besitzt so viel Energie, dass diese beim Auftreffen auf Materie in der Lage ist, diese zu verändern. Dadurch können beispielweise Zellen beeinflusst werden. Nichtionisierende Strahlung beinhaltet, im Gegensatz zur ionisierenden Strahlung nicht so viel Energie und hat dadurch keinen Einfluss auf andere Atome. Mikro-, Radio- und andere langwellige Strahlungen, gehört zu den Nichtionisierenden Strahlen.²⁰⁵

Tabelle 9: Strahlungsarten und ihre Wellenlängen in Metern:²⁰⁶

Strahlungsart	Wellenlänge in m
Langwellen	1.000 bis 10.000
Mittelwellen	100 bis 1.000
Kurzwellen	10 bis 100
Ultrakurzwellen	1 bis 10
Radiowellen	0,05 bis 0,3 ($5 * 10^{-2}$) bis ($3 * 10^{-1}$)
Mikrowellen	0,1 (10^{-1})
Sichtbares Licht	0,00000038 bis 0,00000078 ($3,8 * 10^{-7}$) bis ($7,8 * 10^{-7}$)

²⁰⁵ Philipsborn H. von, Geipel R., (2006), Seite 2

²⁰⁶ Tab. 13: Freund R., (2011), http://www.drfreund.net/astronomy_spektrum.htm, [Letzter Zugriff: 29.10.2011, 16:17 Uhr]

Ultraviolette Strahlung	0,0000001 bis 0,0000004 (10^{-7}) bis ($4 * 10^{-7}$)
Röntgenstrahlung	0,0000000000001 bis 0,0000001 (10^{-12}) bis (10^{-7})
Gammastrahlung	0,0000000000001 (10^{-12})
Kosmische Strahlung	0,000000000000001 (10^{-15})

In dieser Tabelle sind Strahlungsarten mit absteigender Wellenlänge dargestellt.

Hingegen α - β - und γ -Strahlung, die aus radioaktiven Zerfällen entsteht, durchdringt viele Materien und kann Atome und Zellen verändern bzw. zerstören und gehört somit zur ionisierenden Strahlung.

„Strahlung ist eine Energieform, die sich als elektromagnetische Welle – oder als Teilchenstrom – durch Raum und Materie ausbreitet.“²⁰⁷

Dieses Zitat vom Bundesamt für Strahlenschutz, sagt aus, dass Strahlen sowohl als Wellen, als auch als Teilchenstrom verstanden werden können.

„Die Eigenschaft eines Elements, spontan Strahlung auszusenden und dabei seine Struktur zu verändern, bezeichnet man als Radioaktivität.“²⁰⁸

Unter diesem Zitat versteht man, dass radioaktive Atome spontan zerfallen. Die dabei freiwerdende Energie wird in Form von radioaktiver Strahlung ausgesendet und das Resultat ist, dass ein neues Atom entsteht.

Der Aufbau eines Atomkerns ist entscheidend, ob es sich um ein stabiles oder instabiles Atom handelt.

Befinden sich zu viele Nukleonen im Kern oder herrscht ein Ungleichgewicht zwischen Protonen und Neutronen, so befindet sich der Atomkern in einem energetisch ungünstigen Zustand. Um eine stabile Form zu erlangen, zerfällt der Atomkern und gleichzeitig wird energiereiche Strahlung freigesetzt, die man radioaktive Strahlung nennt. Diese Strahlung

²⁰⁷ Zitat: Bundesamt für Strahlenschutz, (2008), Seite 5

²⁰⁸ Zitat: Hünten M., Pfenning R., (1996), Seite 43

besteht aus elektromagnetischen Wellen bzw. Teilchen.

Instabile Atome, die radioaktiv sind, werden auch als Radionuklide bezeichnet.²⁰⁹

Eine physikalische Kraft, die die Kernteilchen (Nukleonen) zusammenhält, nennt man Kernkraft.

Diese ist stärker als die Abstoßungskraft der Protonen untereinander. Je mehr Protonen sich im Kern befinden, desto größer sind die Abstoßungskräfte und die Ordnungszahlen. Ab einer Anzahl von 83 Protonen im Nukleus überwiegen die Abstoßungskräfte, was dazu führt, dass das Atom instabil ist und zerfällt. Zur Stabilisierung gibt es neben Protonen auch Neutronen im Kern. Bei leichteren Atomen sollte das Verhältnis von Protonen zu Neutronen 1:1 sein. Je schwerer das Atom wird, desto mehr Neutronen werden im Vergleich zu Protonen benötigt, um einen stabilen Atomkern zu gewährleisten.²¹⁰

Jede Form und Stärke von radioaktiver Strahlung ist für den Menschen schädlich. Je stärker die Intensität der Strahlung und länger die Zeit, der man der Strahlung ausgesetzt ist, desto größere Schäden entstehen.

Die Äquivalentdosis sollte 20 mSv pro Jahr nicht überschreiten. Bei diesem Wert von 20 mSv pro Jahr ist mit keinen Schäden zu rechnen.

Folgende Symptome sind typisch für die Einwirkung von Radioaktivität:

Übelkeit, Kopfschmerzen, Erbrechen, Haarausfall, Verbrennungen, Ohnmacht und Tod.²¹¹

Laut EU-Vorschriften liegt der Grenzwert für die Bevölkerung bei 1 mSv pro Jahr.²¹²

Der Grenzwert von 1 mSv gilt Europaweit und beinhaltet eine Sicherheitsspanne, um eine Gefährdung auszuschließen. Dennoch sollten die Belastungen so gering wie möglich gehalten werden.

Des Weiteren ist das Erbmateriale jedes Menschen anders und reagiert somit unterschiedlich auf bestimmte radioaktive Intensitäten.

„Häufig entsteht beim Zerfall einer Atomart eine neue Atomart, die wiederum instabil ist und zerfällt. Wenn immer wieder instabile Tochterkerne entstehen, haben wir eine Zerfallsreihe vor uns, die erst dann beendet ist, wenn ein stabiles Nuklid entsteht.“²¹³

²⁰⁹ Hüntten M., Pfenning R., (1996), Seite 53

²¹⁰ Mortimer C. E., Müller, U., (2010), Seite 641

²¹¹ Körber M., Birmuske R., (2009), Seite 4

²¹² Kube J., (2011), <http://www.weltderphysik.de/de/8936.php> [Letzter Zugriff: 29.10.2011, 16:24 Uhr]

²¹³ Hüntten M., Pfenning R., (1996), Seite 53

Dieses Zitat gibt bekannt, dass instabile Atomkerne zerfallen, jedoch das Ergebnis nicht zwangsläufig ein stabiler Atomkern sein muss. Ist das Produkt aus dem Zerfall ebenfalls instabil, so setzt sich der Zerfall weiter fort, bis am Ende der Zerfallsreihe ein stabiles Atom entstanden ist.

Die ausgesendete Energie ist so stark, dass sie Materie in der näheren Umgebung anregen bzw. ionisieren kann. Gase werden durch diese Strahlung elektrisch leitend gemacht.

Leichte Elemente besitzen wenige Isotope die radioaktiv sind. Beispiele für leichte Isotope sind:

Kalium-40, Kohlenstoff-14, Wasserstoff-3 (Tritium). Hingegen sind Isotope mit einer Ordnungszahl höher als 83 fast alle radioaktiv.²¹⁴

Radioaktive Strahlung besteht aus Mischstrahlung. Dabei hängt es davon ab, welcher Atomkern zerfällt. α -Strahlung (Alphastrahlung) und β -Strahlung (Betastrahlung) sind Teilchenstrahlungen. Hingegen γ -Strahlung (Gammastrahlung) ist eine Wellenstrahlung, die auch elektromagnetische Strahlung genannt wird. Während radioaktiver Zerfälle der Atome, entsteht auch Röntgenstrahlung, die nicht wie α -, β -, und γ -Strahlung aus dem Atomkern hervorgeht, sondern aus der Elektronenhülle. Aus diesem Grund muss man zwischen dem „reinen“ Atomkernzerfall und dem radioaktiven Zerfall differenzieren. Röntgenstrahlung ist der γ -Strahlung ähnlich.²¹⁵

Zerfallsgesetz und Physikalische Halbwertszeit:

„Die Wahrscheinlichkeit, dass ein Atomkern aus einer Anzahl gleicher instabiler Kerne zerfällt, ist für jeden Kern gleich groß. Deshalb ist die Anzahl der Kernzerfälle pro Zeiteinheit, die Aktivität A , proportional der Anzahl N der vorhandenen Atome:

$$A = k * N.$$

Der Proportionalitätsfaktor k heißt Zerfallskonstante (Zerfallswahrscheinlichkeit). Die Anzahl der Zerfälle pro Zeiteinheit entspricht gleichzeitig der Abnahme der Anzahl der instabilen Atome:

$$A = - \Delta N / \Delta t.$$

²¹⁴ Baltes W., (2007), Seite 228

²¹⁵ Philipsborn H. von, Geipel R., (2006), Seite 3

Die einfache Differentialgleichung

$$\Delta N / \Delta t = -k * N$$

beschreibt somit den radioaktiven Zerfall und heißt Zerfallsgesetz. Die zeitabhängige Lösung lautet:

$$N = N_0 \cdot e^{-k \cdot t}$$

Dabei ist N_0 die Anzahl der Atomkerne, die zum Zeitpunkt $t = 0$ vorhanden sind. Nach der Halbwertszeit $T_{1/2}$ ist die Anfangszahl N_0 , aber auch die Anfangsaktivität A_0 auf die Hälfte gesunken. [...]“²¹⁶

Dieses Zitat drückt aus, dass ein radioaktiver Stoff aus vielen Atomen besteht. Dabei ist es nicht möglich vorherzusagen, welcher Atomkern wann zerfällt. Die Aktivität (A) ist proportional zur Anzahl der Atome (N). Je mehr Atome ein radioaktiver Stoff besitzt, desto mehr Zerfälle pro Zeiteinheit existieren, weil Atome und Atomzerfall im gleichen Verhältnis stehen.

Man kann eine Aussage darüber treffen, zu welcher Zeit die Hälfte der gesamten Atomkerne zerfallen ist. Diese Zeit nennt man physikalische Halbwertszeit. Man berechnet diese Halbwertszeit, indem man die folgende Formel verwendet:

$$T_{1/2} = \ln(2/\lambda)$$

$T_{1/2}$ steht dabei für die physikalische Halbwertszeit, die berechnet werden soll in der die Hälfte der Atomkerne zerfallen ist. Logarithmus naturalis von 2 dividiert durch Lamda. Lamda steht für die Zerfallskonstante. Sie gibt die Menge des Isotops an, welche in dieser Zeiteinheit zerfallen sind.²¹⁷

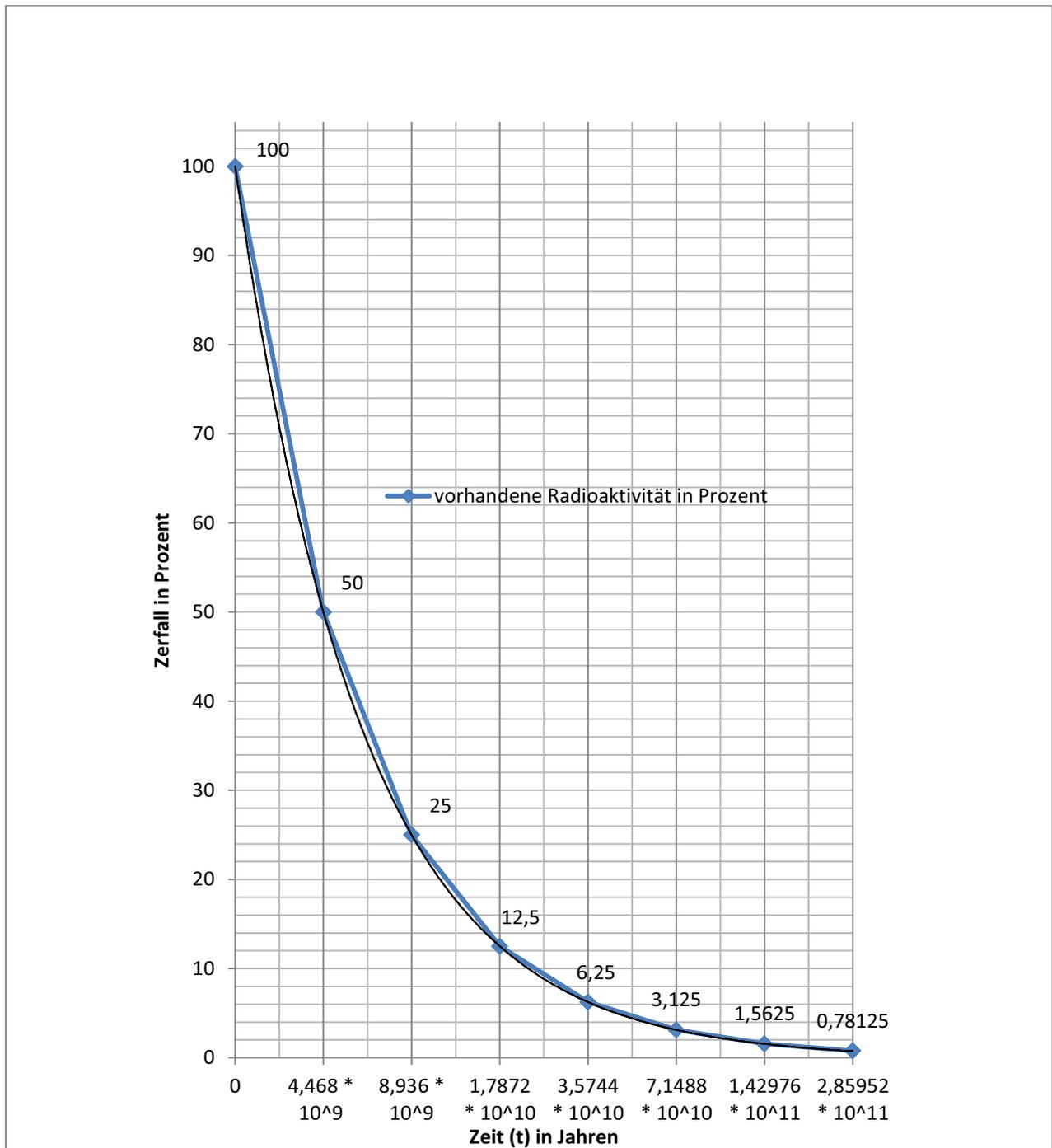
²¹⁶ Zitat: Philipsborn H. von, Geipel R., (2006), Seite 9 f.

²¹⁷ Der Brockhaus Multimedial Premium 2009 [DVD] „Radioaktivität“

Beispiel:

Das Uran-Isotop ^{238}U besitzt, laut der Karlsruher Nuklidkarte von 2006, eine physikalische Halbwertszeit von $4,468 \cdot 10^9$ Jahren (4.468.000.000 Jahre). Dies bedeutet, dass in dieser Zeitspanne die Hälfte der instabilen Atome zerfallen ist. Also sind noch 50% radioaktiv. Nochmals $4,468 \cdot 10^9$ Jahre später, ist erneut eine Hälfte zerfallen. Die Hälfte von 50% entspricht 25%. Eine weitere physikalische Halbwertszeit später, sind noch 12,5% radioaktiv und der Zerfall läuft in dieser Weise weiter.

Abbildung 24: Radioaktiver Zerfall von Uran-238 mit Halbwertszeiten.²¹⁸



Diese Abbildung stellt den radioaktiven Zerfall des Uran-Isotops 238 dar.

Die Radioaktivität nimmt exponentiell ab, weil nach jeder physikalischen Halbwertszeit die Hälfte der Atome zerfallen ist. D. h. die Radioaktivität wird immer geringer, kann aber den Nullpunkt nie erreichen.

In dieser Abbildung sind 7 Halbwertszeiten dargestellt. Die instabilen Atomkerne sind nach

²¹⁸ Abb. 27: selber erstellt (Excel)

diesen 7 physikalischen Halbwertszeiten noch zu 0,78125% vorhanden. Dies bedeutet für die Realität, dass radioaktive Stoffe nicht nach einer Halbwertszeit ungefährlich sind, weil noch 50% vorhanden sind. Man müsste etwa 7 bis 10 physikalische Halbwertszeiten abwarten, damit die Radioaktivität für den Menschen keine Gefahr mehr darstellt.

Halbwertszeiten:

Neben der physikalischen Halbwertszeit, die aussagt zu welcher Zeit ein Radionuklid zur Hälfte zerfallen ist, existiert auch die biologische- und effektive Halbwertszeit.

Die biologische Halbwertszeit geht davon aus, dass ein Mensch beispielsweise mit der Nahrung oder durch die Atmung radioaktive Nuklide aufgenommen hat. Sie gibt an, zu welcher Zeit die Hälfte des Radionuklids durch die Niere oder den Darm ausgeschieden wurde.

Die effektive Halbwertszeit berücksichtigt die Zeit, bei der Radionuklide zur Hälfte physiologisch durch die Niere oder den Darm ausgeschieden werden und zusätzlich zerfallen sind. Dadurch wird die physikalische- und biologische Halbwertszeit miteinander kombiniert. Bei Radionukliden, mit einer langen physikalischen Halbwertszeit, ist die biologische Halbwertszeit gleich der effektiven Halbwertszeit.²¹⁹

Natürliche Radioaktivität:

Natürliche Radioaktivität entsteht durch radioaktive Stoffe, die im Boden natürlich vorkommen oder durch Strahlung, die aus dem Weltall, sogenannte kosmische Strahlung, auf die Erde gelangt.

Natürliche Radionuklid-Zerfallsreihen sind beispielsweise:

- Uran-Radium-Reihe (Ausgangsnuklid: Uran-238)
- Thorium-Reihe (Ausgangsnuklid: Thorium-232)
- Uran-Actinium-Reihe (Ausgangsnuklid: Uran-235)

Durch den Zerfall dieser oben genannten Radionuklide entstehen neue Atom, die erneut instabil sind und weiter zerfallen, bis am Ende der Zerfallskette ein stabiles Isotop entsteht. Berücksichtigt man alle natürlichen Radionuklide im menschlichen Körper, sind es ca. 8.000

²¹⁹ Diehl J. F., (2003), Seite 24

bis 9.000 Bq. Daraus resultiert, dass etwa 8.000 bis 9.000 radioaktive Zerfälle pro Sekunde stattfinden, was einer effektiven Jahresdosis von 0,3 mSv entspricht.²²⁰

Primordiale:

Primordial stammt aus dem Lateinischen und bedeutet „Aus erster Ordnung.“ Primordiale Radionuklide sind radioaktive Stoffe, die natürlichen Ursprungs sind und seit der Entstehung der Erde, vor 4,65 Milliarden Jahren, bestehen. Sie wurden während der Genesis gebildet. Es gibt 32 instabile Primordiale, die noch heute nachgewiesen werden können. Man kann davon ausgehen, dass die Strahlung dieser Radionuklide früher höher war als heutzutage. Die Reduzierung durch Zerfälle ist gering, weil diese Stoffe sehr lange physikalische Halbwertszeiten besitzen. Die bedeutendsten Radionuklide sind Kalium-40, mit einer Physikalischen Halbwertszeit von $1,28 * 10^9$ Jahre und Rubidium-87, mit einer physikalischen Halbwertszeit von $4,8 * 10^{10}$ Jahren.²²¹

Terrestrische Strahlung:

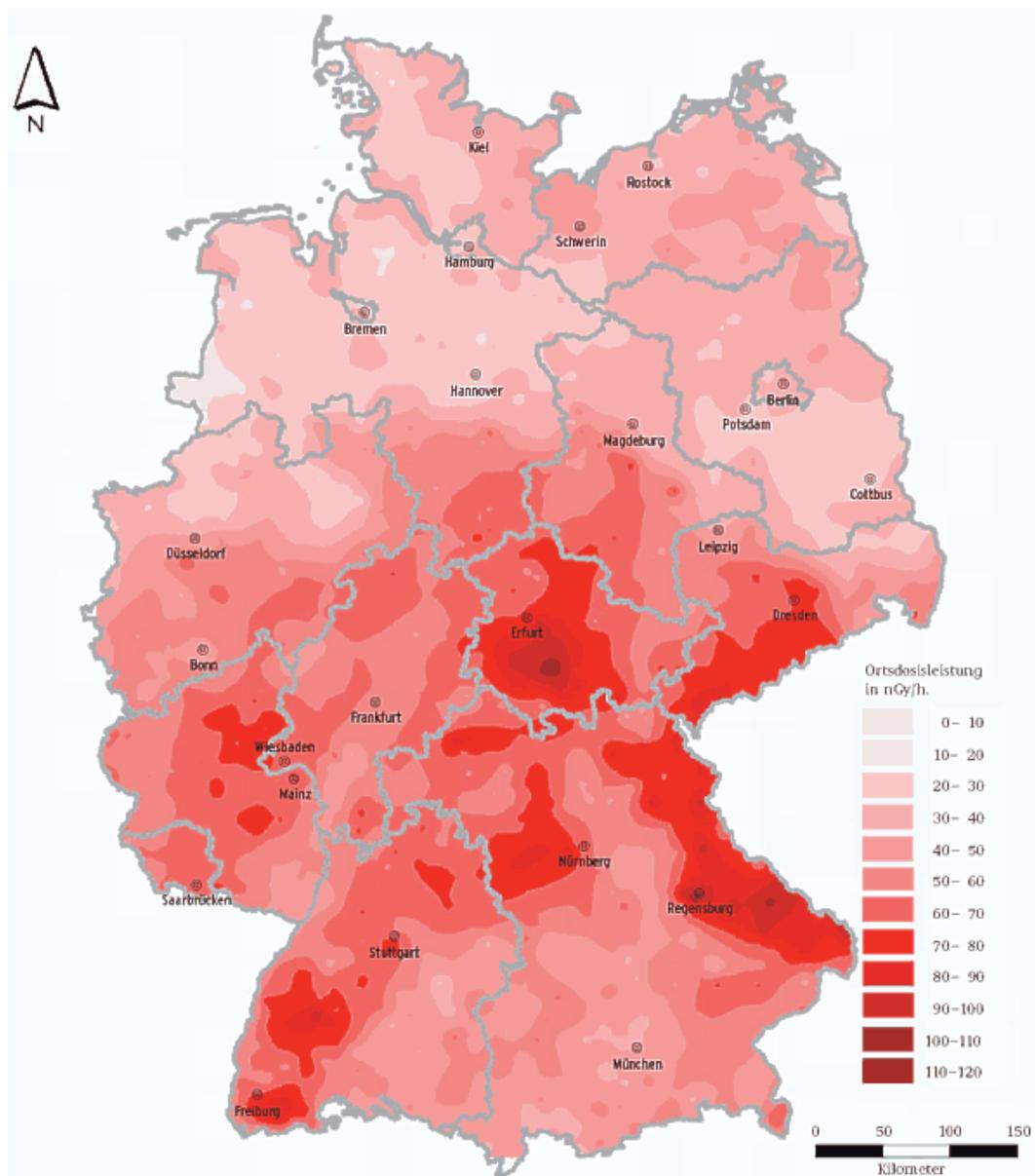
Terrestrische Strahlung ist die natürliche radioaktive Strahlung, die von Elementen im Boden ausgeht. Neben den Primordialen, die ebenfalls zu der terrestrischen Strahlung gehören, gibt es auch noch andere Radionuklide, die im Boden enthalten sind. Die wichtigsten sind Kalium-40, Uran-Isotope (235, 238), Radium-226 und das Radon-222 Isotop. Die Strahlung ist jedoch nicht in ganz Deutschland gleich verteilt, sondern es gibt Schwankungen zwischen Nord- und Süddeutschland. So liegen die Werte im Norden zwischen 10 bis 50 nSv pro Stunde und im Süden, wie z.B. in Bayern bei teilweise über 150 nSv pro Stunde. Der Mittelwert liegt in ganz Deutschland bei $0,4 \text{ mSv/a.}$ ²²²

²²⁰ Bundesamt für Strahlenschutz, (2008), Seite 16

²²¹ Diehl J. F., (2003), Seite 39

²²² Bundesamt für Strahlenschutz, (2008), Seite 14

Abbildung 25: Terrestrische Strahlung durch Radon-222 in Deutschland:²²³



Diese Abbildung zeigt die Radon-222 Belastung in Deutschland. Dabei wird sichtbar, dass die Strahlung in den norddeutschen Bundesländern:

Schleswig-Holstein, Hamburg, Bremen, Niedersachsen, Mecklenburg-Vorpommern und Brandenburg niedriger liegt, als in den Süddeutschen Bundesländern Baden-Württemberg, Bayern, Sachsen und Thüringen. Alle in der Abbildung genannten Werte, sind in nGy/h (Nano Gray pro Stunde).

²²³ Abb. 28: Kemski J., Klingel Dr. R., (2010), http://www.radon-info.de/shtml/karten_odl.shtml, [Letzter Zugriff: 29.10.2011, 16:27 Uhr]

Kosmische Strahlung und Höhenstrahlung:

Aus dem Weltall trifft die sogenannte kosmische Strahlung, die man auch Primärstrahlung nennt, auf die Erdatmosphäre, die besteht hauptsächlich aus Protonen, α - und γ -Strahlung, die große Energie besitzen. Sie entsteht im Weltall beispielsweise durch Explosionen von Planeten und Sternen und durch Sonnenwinde. Diese Strahlung trifft auf die oberen atmosphärischen Schichten der Erde, welche aus Gasmolekülen, wie Stickstoff, Argon und Sauerstoff bestehen. Durch das Auftreffen der Primärstrahlung werden die Moleküle bzw. Atome ionisiert und es entstehen energiegeladene Teilchen, die auf weitere Teilchen treffen. Bei diesem Prozess wird die Primärstrahlung geschwächt. Dabei entsteht Höhenstrahlung, die auch als Sekundärstrahlung bezeichnet wird. Sie trifft auf die Erde.²²⁴

1912 entdeckte Victor F. Heß durch Zufall die Höhenstrahlung. Er flog mit Messinstrumenten in einem Heißluftballon über die Erde. Dabei bemerkte er, dass die Intensität der terrestrischen Strahlung abnahm, je höher er sich befand. Ab einer Höhe von 2.000 bis 5.300 m nahm die Intensität erneut zu. Dies war die Entdeckung der Höhenstrahlung.²²⁵

Dies führt wiederum dazu, dass die Strahlung auf Meeresspiegel den niedrigsten Wert von ca. 32 nGy/h erreicht.

Je höher man sich befindet, desto stärker ist die kosmische Strahlung. Auf 3.000 Metern Höhe liegt das Niveau bei etwa 130 nGy/h . In Deutschland liegt die durchschnittliche effektive Jahresdosis bei ca. $0,3 \text{ mSv/a}$.²²⁶

Ein Teil der Strahlung, gelangt aufgrund von Sonnenwinden auf die Erde. Deswegen gibt es gewisse Schwankungen, je nachdem, wie stark die Sonnenwinde sind.²²⁷

Im Flugzeug ist die Strahlenexposition

Sonnenwind:

Erst durch die Sonne ist das Leben auf der Erde möglich. Die Sonne strahlt permanent elektromagnetische Wellen aus, die auch auf der Erde ankommen. Da die Sonne ca. 149,6 Millionen Kilometer von der Erde entfernt ist und das Licht sich mit Lichtgeschwindigkeit ausbreitet, benötigen Sonnenstrahlen etwa 8 Minuten und 20 Sekunden, um diese Strecke zurückzulegen. Die Sonne besteht hauptsächlich aus Wasserstoff, Helium und zu einem geringen Anteil aus schwereren Teilchen. Auf der Sonne, herrscht eine Temperatur von 16

²²⁴ Diehl J. F., (2003), Seite 47

²²⁵ Philipsborn H. von, Geipel R., (2006), Seite 30

²²⁶ Bundesamt für Strahlenschutz, (2008), Seite 14

²²⁷ Diehl J. F., (2003), Seite 47

Millionen Kelvin. Bei diesen Temperaturen kommt es zur Kernfusionen. Dabei werden jeweils 4 Protonen aus Wasserstoffatomen miteinander zu einem Heliumatom verschmelzen. Dies führt zur Energieentstehung, die in Form von Gammastrahlung ausgesendet wird. Im Jahr 1908 wurde entdeckt, dass die Sonne Sonnenflecken besitzt, die aus starken Magnetfeldern bestehen. Ein Sonnenfleck, besitzt eine Stärke von 0,25 Tesla. Im Vergleich dazu besitzt das Magnetfeld der Erde 0,0001 Tesla. Es ist auch bekannt, dass die Sonnenflecken innerhalb eines 11-Jahres Zyklus zunehmen und anschließend wieder abnehmen. Des Weiteren kehren sich die Richtungen der Magnetfelder im 11-Jahres Rhythmus um. Zusätzlich wurde festgestellt, dass die Temperatur auf den Flecken kühler ist, als der restliche Teil der Sonne. Dies wurde dadurch begründet, dass ein Plasmastrom von den Sonnenflecken ins Innere führt, der das Magnetfeld stabilisiert. Es gibt auch eine sogenannte Korona. Das ist die äußere Sonnenatmosphäre. Diese befindet sich in einiger Entfernung um die Sonne herum und ist heißer als die Oberfläche der Sonne. Auf der Korona, die sich näher der Sonne befindet, kann das Magnetfeld aufrechterhalten werden, da die Kräfte stark genug sind. Je weiter man von der Sonne entfernt ist, desto schwächer wird das Magnetfeld und es kann auch nicht aufrechterhalten werden. Dadurch wird das gasförmige Material freigesetzt und es entstehen Sonnenwinde.²²⁸

Künstliche Radioaktivität:

Künstliche Radioaktivität wird ausschließlich vom Menschen erzeugt, wie in Atomkraftwerken oder in Atomwaffen. Die dadurch entstehenden Radionuklide sind zum größten Teil β - und γ -Strahler.

Die Energie entsteht durch Kernspaltung. In Atomkraftwerken laufen ständig Kernspaltungsprozesse in Kettenreaktionen ab, die zur Energiegewinnung eingesetzt werden. Doch diese Energie kann auch missbräuchlich für Kernwaffen verwendet werden. In den 50er und 60er Jahren des 20. Jahrhunderts wurden zahlreiche Atomtests, vor allem in den USA, in der UdSSR und in Frankreich, ausgeführt. Die Strahlenbelastung stieg in der Umwelt, da sich die radioaktiven Teilchen über die gesamte Welt verteilt haben. 1945 wurden zwei Atombomben der USA über den japanischen Städte Hiroshima und Nagasaki abgeworfen.²²⁹

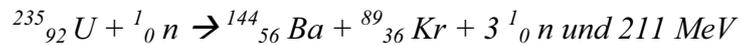
²²⁸ Microsoft® Encarta® 2009 [DVD] „Sonne“

²²⁹ Misholi A., (2010),

http://www.techniklexikon.net/d/k/C3%BCnstliche_radioaktivit%C3%A4t/k%C3%BCnstliche_radioaktivit%C3%A4t.htm, [Letzter Zugriff: 29.10.2011, 16:31 Uhr]

Kernspaltung:

Die Kernspaltung geht auf Otto Hahn, Fritz Straßmann und Lise Meitner zurück, die Uran mit Neutronen beschossen, in der Hoffnung, dass Elemente mit einer Ordnungszahl über 92 entstehen. Dabei machten sie die Entdeckung, dass Barium entstanden ist.



In den entstandenen Produkten beträgt die Bindungsenergie 8,5 MeV pro Nucleon. Dies weist eine Differenz von 0,9 MeV auf. Da sich im Uran Isotop 235 Nucleonen befinden, kann man die Energie berechnen:

$$235 * 0,9 = 211 \text{ MeV}$$

Außerdem waren die Erkenntnisse, dass beim Einsatz von einem Neutron eine Kettenreaktion ausgelöst wird. Beschießt man beispielsweise Uran mit Neutronen, so entstehen pro Kernspaltung 2 bis 3 weitere Neutronen, die zu weiteren Kernspaltungen führen. Läuft dieser Vorgang unkontrolliert ab, kommt es zur Explosion, wie in einer Atombombe. Am 16.07.1945 erfolgte die erste unkontrollierte Kettenreaktion in einer Atomexplosion in Alamogordo (New Mexico). Das Spaltungsmaterial war Plutonium-239. Die Sprengkraft dieser Bomben wird in Tonnen TNT (Trinitrotoluol) angegeben. Diese Explosion entsprach 22.000 Tonnen TNT.

Am 06.08.1945 wurde die Atombombe mit dem Decknamen „Little Boy“, als Kriegswaffe über Hiroshima abgeworfen. Das spaltbare Material war in diesem Fall Uran-235 und entsprach 12.500 Tonnen TNT. Durch diese Atombombe starben 65.000 Menschen. Bereits 3 Tage später folgte die nächste Atombombe, genannt „Fat Man“ über Nagasaki, mit einer Sprengkraft von 22.000 Tonnen TNT. Es starben 36.000 Menschen. 5 Tage später, am 14.08.1945, kapitulierte Japan.

Kontrolliert man den Spaltungsvorgang mit so genannten Kontrollstäben, handelt es sich dabei um Stoffe, die Neutronen absorbieren können. Die Kontrollstäbe, können in Atomkraftwerken je nach Leistung des Kernreaktors tiefer, oder weniger tief zwischen die Brennstäbe geschoben werden. Somit verhindert man unkontrollierte Kernspaltungen. Moderatoren bremsen Neutronen ab, damit die Wahrscheinlichkeit der weiteren Bildung von Neutronen erhöht ist. Es gibt mehrere Arten von Moderatoren, wie Leichtes Wasser, schweres Wasser, oder Graphit. Dabei hängt es vom Typ des Kernreaktors ab. Entscheidend ist, dass der Moderator annähernd die gleiche Masse, wie die entstehenden Neutronen besitzen muss.

Die langsamen Neutronen können so von Uran-Atomen aufgenommen werden.

Der Moderator umgibt ebenfalls die Brennstäbe.

Treffen Neutronen auf Uran, kommt es zur Spaltung und es werden durchschnittlich 2 Neutronen frei. Diese Neutronen nennt man „schnelle Neutronen“. Sie würden zu keiner weiteren Reaktion führen. Aus diesem Grund übernimmt der Moderator die Aufgabe Neutronen auf eine bestimmte Geschwindigkeit bzw. Energie zu bremsen, bevor diese Neutronen den Reaktorkern verlassen.²³⁰

Stabile leichte Atome besitzen etwa gleichviele Protonen wie Neutronen. Je schwerer die Atome werden, desto mehr Neutronen enthalten sie im Vergleich zu Protonen. Beim Uran-235 welches das wichtigste Atom für die Kernspaltung in Atomkraftwerken ist, liegt die Protonenzahl bei 92 und die Neutronenzahl bei 143. Dabei handelt sich um ein stabiles Atom, da die Kernkräfte stärker als die Abstoßungskräfte sind und so den Atomkern zusammen halten. Beschießt man diesen Atomkern mit weiteren Neutronen, entsteht für wenige Augenblicke das Atom Uran-236, welches instabil ist und in Spaltprodukte zerfällt. Im Gegensatz zum Uran-235 ist das Uran-238 stabiler und zerfällt nicht so leicht beim Beschuss von Neutronen. Neben den Spaltprodukten, wobei die meisten wiederum instabil sind, entstehen auch weitere Neutronen, die eine Kettenreaktion auslösen. Bei den entstandenen Neutronen handelt es sich um schnelle Neutronen. Damit ist die Wahrscheinlichkeit kleiner, dass es zu einer weiteren Kernspaltung kommt.

Aus diesem Grund verwendet man Moderatoren, die die Geschwindigkeit der Neutronen durch Aufprall bremsen sollen.²³¹

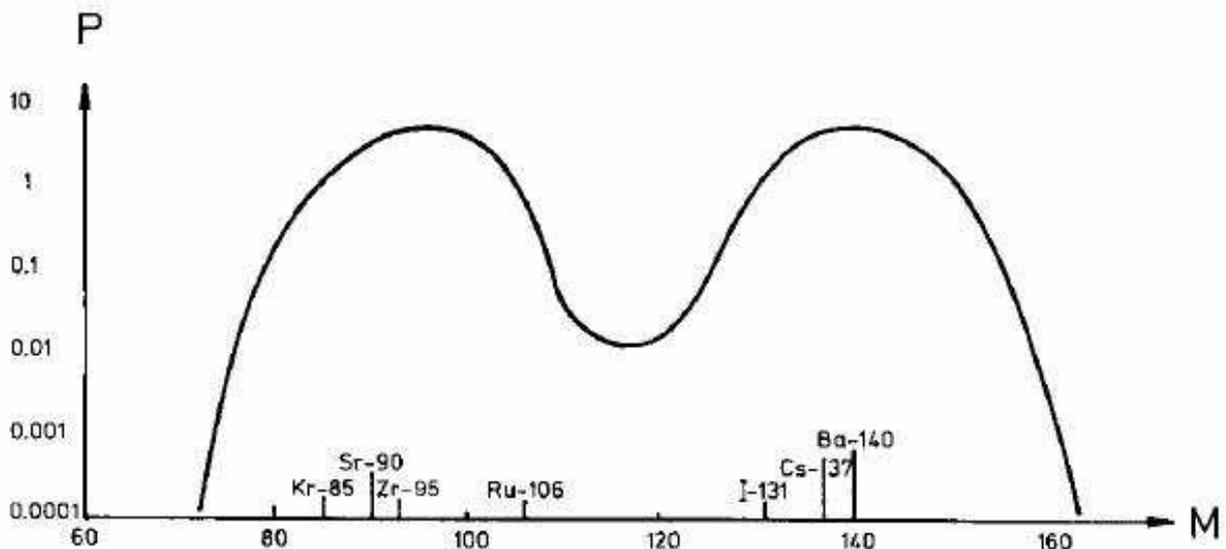
In Kernkraftwerken, entstehen viele verschiedene Spaltprodukte. Zeichnet man die Häufigkeiten der jeweils entstandenen Spaltprodukte in ein Diagramm ein, so ergibt sich eine sogenannte „Doppelhöckerkurve“.²³²

²³⁰ Diehl J. F., (2003), Seite 65 f.

²³¹ Wagner H. F., (2006), <http://www.weltderphysik.de/de/4863.php>, [Letzter Zugriff: 29.10.2011, 16:33 Uhr]

²³² Philipsborn H. von, Geipel R., (2006), Radioaktivität und Strahlungsmessung, Seite 28

Abbildung 26: Häufigkeit der auftretenden Spaltprodukte während der Kernspaltung von Uran-235:²³³



Diese Abbildung zeigt die Häufigkeit der Spaltprodukte, die während der Kernspaltung von Uran-235 entstehen. (P) stellt die Ausbeute und (M) die Nucleonenzahl dar.

Man nennt diesen Kurvenverlauf „Doppelhückerkurve“, da sie 2 Maxima und dazwischen geringere Werte besitzt. Die Nuklide im ersten Maximum besitzen zwischen 95 bis 100 Nucleonen und im zweiten zwischen 137 bis 143 Nucleonen. Die kleinste Ausbeute zwischen den Maxima liegt zwischen 117 bis 120 Nucleonen. Die wesentlichen Radionuklide, sind in dem Diagramm eingezeichnet

Kernfusion:

Bei der Kernfusion verschmelzen positiv geladene Teilchen miteinander. Da zwischen diesen Teilchen große Abstoßungskräfte wirken, müssen diese überwunden werden. Dies gelingt beispielsweise mit sehr hohen Temperaturen, wie sie auf der Sonne vorkommen von ca. 10^8 K (Kelvin). Dies entspricht $9,99 \cdot 10^8$ °C.

Der Grund dafür ist, dass sich bei diesen Temperaturen Atomkerne schnell bewegen. D. h. die kinetische Energie ist so hoch, dass die Abstoßungskräfte überwunden werden und die Atome miteinander verschmelzen. Doch bis heute ist es Menschen nicht gelungen, derartige

²³³ Abb. 29: Philipsborn H. von, Geipel R., (2006), Seite 29

Temperaturen herzustellen. Dieses Prinzip wird in Wasserstoffbomben verwendet, wo diese Temperaturen über eine kurze Zeit erreicht werden.²³⁴

Strahlungsarten:

Instabile Atomkerne senden energiereiche Strahlung aus. Man unterscheidet 3 Arten von Strahlung. Es gibt nur sehr wenige Isotope die sowohl α -, als auch β -Strahlung emittieren können. In der Regel werden entweder α - oder β -Strahler ausgesendet. γ -Strahlung wird immer zusätzlich zu den α - bzw. β -Strahlen emittiert. Atome die entweder α - oder β -Strahlung emittieren und sich anschließend in einem energetisch ungünstigem Zustand (angeregtem Zustand) befinden, senden zusätzlich γ -Strahlung aus, um die Energiedifferenz auszugleichen und um einen energieärmeren Zustand zu erreichen.

Dadurch wird ausgedrückt, dass Edukte mehr Energie besitzen, als die Produkte, weil das Aufbrechen der Bindungen Energie freisetzt. Die Energie wird in Form von Strahlung abgegeben und in der Einheit MeV (Megaelektronen Volt) angegeben. 1 eV beschreibt die Energie, die einem Elektron zugeführt wird, wenn es durch eine Potentialdifferenz von einem Volt beschleunigt wird.²³⁵

α -Strahlung:

α -Strahlung besteht aus Helium-Kernen (${}^4_2\text{He}$). Während des radioaktiven Zerfalls, senden einige Stoffe α -Strahlung aus. D. h. aus dem Kern werden Helium-Kerne ausgesendet. Da ein Heliumkern aus 2 Protonen und 2 Neutronen besteht, ist nach der Aussendung von α -Strahlung ein neuer Atomkern entstanden mit insgesamt 4 Nukleonen weniger. Somit ist die Ordnungszahl des neuen Elements um 2 geringer und die Massenzahl um 4. Diese Art von Zerfall betrifft ausschließlich schwere Atomkerne, mit einer Kernladungszahl über 83. α -Strahlung besitzt eine Geschwindigkeit von 5% bis 7% der Lichtgeschwindigkeit (299792,458 km/s). Dies entspricht zwischen 53.962.560 Km/h und 75.547.584 Km/h. α -Strahlung besitzt aber nur eine Reichweite von ca. 9 cm.²³⁶

„Die biologische Schadenswirkung, ist umso größer, je höher die Ionisationsdichte (Abstand der einzelnen Ionisationsorte) ist. Die Reichweite von Alpha-Strahlung ist zwar sehr gering, so dass die Strahlung im Prinzip gut abzuschirmen ist, die ionisationsdichte ist jedoch hoch. Biologische Schäden verursacht Alpha-Strahlung vor allem dann, wenn der Körper die

²³⁴ Hüntten M., Pfenning R., (1996), Seite 74

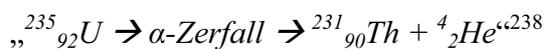
²³⁵ Mortimer, C. E., Müller, U., (2010), Seite

²³⁶ Hüntten M., Pfenning R., (1996), Seite 46

strahlenden Partikel aufnimmt (inkorporiert), so dass die Strahlung unmittelbar auf das Gewebe einwirkt.“²³⁷

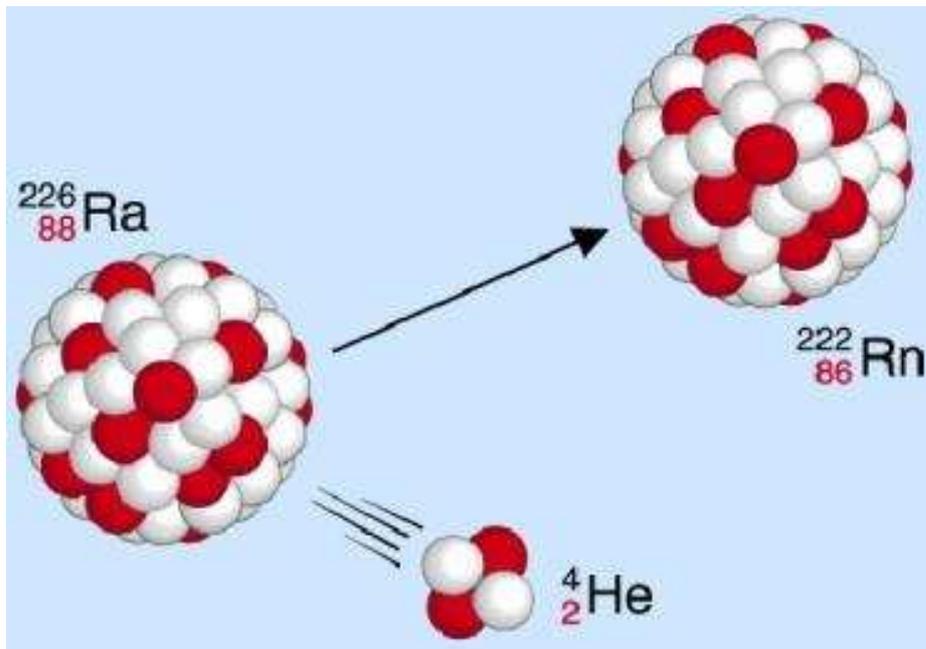
Dieses Zitat, aus dem Wissenschaftsmagazin „Ernährung im Fokus“ äußert, dass Alphastrahlung zwar eine geringe Reichweite besitzt und bereits durch dünne Materialien abzuschirmen werden kann, jedoch besitzt diese Strahlung so viel Energie, dass sie beim Auftreffen auf Gewebe diese Energie abgeben kann, was zu biologische Schäden führen kann, vor allem, wenn Alphastrahlung aussendende Partikel in den Körper aufgenommen werden, da sie direkten Kontakt mit Gewebe haben.

Beispiel:



Dieses Beispiel zeigt, wie Uran-235 durch einen α -Zerfall zu Thorium-231 umgewandelt wird und ein Helium-Atom als Nebenprodukt bestehen bleibt.

Abbildung 27: Entstehung von α -Strahlen vom Radium-226 zum Radon-222.²³⁹



Diese Abbildung stellt die Entstehung von Alpha-Strahlung dar. Auf der linken Seite der Abbildung befindet sich ein Radium-Atom, welches 226 als Massenzahl und 88 als Kernladungszahl besitzt. D. h. Dieses Atom besitzt 88 Protonen und 138 Neutronen. Durch

²³⁷ Lichtenberg W., (2011), Seite 292

²³⁸ Hüntten M., Pfenning R., (1996), Seite 46

²³⁹ Abb. 30: Nebelung R., (o.J.), <http://www.zw-jena.de/energie/kernstrahlung.html>, [Letzter Zugriff: 29.10.2011, 16:35 Uhr]

die Alpha-Strahlung gibt dieses Atom einen Helium-Kern (${}^4_2\text{He}$) ab. Dieser verlässt das Atom nach unten und es entsteht ein neuer Atomkern, der eine um 4 verringerte Massenzahl und um zwei verringerte Kernladungszahl besitzt. Somit ist das neue Atom Radon-222 entstanden, welches ebenfalls instabil ist und weiter zerfällt.

Energieberechnung:

Laut der bekannten Einstein'schen Formel, ist es möglich Masse (m) und Energie (E) ineinander umzuwandeln. Um die Energie berechnen zu können, die beim Alpha-Zerfall frei wird, verwendet man diese Einstein'sche Formel:

$$E = m * c^2$$

c = Lichtgeschwindigkeit (konstant) ($2,997925 * 10^8 \text{ m/s}$)

Für Strahlung, verwendet man die Einheit Elektronenvolt (eV).²⁴⁰

„1eV ist die Energie, die ein Elektron enthält, wenn es mit einer Spannung (Potentialdifferenz) von 1 Volt beschleunigt wird.“²⁴¹

Henning von Philipsborn meint in dieser Aussage, dass man ein Elektron mit einer elektrischen Spannung von einem Volt beschleunigt. In diesem Fall beträgt die Energie des Elektrons 1 eV.

$$1 \text{ eV} = 1,60218 * 10^{-19} \text{ J}$$

Man berechnet die Energiedifferenz, als Delta E (ΔE)

$$\Delta E = \Delta m * c^2$$

$$1 \text{ Unit} = 1,660540 * 10^{-27} \text{ Kg}$$

$$\Delta E = (1,660540 * 10^{-27} \text{ Kg}) * (2,997925 * 10^8 \text{ m/s})^2$$

$$= 1,49242 * 10^{-10} \text{ J/u}$$

Energieäquivalent von 1 u in MeV

$$\Delta E = (1,49242 * 10^{-10} \text{ J/u}) / (1,60218 * 10^{-13} \text{ J/MeV})$$

$$\Delta E = 931,494 \text{ MeV/u}$$

²⁴⁰ Philipsborn H. von, Geipel R., (2006), Seite 2

²⁴¹ Zitat: Philipsborn H. von, Geipel R., (2006), Seite 2

Entspricht die Summe des α -Teilchens und überbleibenden Kerns der Zerfallsenergie, so liegt der Kern in seinem Grundzustand vor. Ist dies nicht der Fall, wird γ -Strahlung zusätzlich ausgesendet.²⁴²

Der Energieäquivalent von 1 u in MeV = 931,494 MeV / u

Berechnung vom Energieäquivalent von $^{14}_6\text{C}$:

$$6 \text{ Protonen} \rightarrow 6 \cdot 1,007276 \text{ u} = 6,043656 \text{ u}$$

$$8 \text{ Neutronen} \rightarrow 8 \cdot 1,008665 \text{ u} = 8,06932 \text{ u}$$

$$6 \text{ Elektronen} \rightarrow 6 \cdot 0,00054858 \text{ u} = 0,0329148 \text{ u}$$

$$\text{Summe der berechneten Masse: } \underline{14,1458908 \text{ u}}$$

$$\text{Masse eines Cl-Atoms: } \underline{14,0032420 \text{ u}}^{243}$$

$$\text{Massendifferenz: } \underline{0,1426488 \text{ u}}$$

Die Zahl $0,1426488 \text{ u}$ sagt aus, dass die errechnete Masse nicht der gemessenen Masse entspricht. Die Massendifferenz wurde in Form von Energie abgegeben.

Um die Kernbindungsenergie zu berechnen, benutzt man folgende Formel:

$$\text{Kernbindungsenergie} = \text{Massendefekt} * 931,494 \text{ MeV/u}$$

Bezogen auf dieses Beispiel:

$$\text{Kernbindungsenergie} = 0,1426488 \text{ u} * 931,494 \text{ MeV/u} = \underline{132,8765013 \text{ MeV}}$$

$$\text{Kernbindungsenergie pro Nucleon} = (\text{Kernbindungsenergie}) / (\text{Nucleonen Anzahl})$$

$$\text{Kernbindungsenergie pro Nucleon} = (132,8765013 \text{ MeV}) / 14 = \underline{9,491178664 \text{ MeV}}$$

pro Nucleon

²⁴² Mortimer, C. E., Müller, U., (2010), Seite 642

²⁴³ O.A., (o.J.), <http://user1.123imwww.de/oess/K-Elemente/006-c.html> [Letzter Zugriff: 29.10.2011, 16:41 Uhr]

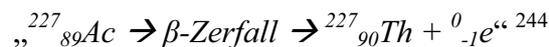
Dieses Ergebnis zeigt, dass die Bindungsenergie 9,491178664 MeV pro Nucleon beträgt. D. h. man müsste diese Energiemenge aufwenden, um ein Kernteilchen abzuspalten.

1 Megaelektronen Volt (MeV) entspricht $1.60217646 \times 10^{-13}$ Joule.

β -Strahlung:

Bei der β^- -Strahlung handelt es sich um Elektronen, die aus dem instabilen Atomkern ausgesendet werden. Dabei verändert sich die Masse des Atoms nicht. Die Kernladungszahl wird um den Wert 1 erhöht. Unter normalen Umständen befindet sich keine Elektronen im Kern. Aus diesem Grund zerfällt ein Neutron in ein Proton und ein Elektron. Dieses entstandene Proton bleibt im Nukleus erhalten, das Elektron wird abgegeben. D. h. der β^- -Zerfall betrifft Atome, die einen Überschuss an Neutronen gegenüber Protonen haben, da während der β -Strahlung sich die Anzahl an Neutronen um den Wert 1 verringert und ein Proton entsteht. Das nachfolgende Beispiel verdeutlicht den Zerfall:

Beispiel:



An diesem Beispiel kann man erkennen, wie ein Actinium-227-Isotop durch β -Zerfall zu einem Thorium-227-Isotop wird. Als Nebenprodukt bleibt ein Elektron bestehen. Man erkennt, dass sich die Massenzahl nicht verändert hat, die Kernladungszahl hat sich um den Wert 1 vergrößert.

β^- -Strahlung besitzt eine Geschwindigkeit von 99% der Lichtgeschwindigkeit, somit etwa 1.068.458.688 Km/h. Die Reichweite beträgt 8,5 m.²⁴⁵

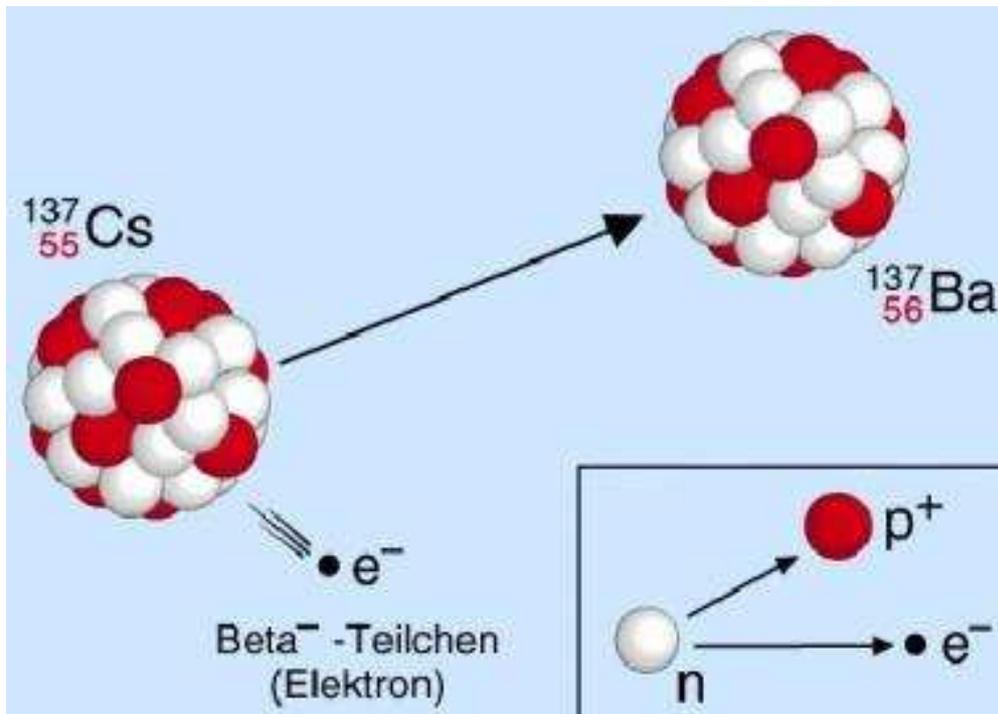
Die β^- -Strahlung kann sowohl von natürlichen, als auch von künstlichen Radionukliden emittiert werden.

Neben der β^- -Strahlung (Beta Minus), gibt es auch die β^+ -Strahlung (Beta Plus), die sich dadurch auszeichnet, dass diese ausschließlich bei künstlichen Zerfällen stattfindet. Es wird ein sogenanntes Positron aus dem Atomkern ausgesendet. Positron ähnelt Elektronen, besitzt eine vergleichbare Masse, doch eine positive Ladung. Nimmt ein Proton ein Positron auf, so wird es zu einem Neutron. Dies hat zur Folge, dass die Anzahl an Protonen im Nukleus um eins sinkt und die Massenzahl gleichbleibt. Jedoch die Kernladungszahl verringert sich um eins. Dieser Effekt trifft bei Radionukliden auf, die eine zu große Zahl an Protonen besitzen.

²⁴⁴ Hüntten M., Pfenning R., (1996), Seite 47

²⁴⁵ Hüntten M., Pfenning R., (1996), Seite 46, 47

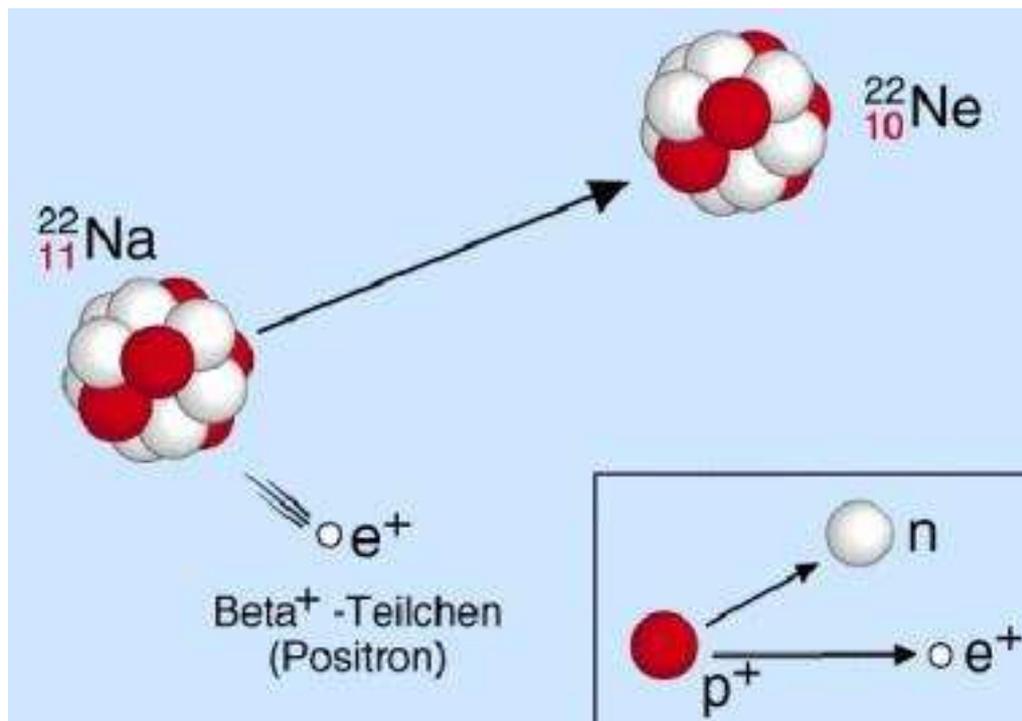
Abbildung 28: Entstehung von β^- - (Minus) Strahlen vom Cäsium-137 zum Barium-137.²⁴⁶



Auf dieser Abbildung, kann man die Entstehung von β^- -Strahlung sehen. Das Anfangs-Atom in dieser Abbildung ist Cäsium-137 (55 Kernladungszahl = Protonen, $137-55 = 82$ Neutronen). Die β^- -Strahlung ist die Abspaltung von Elektronen aus dem Nukleus. Da sich keine Elektronen im Nukleus befinden, zerfällt ein Neutron zu einem Proton und einem Elektron, wie man unten rechts auf der Abbildung erkennen kann. Dieses Elektron wird abgespalten. Für den Atomkern bedeutet dies, dass die Anzahl an Neutronen um einen kleiner und die Zahl der Protonen um einen größer wird. Als Resultat entsteht aus dem Cäsium, Barium, welches die gleiche Massenzahl, aber um 1 größere Kernladungszahl besitzt. Genauer wird dieser Zerfall auch β^- (Beta Minus) genannt, weil Elektronen negativ geladen sind. Es gibt auch einen β^+ (Beta Plus) Zerfall.

²⁴⁶ Abb. 31: Nebelung R., (o.J.), <http://www.zw-jena.de/energie/kernstrahlung.html>, [Letzter Zugriff: 29.10.2011, 16:35 Uhr]

Abbildung 29: Entstehung von β^- (Plus) Strahlen vom Natrium-22 zum Neon-22.²⁴⁷



Diese Abbildung zeigt die Entstehung des β^+ -Zerfalls. Dabei zerfällt Natrium-22 (11 Protonen und 11 Neutronen) unter Abgabe eines Positrons zu Neon-22 (10 Protonen und 12 Neutronen). Der Grund dafür ist, dass im Atomkern ein Proton in ein Neutron und ein Positron zerfällt. Das Neutron bleibt im Atomkern und das Positron wird abgestoßen.

Elektroneneinfang (K-Einfang):

Eine andere Möglichkeit, das Verhältnis von Protonen zu Neutronen zu stabilisieren ist der Elektroneneinfang. Dabei kann der Kern ein Elektron aus der innersten Schale (k-Schale) in den Kern ziehen. Bei der Verbindung eines Protons mit diesem Elektron entsteht ein Neutron. D. h. der Effekt ist wie bei dem β^- -Zerfall. Da das Elektron auf der k-Schale eine Lücke hinterlassen hat, wird diese mit einem Elektron aus der nächsthöheren Schale (L-Schale) aufgefüllt. Die entstandene Energie, wird in Form von Röntgenstrahlung emittiert.²⁴⁸

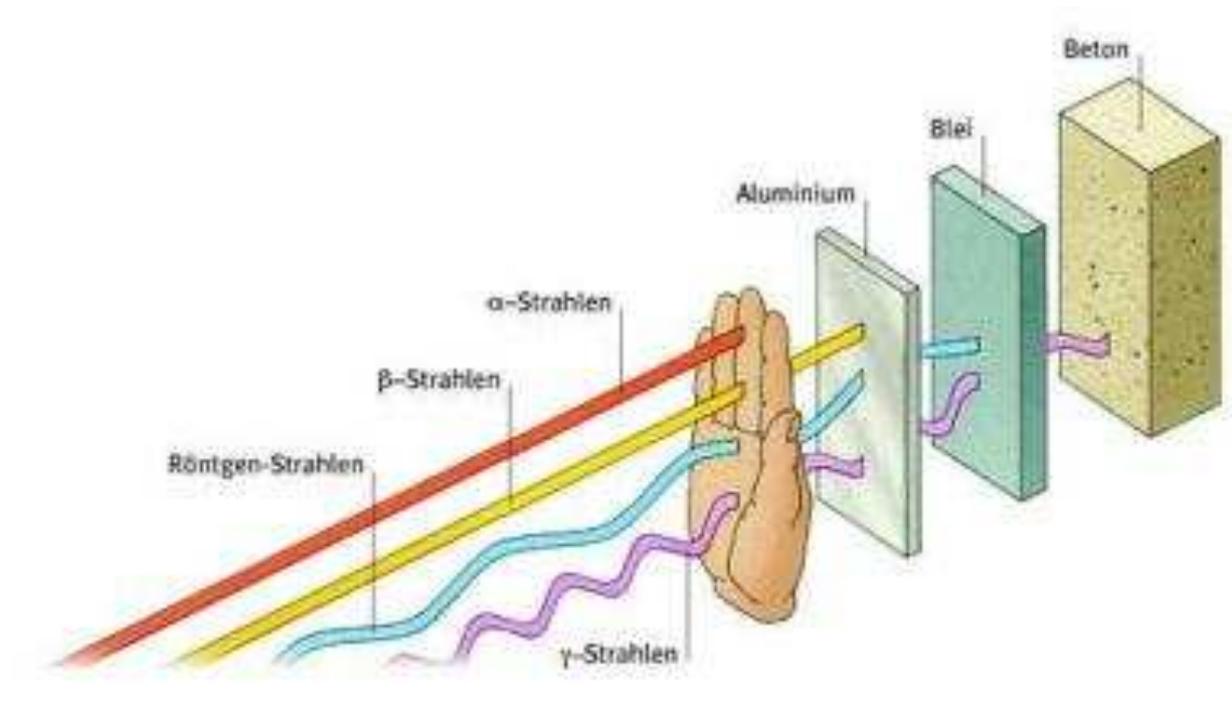
²⁴⁷ Abb. 32: Nebelung R., (o.J.), <http://www.zw-jena.de/energie/kernstrahlung.html>, [Letzter Zugriff: 29.10.2011, 16:35 Uhr]

²⁴⁸ Mortimer, C. E., Müller, U., (2010), Seite 645

γ -Strahlung:

γ -Strahlung tritt nicht alleine auf, nur in Verbindung mit α - bzw. β -Strahlung. Diese Strahlung wird ausgesendet, wenn der Atomkern sich nach der α - oder β -Strahlung in einem energetisch ungünstigem Zustand befindet. Bei der Aussendung von Gamma-Strahlung, wird die Energiedifferenz ausgeglichen. γ -Strahlung besitzt Lichtgeschwindigkeit über eine weite Strecke hinweg.²⁴⁹

Abbildung 30: Vergleich von α -, β - und γ -Strahlung durch Materie.²⁵⁰



Auf dieser Abbildung, kann man erkennen, dass sich die drei Strahlungsarten und Röntgenstrahlung nicht nur in dem Aufbau unterscheiden, sondern auch in den Eigenschaften des Durchdringens von Materie. Man sieht, dass α -Strahlung bereits nicht mehr durch menschliches Gewebe dringen kann, wie hier mit einer Hand verdeutlicht. Diese Art Strahlung dringt nur wenige Zentimeter in menschliches Gewebe ein. Beta-Strahlung dagegen, gelangt durch die Hand hindurch, scheitert aber an einer wenige Zentimeter dicken Aluminiumplatte. Röntgenstrahlung, besitzt einen ähnlichen Aufbau wie γ -Strahlung, durchdringt allerdings kein Blei. Röntgenstrahlung wird bekanntlich in der Medizin zu Aufnahmen von Knochen verwendet, weil die Strahlung ungehindert durch Haut, Sehnen und

²⁴⁹ Hüntten M., Pfenning R., (1996), Seite 47

²⁵⁰ Abb. 33: Urbach J.P., (2011),

<http://www.wissen.de/wde/generator/wissen/ressorts/gesundheit/medizin/index.page=4249756.html>, [Letzter Zugriff: 29.10.2011, 16:45 Uhr]

Muskeln gelangen kann und so das Fotopapier schwärzen, aber Knochen bieten einen größeren Widerstand, so sieht man diese etwas heller abgebildet. γ -Strahlung durchdringt sowohl menschliches Gewebe, Aluminium, wie auch Blei, scheidet aber an dicken Betonschichten. Dies bedeutet auch, dass die Wirkung auf Gewebe nicht so stark ist, wie die α -Strahlung, weil die Stärke nicht auf einmal abgegeben wird.

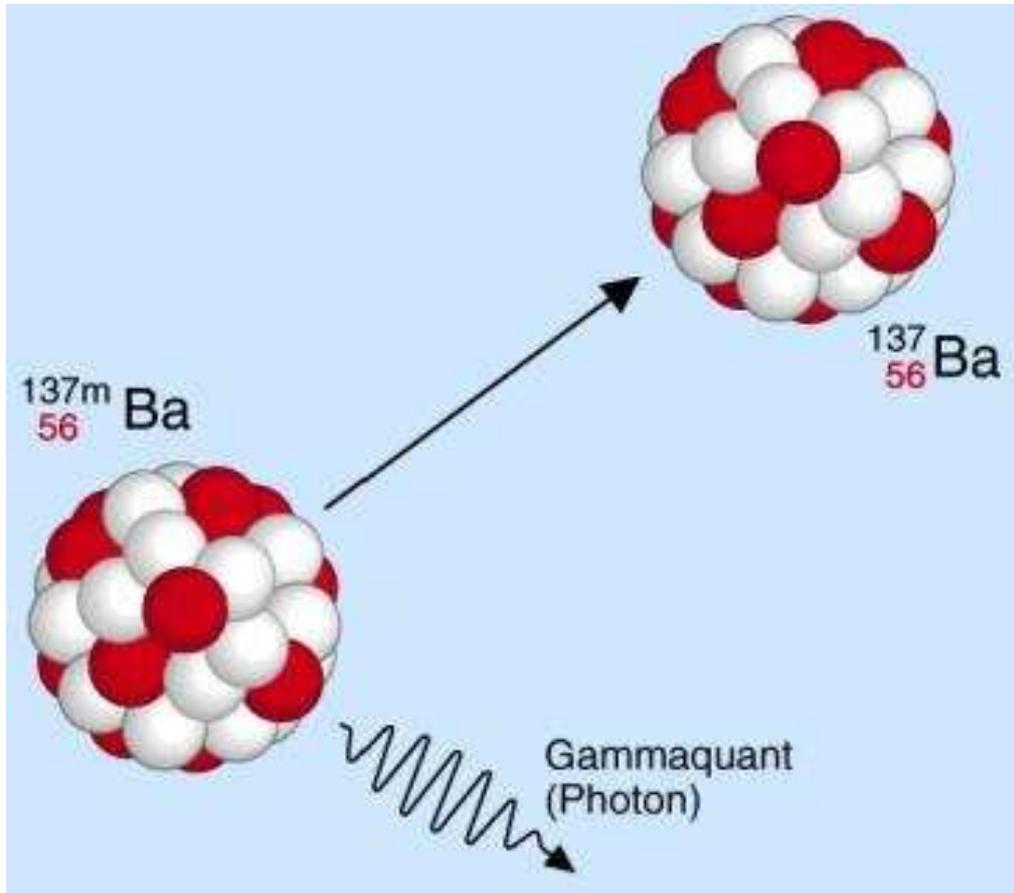
Tabelle 10: Wichtige Radionuklide, ihre physikalischen Halbwertszeiten, Strahlungsarten, Vorkommen und Bildung:²⁵¹

Isotop	phy. Halbwertszeit	Strahlenart	Vorkommen	Bildung
Wasserstoff-3 (Tritium) H-3	12,323 Jahre	Beta	natürlich	Kosmische Strahlung
Kohlenstoff-14 (C-14)	5730 Jahre	Beta	natürlich	Kosmische Strahlung
Kalium-40 (K-40)	$1,28 \cdot 10^9$ Jahre	Beta und Gamma	natürlich	Terrestrische Strahlung
Strontium-90 (Sr-90)	28,64 Jahre	Beta	künstlich	Atomkraftwerk
Iod-131 (I-131)	8,02 Tage	Beta und Gamma	künstlich	Atomkraftwerk
Iod-133 (I-133)	20,8 Stunden	Beta und Gamma	künstlich	Atomkraftwerk
Cäsium-134 (Cs-134)	2,06 Jahre	Beta und Gamma	künstlich	Atomkraftwerk
Cäsium-137 (Cs-137)	30,17 Jahre	Beta	künstlich	Atomkraftwerk
Radon-222 (Rn-222)	3,825 Tage	Alpha	natürlich	Terrestrische Strahlung
Uran-235 (U-235)	$7,038 \cdot 10^8$ Jahre	Alpha	natürlich	Terrestrische Strahlung
Uran-238 (U-238)	$4,468 \cdot 10^9$ Jahre	Alpha und Gamma	natürlich	Terrestrische Strahlung
Plutonium-238 (Pu-238)	87,74 Jahre	Alpha und Gamma	künstlich	Atomkraftwerk
Plutonium-239 (Pu-239)	$2,411 \cdot 10^4$ Jahre	Alpha	künstlich	Atomkraftwerk
Plutonium-240 (Pu-240)	6563 Jahre	Alpha	künstlich	Atomkraftwerk
Plutonium-242 (Pu-242)	$3,750 \cdot 10^5$ Jahre	Alpha	künstlich	Atomkraftwerk
Plutonium-244 (Pu-244)	$8,00 \cdot 10^7$ Jahre	Alpha	künstlich	Atomkraftwerk

²⁵¹ Tab. 11: Magill J., Pfennig G., Galy J., (2006), mit eigenen Ergänzungen

In dieser Tabelle erkennt man die wichtigsten Radionuklide mit ihrer physikalischen Halbwertszeit, Strahlenart, Vorkommen, sowie die Bildung entnehmen.

Abbildung 31: Entstehung von γ -Strahlung:²⁵²



Dieser Abbildung, kann man die Aussendung von Gammastrahlung entnehmen. In diesem Fall sendet das Atom Barium-137 die Strahlung aus. Wie man sehen kann, bleiben sowohl die Protonen, als auch die Neutronen gleich, weil die Gammastrahlung nie alleine ausgesendet wird, sondern immer in Verbindung mit Alpha- bzw. Beta-Strahlung. Dabei befindet sich das Atom in einem angeregten, energetisch ungünstigen Zustand. Dadurch wird Energie in Form von Photon frei.

²⁵² Abb. 34: Nebelung R., (o.J.), <http://www.zw-jena.de/energie/kernstrahlung.html>, [Letzter Zugriff: 29.10.2011, 16:35 Uhr]

Röntgenstrahlung:

Die Röntgenstrahlung wurde nach dem Physiker Wilhelm Conrad Röntgen benannt, der diese Form von Strahlung als erster entdeckte. Während Experimenten mit dieser Strahlung stellte er fest, dass sie durch Materie dringen konnten. In diesem Zusammenhang hatte Röntgen die Idee, Körperteile auf lichtempfindlicher Folie sichtbar zu machen. Kurze Zeit später wurde diese Technologie in der Medizin verwendet.²⁵³

Röntgenstrahlung ist 1.000 bis 100.000-Fach energiereicher als das sichtbare Licht. Aus diesem Grund gehört diese Strahlung zu der ionisierenden Strahlung, da sie Elektronen aus Atomen bzw. Molekülen herauslösen kann.²⁵⁴

Vergleich zwischen Gamma- und Röntgenstrahlung:

Die physikalischen Eigenschaften sind bei beiden Strahlungsarten gleich, sie unterscheiden sich lediglich in ihrem Ursprung. Während Gammastrahlung beim Zerfall von Atomen ausgesendet wird, entsteht Röntgenstrahlung beim Zusammentreffen von Elektronen, die künstlich beschleunigt wurden auf einer Metallelektrode.²⁵⁵

Strahlenschutz:

Unter Strahlenschutz versteht man den Schutz des Menschen vor biologischen Schädigungen, die infolge von ionisierender und nicht-ionisierender Strahlung entstehen können.²⁵⁶

Geräte zur Messung von Radioaktivität:

Es gibt mehrere Gerätschaften mit denen man in der Lage ist, Radioaktivität zu messen. Die bekanntesten Geräte sind folgende:

Szintillationszähler:

Dieses Gerät besteht aus einem Metallrohr, welches auf der einen Seite ein Eintrittsfenster besitzt. Dieses Eintrittsfenster ist mit Zinksulfid beschichtet. Das Zinksulfid besitzt die besondere Eigenschaft, dass es beim Auftreffen von radioaktiver Strahlung diese absorbiert

²⁵³ Microsoft® Encarta® 2009 [DVD] „Wilhelm Conrad Röntgen“

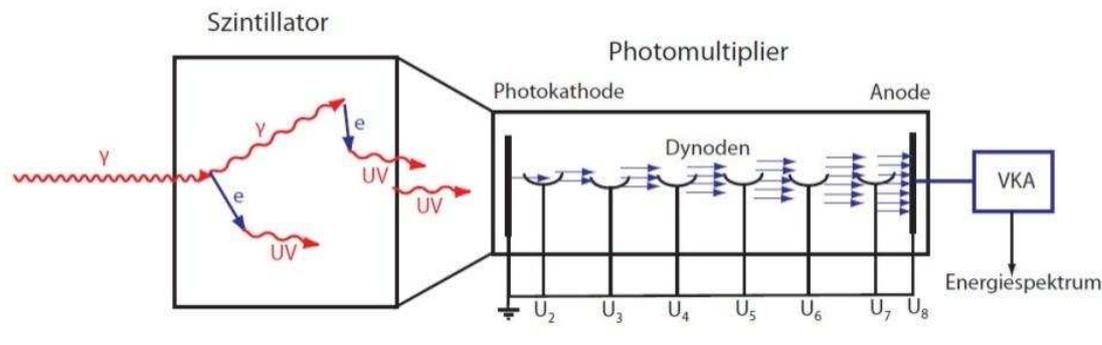
²⁵⁴ Philipsborn H. von, Geipel R., (2006), Seite 3

²⁵⁵ Lichtenberg W., (2011), Seite 292

²⁵⁶ Philipsborn H. von, Geipel R., (2006), Seite 7

und in Licht umwandelt. Aus diesem Grund sind bei jedem Auftreffen Lichtblitze zu beobachten. Diese Impulse werden elektrisch verstärkt und an einen Zähler gesendet.²⁵⁷

Abbildung 32: Szintillator:²⁵⁸



Diese Abbildung stellt einen Szintillationszähler schematisch dar. Auf der rechten Seite der Abbildung ist das Eintrittsfenster, wo die Strahlung hineingelange kann. Diese Strahlung, trifft im Inneren auf die Schicht aus Zinksulfid. Dabei werden Elektronen frei, die man als Blitze wahrnehmen kann. Diese Blitze werden verstärkt und zu einem Zähler geleitet, wo sie registriert werden.

Geiger-Müller Zähler:

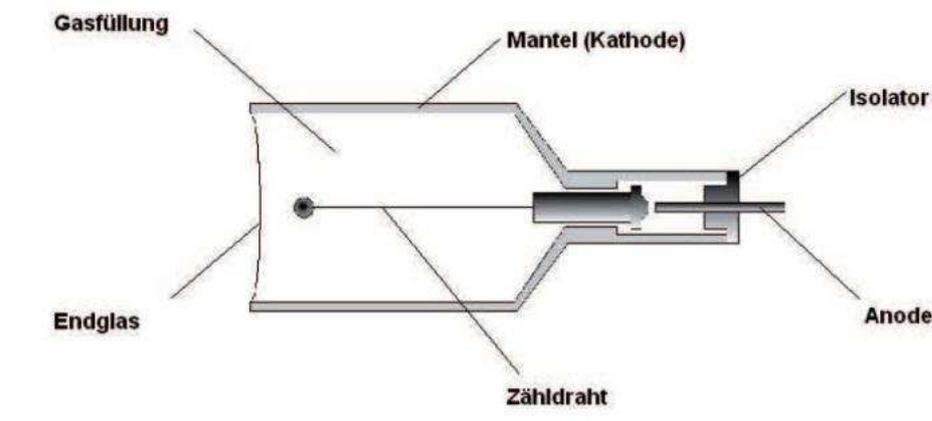
Dieses Gerät besteht aus einem Metallrohr mit einem Fenster auf der einen Seite. Im Inneren befindet sich Argon-Gas. Durch das Metallrohr verläuft ein Metalldraht, der mit der Hülle nicht verbunden ist. Dadurch bildet die Hülle einen negativen Pol und der Draht einen positiven Pol. Tritt nun radioaktive Strahlung durch das Fenster ins Innere, so stößt diese Strahlung auf das Argon-Gas und schlägt durch den Aufprall ein Elektron hinaus. Dieses Elektron trifft auf weitere Argon Atome und schlägt jeweils ein weiteres Elektron hinaus. Der Rest des Argon-Atoms ist daraufhin ein positiv geladenes Ion (Kation) (Ar^+). Durch die entgegengesetzte Ladung, werden die Kationen zur negativ geladenen Hülle gezogen und die Elektronen zum Draht. Dadurch entsteht kurzzeitig ein elektrischer Strom. Dieser Strom wird verstärkt und im Anschluss entweder durch Zählrohr Sichtbar oder einen Lautsprecher hörbar gemacht.²⁵⁹

²⁵⁷ Mortimer, C. E., Müller, U., (2010), Seite 646

²⁵⁸ Abb. 35: Körber M., Birmuske R., (2009), Seite 7

²⁵⁹ Mortimer, C. E., Müller, U., (2010), Seite 646

Abbildung 33: Geiger-Müller Zähler:²⁶⁰



Auf dieser Abbildung kann man den Geiger-Müller Zähler sehen. Auf der linken Seite tritt die Strahlung in das Metallrohr und trifft auf das darin befindliche Argon-Gas. Die Metallhülle bildet den Minus-, der innere Draht den plus Pol. Durch die verschieden geladenen Ionen, entsteht kurzzeitig ein Strom, der gezählt oder hörbar gemacht werden kann.

Wilson-Nebelkammer:

Diese Kammer, ist nach dem schottischen Wissenschaftler James Wilson benannt. In dieser Kammer kann man die Wege der radioaktiven Strahlung sichtbar machen. Im Inneren, befindet sich Luft, die mit Wasser- und Alkohol-Gas gesättigt ist. Mithilfe eines Kolbens, wird das Gas Gemisch ausgedehnt und abgekühlt. Dadurch entsteht eine Übersättigung der Luft. Dadurch entsteht Nebel an den Stellen, wo die ionisierende Strahlung durchgelaufen ist. Dieses Verfahren ist sehr empfindlich und da jedes Radionuklid eine charakteristische Strahlung aussendet, lassen sich Rückschlüsse auf den radioaktiven Stoff ziehen. Dieses Verfahren, wurde bereits kurze Zeit nach dem Reaktorunfall von Tschernobyl, im Jahre 1986 eingesetzt, um herauszufinden, welche Radionuklide entstanden sind. Die Analyse hat ergeben, dass hauptsächlich Iod-131, und Cäsium-137 entstanden sind.²⁶¹

γ -Spektroskopie:

Jedes Element besitzt seinen eigenen Fingerabdruck, weil jedes radioaktive Element eine andere Zusammensetzung der Strahlung aussendet. D.h. es ist möglich anhand der Zusammensetzung und der Intensität das dazugehörige radioaktive Element zuzuordnen. Bei der γ -Spektroskopie macht man sich dieses Prinzip zur Nutze. Es besteht aus einem Detektor,

²⁶⁰ Abb. 36: Körber M., Birmuske R., (2009), Seite 5

²⁶¹ Mortimer, C. E., Müller, U., (2010), Seite 646

einem elektrischen Zähler, einem Computer, einem Bildschirm und einem Drucker. So werden die ankommenden Impulse eingefangen und die Intensität festgehalten. Auf dem Drucker, werden Pieks auf Papier gedruckt. So kann man auf der x-Achse die Zeit und auf der Y-Achse die Intensität ablesen. Je höher der Peak auf der Y-Achse ist, desto Intensiver, war die γ -Quante, die ausgesendet wurde. Durch das Muster, was entsteht kann man das Element bestimmen.²⁶²

Strahlenexposition:

Unter dem Begriff Strahlenexposition versteht man, dass Auftreffen von ionisierender Strahlung auf dem menschlichen Körper. Dabei ist es unabhängig, ob sich die Strahlungsquelle außerhalb des Körpers befindet, wie beim Röntgen von Knochen. In diesem Zusammenhang verwendet man den Begriff äußere (externe) Strahlenexposition und nimmt man beispielsweise Radionuklide mit der Nahrung auf, oder durch die Atmung, so spricht man von interner Strahlenexposition.²⁶³

Ionisation:

„All diese Strahlungsarten führen zu Ionisationseffekten in der Materie, die molekulare Veränderungen nach sich ziehen. Als Ionisation, wird das Abreißen von Hüllenelektronen eines Atoms bezeichnet, das dann mit einem Bindungspartner in der umgebenden Materie reagiert, so dass lokal eine chemische Veränderung stattfindet.“²⁶⁴

Dieses Zitat sagt aus, dass radioaktive Strahlung zur Ionisation führen kann. Dies bedeutet, dass durch die Strahlung Außenelektronen aus der Atomhülle herausbefördert werden können, die sich mit anderen Atomen in der Umgebung verbinden. Diese chemische Reaktion, führt zur Veränderung von Materie und kann Schäden verursachen.

Inkorporierte Radionuklide

In allen Lebensmitteln existieren sowohl natürliche, als auch künstliche Radionuklide. Bei der Aufnahme von Lebensmitteln, macht der Körper keinen Unterschied, ob es sich um ein radioaktiv belastetes Lebensmittel handelt oder nicht. Die instabilen Isotope werden, wie die stabilen im Verdauungstrakt resorbiert und im Körpergewebe eingebaut. Diesen Prozess nennt

²⁶² Diehl J. F., (2003), Seite 14 / 15

²⁶³ Diehl J. F., (2003), Seite

²⁶⁴ Zitat: Lichtenberg W., (2011), Seite 292

man „inkorporieren“. Anschließend werden die Stoffe wieder ausgeschieden.

Es spielt keine Rolle, ob die Ionisierende Strahlung von außen oder von innen auf den Menschen einwirkt. Beide Strahlungsorte sind gleichbedeutend. Entscheidend sind die Radionuklide, die Strahlung aussenden, weil α -Strahler eine schädlichere Wirkung besitzen, als β - und γ -Strahler.²⁶⁵

Kernschmelze:

Dieses Phänomen tritt in Atomkraftwerken auf, wenn die Kühlung der Brennstäbe ausfällt. Auch wenn Stromproduktion ausgeschaltet ist, laufen innerhalb der Brennstäbe weitere Spaltprozesse ab. Dadurch muss die Kühlung weiterhin gewährleistet sein. Fällt diese jedoch aufgrund einer Naturkatastrophe oder eines technischen Defekts aus, dann erhitzen sich die Brennstäbe so stark, dass sie anfangen bei etwa 2.000 Grad Celsius zu schmelzen. Dabei verdampft das vorhandene Wasser zu Wasserdampf und der Druck im Reaktorbehälter steigt. Schafft man es nicht, die Kühlung wieder in Gang zu bekommen, verflüssigt sich ein großer Teil der Brennstäbe und sammelt sich unten in der Schutzhülle. Durch die Hitze, wird die Schutzhülle beschädigt, was zum Austritt der Flüssigkeit führt und damit gelangt Radioaktivität in die Umwelt.²⁶⁶

Aufbau eines Atomkraftwerks:

Man kann zwischen MOX- (Mischoxid) und Uran-Brennstäben unterscheiden. Die MOX-Brennelemente enthalten nicht ausschließlich Uran als Brennstoff, sondern auch einen Anteil an Plutonium. Die Uran-Brennstäbe enthalten, wie der Name bereits sagt nur Uran als Brennstoffquelle. In der Zerfallsreihe des Urans, wird auch Plutonium gebildet. Die MOX-Brennstäbe enthalten deutlich mehr Plutonium, als in reinen Uran-Brennstäben gebildet wird. Außerdem ergibt sich daraus, dass das Plutonium ebenfalls als Energiequelle genutzt wird. Das Resultat sind andere Spaltprodukte, als aus Uran. Sogenannte MOX-Brennstäbe, wurden im Reaktor 3 in Fukushima I verwendet.²⁶⁷

²⁶⁵ Diehl J. F., (2003), Seite 23

²⁶⁶ Schrader C., (2011), <http://www.sueddeutsche.de/wissen/atomalarm-in-japan-kernschmelze-grad-celsius-fressen-sich-durch-jedes-material-der-welt-1.1071312>, [Letzter Zugriff: 29.10.2011, 17:09 Uhr]

²⁶⁷ Bundesamt für Strahlenschutz, (2011), http://www.bfs.de/de/kerntechnik/papiere/japan/strahlenschutz_japan.html, [Letzter Zugriff: 28.07.2011, 13:51 Uhr]

Transfer von Radionukliden im Boden:

Durch Explosionen von Atombomben, entstehen radioaktive Teilchen, die auch zum Teil hoch in die Luft geschleudert werden. War die Sprengkraft sehr groß, können diese Teilchen auch Höhen von mehreren Kilometern erreichen und in den folgenden Monaten oder sogar Jahren zurück auf die Erde fallen. Diesen Niederschlag von radioaktiven Teilchen nennt man Fallout. Dieser Fallout, lagert sich auf Pflanzen und dem Boden ab. Regen Niederschlägen sorgen dafür, dass der radioaktive Fallout in den Boden eindringen kann. Es hängt jedoch von der Bodenbeschaffenheit ab, wie pH-Wert, Feuchtigkeit und Tiere, die im Boden leben, wie Regenwürmer und Maulwürfe. Untersuchungen haben ergeben, dass die Radionuklide im Durchschnitt in Tiefen bis 40 Zentimetern sickern können. Aus diesem Grund ist Obst und Gemüse, welches unter der Erde wächst deutlich stärker von der Radioaktivität betroffen, wie beispielsweise Kartoffeln, Möhren und Radieschen, aber auch Gemüse, welches dicht über dem Boden wächst, wie Salat, Spinat und andere, sind stärker betroffen, als Obst und Gemüse auf Bäumen, wie Äpfel, Birnen, Kirschen und andere.²⁶⁸

Einsatz von radioaktiver Strahlung:

Radioaktive Stoffe, sind eine zuverlässige Energiequelle. Deswegen können diese Stoffe vielseitig eingesetzt werden, wie in Atomkraftwerken, Satelliten, Sendebojen und Atom-U-Booten.

Aber auch zur Konservierung von Lebensmitteln, kann radioaktive Strahlung eingesetzt werden.

Bestrahlte Kartoffeln, werden daran gehindert zu treiben, auf Getreideprodukten, werden Schädlinge beseitigt und Bakterien, die die Lebensmittel verderben lassen, können ebenfalls abgetötet werden. Dabei ist nicht zu erwarten, dass die Lebensmittel selber strahlen, weil die Bestrahlung von außen nur gering ist, sodass die Atome nicht beschädigt werden.

Sehr beliebt ist auch die radioaktive Strahlung in der Medizin, so wird $^{60}_{27}\text{Co}$ Cobalt verwendet zur Bestrahlung von Krebszellen, weil diese Strahlungsempfindlich sind.

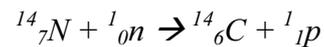
Aber man kann auch Stoffe radioaktiv markieren und so den Verlauf verfolgen, wie bei der DNA. Dazu werden bestimmte Teile der DNA radioaktiv markiert und dann werden diese Teile an die DNA wieder angebaut. So kann man beispielsweise lokalisieren, wo sich bestimmte Erbanlagen befinden.²⁶⁹

²⁶⁸ Diehl J. F., (2003), Seite 161

²⁶⁹ Mortimer, C. E., Müller, U., (2010), Seite 663 ff.

Radiokarbonmethode C-14:

Eine Methode zur Altersbestimmung von abgestorbenen Lebewesen, ist die sogenannte Radiokarbonmethode, oder auch C-14 Methode genannt. Dabei handelt es sich um das natürlich vorkommende Kohlenstoff-14 Isotop, welches durch Höhenstrahlung, meistens aus Sonnenwinden gebildet wird. In der Atmosphäre trifft Höhenstrahlung auf Stickstoff-Atome



Bei dieser Reaktion, entsteht das radioaktive Kohlenstoff-14-Isotop.

Das C-14, ist ein β -Strahler mit einer Halbwertszeit von 5730 Jahren. Lebende Organismen, wie der Mensch, Tiere und Pflanzen nehmen das Isotop durch die Atmung bzw.

Photosynthese auf und speichern es. Da die Konzentration an C-14 in der Luft sehr gering ist, besteht keine Gefahr und es ist nicht schädlich. So lange ein Organismus lebt, bleibt die Aufnahme zum Zerfall im Gleichgewicht. Stirbt ein Lebewesen, so nimmt es kein weiteres C-14 mehr auf und es zerfällt ausschließlich. Durch die Bestimmung der Konzentration von C-14 im Lebewesen, kann man ermitteln, vor wie langer Zeit es gelebt hat. Die Methode ist Anwendbar auf Proben, die zwischen 1.000 bis 30.000 Jahren alt sind.²⁷⁰

²⁷⁰ Diehl J. F., (2003), Seite 37

13. Ernährungsempfehlungen:

In Lebensmitteln wie Pflanzen, befindet sich viel Kalium, aber auch in Fisch, Fleisch und Milch, ist dieser essentielle Nährstoff enthalten. Das gesamte Kalium besteht zum größten Teil aus dem stabilen K-39 und K-41, aber es sind auch geringe Mengen des radioaktiven K-40 enthalten (0,0117%), mit einer spezifischen Aktivität von $30,92 \text{ Bq / g}^{271}$

Laut DGE (Deutsche Gesellschaft für Ernährung) wird empfohlen etwa 2 g Kalium pro Tag zu sich zu nehmen.²⁷²

In pflanzlichen Lebensmitteln liegt die Aktivität von Kalium, etwa bei 50 Bq / Kg , im Obst bei ca. 380 Bq / Kg , in Fleisch, Leber und Nieren bei 100 Bq / Kg und in Milch befinden sich ungefähr ebenfalls 50 Bq / L .²⁷³

Auf Wildfleisch, wie Wildschwein, Reh und Hase, muss man nicht verzichten, aber es wird davon abgeraten dieses Fleisch zu oft und in größeren Mengen zu verzehren. Das Wildbret, welches für den Verkauf bestimmt ist, wird regelmäßig kontrolliert. Um sich generell vor Radioaktivität zu schützen und so wenig wie möglich aufzunehmen, ist es besser Wildfleisch aus Norddeutschland zu kaufen, da im Norden Deutschland die radioaktive Belastung nicht so hoch ist, wie im Süden.

Wildpilze können auch höher belastet sein, vor allem in Süddeutschland. Dies sind Spuren der Tschernobyl Katastrophe. Die Kontamination geht vor allem von Cäsium-137 aus, da Pilze generell Cäsium-Sammler sind, können sie größere Mengen dieses Stoffes speichern. Zwar sind die Werte seit der Katastrophe gesunken und erreichen selten den Grenzwert von 600 Bq / Kg , aber dennoch sollte man diese Produkte nicht in zu großem Umfang verzehren. Es empfiehlt sich, Pilze aus Norddeutschland zu verzehren, da dort die Bodenkontamination geringer ist.

Auf Milch muss man nicht verzichten, da es bei diesem Lebensmittel strenge Grenzwerte gibt, wie auch bei Babynahrung.

Kurze Zeit nach Tschernobyl musste man auf viele Lebensmittel verzichten, die heutzutage bedenkenlos wieder verzehrt werden können, wie beispielsweise Spinat, Salat und andere Gemüsesorten, die entweder unter der Erde bzw. dicht oberhalb wachsen. Der Grund war der

²⁷¹ Bundesamt für Strahlenschutz, (2010), <http://www.bfs.de/de/ion/nahrungsmittel/nahrung.html>, [Letzter Zugriff: 28.10.2011, 15:18 Uhr]

²⁷² DGE, (2011), Referenzwerte für die Nährstoffzufuhr – Natrium, Kalium und Chlorid, <http://www.dge.de/modules.php?name=Content&pa=showpage&pid=3&page=5>, [Letzter Zugriff: 29.10.2011, 17:23 Uhr]

²⁷³ Bundesamt für Strahlenschutz, (2010), <http://www.bfs.de/de/ion/nahrungsmittel/nahrung.html>, [Letzter Zugriff: 28.10.2011, 15:18 Uhr]

Fallout der Radionuklide Iod-131 und Cäsium-137, der sich im Süden Deutschlands auf den Boden gesetzt hat.

Zusammenfassend kann man sagen, dass Lebensmittel heutzutage nicht mehr stark radioaktiv kontaminiert sind und bedenkenlos verzehrt werden können, da man nur bei sehr großen Mengen Auswirkungen spüren würde. Im Allgemeinen, ist Gemüse geringer belastet, als Wildpilze und Waldbeeren. Doch alle diese Lebensmittel können in Maßen bedenkenlos verzehrt werden. Waldprodukte sind deutlich höher mit Cäsium-137 belastet, als landwirtschaftliche Produkte. Möchte man die radioaktive Belastung möglichst gering halten, sollte man keine Waldprodukte verzehren und nicht selber sammeln bzw. Wild erlegen, weil dafür keine Grenzwerte gelten, wie für Produkte, die für den Handel bestimmt sind.

Die Deutsche Gesellschaft für Ernährung (DGE) hat den Verzehr von Wildpilzen auf eine Menge von 250 g pro Woche als Empfehlung ausgesprochen. In Norddeutschland besitzen Zuchtpilze kaum Radioaktivität.

Strahlung ist besonders für Kinder, werdende Mütter und ältere Menschen gefährlich. Bei Säuglingen und Kleinkindern ist der Organismus nicht vollständig ausgebildet und die Strahlung ist schädlicher als bei Erwachsenen Menschen. Bei Schwangeren kann durch Strahlung direkt das Kind geschädigt werden, was zu Fehlbildungen oder Totgeburten führen kann. Aus diesem Grund gibt es separate Grenzwerte für Kleinkinder und ältere Menschen, die niedriger liegen, als die Grenzwerte für Erwachsene.

Lebensmittel, die in Deutschland produziert werden, enthalten geringe Konzentrationen an natürlichen Radionukliden. Dazu wurden Gemeinschaftsverpflegungen untersucht. Dabei haben sich Durchschnittswerte zwischen 0,001 bis 0,115 Bq / Kg Feuchtmasse ergeben. Zwischen den einzelnen Lebensmitteln, gab es nur geringe Unterschiede.²⁷⁴

²⁷⁴ Bundesamt für Strahlenschutz, (2010), <http://www.bfs.de/de/ion/nahrungsmittel/nahrung.html>, [Letzter Zugriff: 28.10.2011, 15:18 Uhr]

Tabelle 11: Durchschnittswerte Natürlicher Radionuklide in Lebensmitteln und
Trinkwasser.²⁷⁵

Lebensmittel	Uran- 238	Uran- 234	Radium- 226	Radium- 228	Blei- 210	Polonium- 210	Thorium- 230	Thorium- 232
Trinkwasser	0,005	0,006	0,001	0,003	0,002	0,001	X	X
Milch	0,002	0,005	0,004	X	0,011	X	0,001	0,001
Fisch (Süßwasser)	0,004	0,006	0,007	X	0,032	X	X	X
Rindfleisch	0,001	0,001	0,008	X	0,018	0,100	X	X
Getreide	0,011	0,011	0,160	0,190	0,365	X	0,010	0,009
Obst	0,002	0,005	0,014	0,018	0,040	X	0,001	0,001
Blattgemüse	0,012	0,011	0,037	0,056	0,130	X	0,006	0,004
Wurzelgemüse	0,005	0,002	0,030	0,045	0,022	X	0,006	0,004
Sonstiges Gemüse	0,002	0,004	0,010	0,020	0,028	X	0,001	0,001

Aus dieser Tabelle kann man bestimmte Radionuklide in Lebensmitteln und Trinkwasser entnehmen. Im Allgemeinen, sind die Werte niedrig. Die höchsten Werte findet man bei den Radionukliden: Radium-226 und -228 in Getreide, Blei-210 in Getreide und Blattgemüse und Polonium-210 in Rindfleisch.

²⁷⁵ Tab 12: Bundesamt für Strahlenschutz, (2010), <http://www.bfs.de/de/ion/nahrungsmittel/nahrung.html>, [Letzter Zugriff: 28.10.2011, 15:18 Uhr]

14. Fazit / Zusammenfassung der Ergebnisse:

Im Allgemeinen besteht für die Bevölkerung in Deutschland bezüglich Radioaktivität keine Gefahr. Zwar gibt es noch Gebiete und Wälder in Deutschland, die nach Tschernobyl kontaminiert sind, besonders mit dem Radionuklid Cäsium-137, dies vor allem im Süden Deutschlands, wie Bayern und Baden-Württemberg, aber solange man nicht zu häufig Wildpilze und Wildfleisch aus diesen Umgebungen verzehrt, ist es für den Menschen ungefährlich, obwohl man dennoch die Radioaktivität so gering wie möglich halten sollte, da man nicht genau sagen kann, ab welcher Dosis Schäden auftreten, da jeder Mensch individuell ist und die Grenzwerte eingehalten werden müssen. Bei niedrigen Dosen kann es zu Spätfolgen, wie Krebs und Leukämie, kommen.

Die Radioaktivität aus Fukushima Japan hat auf Deutschland so gut wie keinen Einfluss. Durch die große Entfernung und die Wind- und Wasserströmungen, die die Radioaktivität in Richtung des Pazifischen Ozeans transportieren, werden die Radionuklide so stark verdünnt, dass es zu einer maximalen Erhöhung von 0,01 mSv pro Jahr in Deutschland zusätzlich kommen kann.

Da ist die Belastung durch natürlich vorkommende Radionuklide deutlich höher. Sie liegt bei 2,1 mSv pro Jahr im Durchschnitt, wobei es auf das Gebiet ankommt.

Des Weiteren gibt es seit der Katastrophe von Tschernobyl regelmäßige Kontrollen, die sich seit Fukushima erneut verstärkt haben. So müssen alle Lebensmittel aus Japan und den umliegenden Ländern vor dem Export bereits auf Radioaktivität untersucht werden und die Auswertung der Fracht beigelegt. Importierte Waren werden dennoch stichprobenartig ein zweites Mal vom Deutschen Zoll untersucht. Haben Verbraucher Zweifel, ob die Lebensmittel belastet sind, so kann man sich an verschiedene Institutionen wenden, die die Lebensmittel untersuchen. Dies sind beispielsweise:

- „Institut Fresenius“
- „Deutscher Zoll“
- „Hygiene Institut Hamburg“
- „Johann Heinrich von Thünen Institut“

Alternativ kann man sich an das Bundesamt für Strahlenschutz wenden, die einem Auskunft geben können, an welche Institution man sich wenden kann. Sollte es mal zu höheren Werten durch Radioaktivität kommen, so sind die häufigsten Symptome der Strahlenkrankheit:

Übelkeit, Haarausfall, Kopfschmerzen, Blutungen, (vor allem des Zahnfleisches), Müdigkeit, Schwäche und weitere.

Die häufigsten künstlichen Radionuklide sind Iod-131 und Cäsium-137, wobei Iod-131 eine relativ kurze physikalische Halbwertszeit von 8,02 Tagen besitzt und nach etwa 80 Tagen nicht mehr nachweisbar ist. Das bedeutet, dass dieses Radionuklid ausschließlich kurze Zeit nach einer Katastrophe wirksam ist. Es führt in höherer Konzentration zum Schilddrüsenkarzinom.

Präventive Maßnahme ist die Einnahme von Jod-Tabletten, die stabiles Jod enthalten. Diese Präparate sind zwar in Apotheken frei verkäuflich, sollten aber nicht ohne ausdrückliche Empfehlung des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit eingenommen werden, da sie Nebenwirkungen enthalten.

Das Cäsium-137 besitzt eine deutlich längere physikalische Halbwertszeit und ist auch noch nach 80 Tagen reaktiv. Diese beiden Radionuklide sind schädlich, da sie relativ leicht sind und durch Wind und andere Umwelteinflüsse leicht transportiert werden können und so weite Strecken überbrücken, wo sie dann als Fallout auf die Erde kommen.

Jeder Mensch ist zu jeder Zeit radioaktiver Strahlung ausgesetzt, da sie sowohl im Boden, als natürliche Radionuklide, wie Uran, Radon, Kalium, Radium und weitere vorkommt, als auch als Höhenstrahlung aus dem Weltall, durch Tritium und Kohlenstoff-14.

Befindet man sich auf Meereshöhe, ist die Höhenstrahlung am geringsten, es muss aber nicht zwangsläufig eine geringere Strahlung herrschen, weil Radionuklide im Boden auch berücksichtigt werden müssen.

Etwa 2,1 mSv pro Jahr beträgt die Belastung eines Menschen durchschnittlich durch natürliche Radionuklide. Laut Strahlenschutzverordnung, dürfen 1 mSv pro Jahr noch zusätzlich aus anderen Quellen hinzukommen.

Die Kernkraftwerke werden mit vielen Sicherheitsstandards versehen, damit keine Probleme während des Betriebs auftreten und keine Radioaktivität nach außen gelangt. Da der Eintritt einer Kernschmelze in Deutschland eine sehr geringe Wahrscheinlichkeit beinhaltet, gehört es nicht zum Sicherheitsstandard.

Trotz dieser Standards und regelmäßigen Kontrollen, ist es nicht ausgeschlossen, dass es in Europa zu einer Kernschmelze kommen kann. Das fatale dabei wäre, dass Europa dicht besiedelt ist.

Doch unabhängig, von den derzeit intensiven Debatten, stellt sich weiterhin die Frage, wie lange es dauern wird, bis die Zukunft endgültig ohne Atomkraftwerke auskommen kann. Dazu müssten natürliche, erneuerbare Energiequellen zum Einsatz kommen, die die Energie decken können. Diese Alternative wäre Umweltfreundlicher und könnte beispielsweise die CO₂ Emission verringern.

Darüber hinaus wird es auch in Zukunft Radioaktivität geben, da der Atommüll der derzeit aktiven Kernkraftwerke in Deutschland gelagert werden muss. Die physikalischen Halbwertszeiten dieser Radionuklide betragen überwiegend mehrere Millionen Jahre. abgesehen davon bleibt weiterhin offen, wie und wo die Abfallprodukte von Atomkraftwerken (Atommüll) gelagert werden sollen.²⁷⁶

Des Weiteren, wird es weiterhin die natürlichen Strahlenquellen geben. In diesem Zusammenhang spielen Höhenstrahlung und Terrestrische Strahlung eine wichtige Rolle. In Deutschland beträgt die durchschnittliche Strahlenexposition aufgrund von natürlicher radioaktiver Strahlung 2,1 mSv pro Jahr.²⁷⁷

²⁷⁶ Milkereit M., (2011), <http://www.atom-aktuell.de/energiewirtschaft/atomkraftwerke-in-deutschland.html>, [Letzter Zugriff: 29.10.2011, 16:14 Uhr]

²⁷⁷ Bundesamt für Strahlenschutz, (2008), Seite 18

15. Mögliche Fehlerquellen:

Zur Erstellung dieser wissenschaftlichen Arbeit habe ich viele unterschiedliche Quellen herangezogen. Dabei gab es einige Abweichungen der Werte. Ich habe dabei versucht die Quellen nach ihrer Seriosität zu selektieren. So gab es beispielsweise vom Bundesamt für Strahlenschutz den Wert für alle natürlichen Strahleneinflüsse, der bei 2,1 mSv pro Jahr pro Mensch liegt. Im Naturwissenschaftsmagazin „Ernährung im Fokus“, liegt dieser Wert bei 2,4 mSv pro Jahr pro Mensch. Daraus ergab sich, dass ich viele Fakten aus den Quellen (Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit, Bundesministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Verbraucherschutz, Bundesamt für Strahlenschutz, (Veterinär- und Einfuhramt), sowie Johann Heinrich von Thünen Institut Zweigstelle Fischereiökologie, die eine Einrichtung des Bundesministeriums für Ernährung, Landwirtschaft und Verbraucherschutz ist entnommen. Dazu habe ich diese Institutionen als Experten herangezogen. Das dazugehörige Interview mit den Fragenkatalogen, befindet sich im Anhang. War es nicht möglich diese Quellen zu nutzen, basieren die Angaben auf Vertrauensbasis.

16. Literaturverzeichnis:

Amtsblatt der Europäischen Union, Verordnungen 733-2008, (2008), PDF-Dokument

Apfel P., Radioaktive Lebensmittel – Wildschwein strahlt mehr als Sushi, (2011), München, http://www.focus.de/panorama/welt/tsunami-in-japan/wissenschaftliche-hintergruende/radioaktive-lebensmittel-wildschwein-strahlt-mehr-als-sushi_aid_610155.html, [Letzter Zugriff: 29.10.2011, 16:13 Uhr]

Baltes, W., Lebensmittelchemie, (2007), Berlin, Heidelberg, New York, Springer Verlag, 6. Auflage

Bäurle P., Institut für Hygiene und Umwelt Hamburg, Überwachung der Radioaktivität – Sicherheit für Hamburg, (2006), Hamburg, PDF-Dokument

Blank L. M., Suite 101, Kartoffeln radioaktiver als andere Gemüsesorten, (2011), Berlin, <http://www.suite101.de/news/kartoffeln-radioaktiver-als-andere-gemuesesorten-a113779>, [Letzter Zugriff: 06.11.2011, 20:33 Uhr]

Brake M., Heise C., Der lange Ausstieg aus der Atomkraft (2011), Hannover, <http://www.heise.de/tp/artikel/34/34616/1.html>, [Letzter Zugriff: 28.10.2011, 14:57 Uhr]

Brockhaus Multimedial Premium 2009, Version 11, Bibliographisches Institut & F.A. Brockhaus AG, (2009), Mannheim

Bundesamt für Strahlenschutz, Natürliche Radionuklide in Mineralwässern, (2002), Salzgitter, <http://www.bfs.de/de/ion/nahrungsmittel/mineralwasser.html>, [Letzter Zugriff: 01.08.2011, 20:29 Uhr], PDF-Dokument,

Bundesamt für Strahlenschutz, Wildpilze – Bedenkenloser Genuss?, (2006), Salzgitter, Infoblatt, http://www.bfs.de/de/bfs/publikationen/broschueren/ionisierende_strahlung/tschernobyl/wildpilze.html/, [Letzter Zugriff: 28.10.2011, 15:20 Uhr], PDF Dokument

Bundesamt für Strahlenschutz, Strahlung, Strahlenschutz – Eine Information des Bundesamtes für Strahlenschutz, (2008), 4. Auflage, Salzgitter, PDF-Dokument

Bundesamt für Strahlenschutz, Natürliche Radionuklide in Nahrungsmitteln, (2010), Salzgitter, <http://www.bfs.de/de/ion/nahrungsmittel/nahrung.html>, [Letzter Zugriff: 28.10.2011, 15:18 Uhr]

Bundesamt für Strahlenschutz, Fragen und Antworten zu Strahlenschutz - Aspekten in Japan, (2011), Salzgitter, http://www.bfs.de/de/kerntechnik/papiere/japan/strahlenschutz_japan.html, [Letzter Zugriff: 28.10.2011, 13:51 Uhr]

Bundesamt für Strahlenschutz, Der Reaktorunfall 1986 in Tschernobyl, (2011 b), 4. Auflage, Salzgitter, PDF-Dokument

Bundesamt für Strahlenschutz, Kernkraftwerke in Deutschland, Meldepflichtige Ergebnisse seit Inbetriebnahme, (2011 c), Salzgitter, http://www.bfs.de/kerntechnik/ereignisse/standorte/karte_kw.html, [Letzter Zugriff: 28.10.2011, 14:23 Uhr]

Bundesministerium für Umwelt Naturschutz und Reaktorsicherheit (BMU), Umweltradioaktivität in der Bundesrepublik Deutschland 2006 und 2007 – Daten und Bewertung, (2008), Bonn, PDF-Dokument

Barknecht F., Bittner B., Buron A., et. Al., Deutschlandradio, Kalorienarm und Gesund – Mineralwasser als idealer Durstlöscher, (2010), Köln, <http://www.dradio.de/dlf/sendungen/marktplatz/1146405/>, [Letzter Zugriff: 29.10.2011, 14:44 Uhr]

Böhm-Dittmer D., Driesner H., Gänger J., et. al., N-TV, Tödliche Radioaktive Strahlung – Die Folgen für den Menschen, (2011), Berlin, Köln, <http://www.n-tv.de/Spezial/Die-Folgen-fuer-den-Menschen-article2822641.html>, [Letzter Zugriff: 29.10.2011, 15:19 Uhr]

Deutsche Krebshilfe e.V., 09 die blauen Ratgeber – Krebs der Schilddrüse, (2011), Bonn, PDF-Dokument

DGE, Referenzwerte für die Nährstoffzufuhr – Natrium, Kalium und Chlorid, (2011), Bonn <http://www.dge.de/modules.php?name=Content&pa=showpage&pid=3&page=5>, [Letzter Zugriff: 29.10.2011, 17:23 Uhr]

Diehl, J. F., Radioaktivität in Lebensmitteln, (2003), Weinheim, Wiley-VCH GmbH & Co. KGaA

Eiselmair P., Kernspaltung- Die Atombombe, (2011), Linz,
http://home.schule.at/teacher/hokl/Projekt_4/start5_4.htm [Letzter Zugriff: 29.10.2011, 16:06
Uhr]

Foodwatch, Kritische Uranbelastung in Trink- und Mineralwasser, (2009), Berlin,
http://www.foodwatch.de/kampagnen__themen/mineralwasser/index_ger.html, [Letzter
Zugriff: 29.10.2011, 14:42 Uhr]

Foodwatch, Grenzwerte für Radioaktivität sollen gesenkt werden, (2011), Berlin,
http://www.foodwatch.de/kampagnen__themen/radioaktivitaet/nachrichten/grenzwerte/index_ger.html, [Letzter Zugriff: 28.10.2011, 14:11 Uhr]

Freund R., Elektromagnetische Strahlung, (2011), Hanau-Steinheim,
http://www.drfreund.net/astronomy_spektrum.htm, [Letzter Zugriff: 29.10.2011, 16:17 Uhr]

Gesellschaft für Anlagen- und Reaktorsicherheit (GRS), Timeline (2011), Köln,
<http://fukushima.grs.de/kommunikation-medien/japan-statusmeldungen>, [Letzter Zugriff:
28.10.2011, 15:06 Uhr], PDF-Dokument

Gesellschaft für Anlagen- und Reaktorsicherheit (GRS), Zur Meerwasserkontamination bei
Fukushima Daiichi, (2011 b), Köln,
<http://fukushima.grs.de/content/meerwasserkontamination>, [Letzter Zugriff: 28.10.2011,
15:14 Uhr]

Google, Entfernungsrechner, (o.J.), Berlin, <http://www.luftlinie.org/>, [Letzter Zugriff:
02.11.2011, 13:14 Uhr]

Greenpeace, Der Tag X – Unfallablauf, (2006), Berlin, <http://www.greenpeace-berlin.de/tschernobyl/tagx.html>, [Letzter Zugriff: 28.10.2011, 14:42 Uhr]

Greenpeace, 25 Jahre Tschernobyl – Weltweit wird gegen Atomkraft protestiert, (2011),
Wien,
[http://www.greenpeace.org/austria/de/themen/atom/probleme/atomunfaelle/tschernobyl/25-
Jahre-Tschernobyl/](http://www.greenpeace.org/austria/de/themen/atom/probleme/atomunfaelle/tschernobyl/25-Jahre-Tschernobyl/), [Letzter Zugriff: 28.10.2011, 14:45 Uhr]

Hacker C., Wurzbacher K., Reiche A., Umweltinstitut München e.V., Pilze und Wild –
Tschernobyl noch nicht gegessen, (2005), München, <http://www.umweltinstitut.org/atom>
[Letzter Zugriff: 29.10.2011, 14:25 Uhr], PDF-Dokument

Handelsblatt, Sellafield ist den Briten zu riskant, (2011), Düsseldorf,
<http://www.handelsblatt.com/politik/international/sellafield-ist-den-briten-zu-riskant/4462684.html>, [Letzter Zugriff: 28.10.2011, 14:14 Uhr]

Helmich U., Atombau, (2004), Rahden, <http://www.u-helmich.de/che/09/03-atombau/atombau03.html> [Letzter Zugriff: 29.10.2011, 15:59 Uhr]

Herhoffer J.K., Atomkraftwerke – Kernspaltung, (2011), Schwäbisch Hall,
http://referate.mezdata.de/sj2010/atomkraftwerke_jens-kilian_herhoffer/ausarbeitung/prozesse.html, [Letzter Zugriff: 29.10.2011, 16:03 Uhr]

Huber V., Karte von der Ukraine, (o.j.), Rüschnikon,
<http://www.weltkarte.com/europa/ukraine/karte-verwaltungsbezirke-ukraine.htm>, [Letzter Zugriff: 29.10.2011, 16:09 Uhr], mit eigener Ergänzung

Hünten, M., Pfenning, R., Abiturtraining Chemie – Analytik, Kernchemie,
Kohlenwasserstoffe für Leistungskurs, (1996), Freising, Stark Verlagsgesellschaft mbH & Co.
KG

Inga T., Artikelmagazin, Radioaktivität in Lebensmitteln - Nahrungsmittel und Wasser in Japan radioaktiv kontaminiert, (2011), Hechingen,
<http://www.artikelmagazin.de/gesundheit/ernaehrung/radioaktivitaet-in-lebensmitteln-nahrungsmittel-und-wasser-in-japan-radioaktiv-kontaminiert.html>, [Letzter Zugriff: 05.08.2011, 22:06 Uhr]

Jacob T., Jacob H.J., Parasolpilz, (2011), Dohna, Pirna,
<http://www.pictokon.net/bilder/Bildersammlung%20Steffen/lepiota-procera-neu-macrolepiota-procera-riesenschirmpilz-parasolpilz-.jpg>, [Letzter Zugriff: 28.10.2011, 15:21 Uhr]

Kemski J., Klingel Dr. R., Ortsdosisleistung, (2010), Bonn, http://www.radon-info.de/shtml/karten_odl.shtml, [Letzter Zugriff: 29.10.2011, 16:27 Uhr]

Körper M., Birmuske R., Radioaktivität, (2009), o.O., PDF-Dokument

Kohlenberger J., Code-Knacker, Normalnull – Normalhöhennull, (2006), München,
<http://www.code-knacker.de/normalnull.htm>, [Letzter Zugriff: 29.10.2011, 15:14 Uhr]

Kube J., Deutsche Physikalische Gesellschaft e.V., Messgrößen der Radioaktivität, (2011), Bad Honnef, <http://www.weltderphysik.de/de/8936.php> [Letzter Zugriff: 29.10.2011, 16:24 Uhr]

Lichtenberg W., Radioaktivität und Lebensmittel – Naturwissenschaftliche Grundlagen, Ernährung im Fokus, AID, (2011), Bonn, Ausgabe 7

Lohberg R., Lohberg P., Braendle K., Semmelstoppelpilz, (2011), Holzgerlingen, <http://www.neckarkiesel.de/img/102-semmelstoppelpilz-1-4.gif>, [Letzter Zugriff: 29.10.2011, 14:18 Uhr]

Lohberg R., Lohberg P., Braendle K., Steinpilz, (2011), Holzgerlingen, <http://www.neckarkiesel.de/img/90-steinpilz-1-2.gif>, [Letzter Zugriff: 28.10.2011, 15:33 Uhr]

Lossau N., Welt Online, Becquerel und Sievert, (2011), Berlin, http://www.welt.de/print/die_welt/politik/article12841286/Becquerel-und-Sievert.html [Letzter Zugriff: 28.10.2011, 13:21 Uhr]

Lunow R., et al., Gesundheitscheck, Radioaktivität in der Medizin – Nutzen und Schaden, (2011), Bornheim, <http://www.cancerlink.org/radioaktivitat-in-der-medizin-nutzen-und-schaden>, [Letzter Zugriff: 29.10.2011, 15:30 Uhr]

Magill J., Pfennig G., Galy J., (2006), Karlsruher Nuklidkarte, 7. Auflage, Karlsruhe, European Communities

Marx D. H., Deutsches Atomforum e.V., Kernkraftwerke in Deutschland, (2011), Berlin, http://www.kernenergie.de/kernenergie/Themen/Kernkraftwerke/Kernkraftwerke_in_Deutschland/, [Letzter Zugriff: 28.10.2011, 14:18 Uhr]

Massholder F., Lebensmittellexikon, Radioaktivität in Lebensmitteln, (2011), Oberursel <http://www.lebensmittellexikon.de/r0001550.php>, [Letzter Zugriff: 29.10.2011, 14:36 Uhr]

Microsoft Encarta 2009 [DVD], Version 16, Microsoft Corporation, (2008), Redmond (USA)

Milkereit M., (2011), Heilbronn, <http://www.atom-aktuell.de/energiwirtschaft/atomkraftwerke-in-deutschland.html>, [Letzter Zugriff: 29.10.2011, 16:14 Uhr]

Misholi A., (2010), Künstliche Radioaktivität, Beirut (Libanon)

http://www.techniklexikon.net/d/k%C3%BCnstliche_radioaktivit%C3%A4t/k%C3%BCnstliche_radioaktivit%C3%A4t.htm, [Letzter Zugriff: 29.10.2011, 16:31 Uhr]

Mortimer, C. E., Müller, U., Chemie, 10. Auflage, (2010), Stuttgart, Thieme Verlag

Nebelung R., Zukunftswerkstatt Jena, Kernspaltung, (o.J.), Jena, <http://www.zw-jena.de/energie/kernstrahlung.html>, [Letzter Zugriff: 29.10.2011, 16:35 Uhr]

O.A., Isotope des Elements Kohlenstoff, (o.J.), o.O., <http://user1.123imwww.de/oess/K-Elemente/006-c.html> [Letzter Zugriff: 29.10.2011, 16:41 Uhr]

O.A. Maronenröhring, (o.J.), Rheinsberger-See, <http://www.rheinsbergersee.de/Pilze/Maronenroehrling.jpg>, [Letzter Zugriff: 28.10.2011, 15:31 Uhr]

Philipsborn H. von, Geipel R., Radioaktivität und Strahlungsmessung, (2006), München, Bayrisches Staatsministerium für Umwelt, Gesundheit und Verbraucherschutz, 8. Auflage, PDF-Dokument

Rieth U., Welling M., Johann Heinrich von Thünen-Institut (vTI), Keine Gefahr durch kontaminierten Fisch für deutsche Verbraucher erwartet – Neue Daten zum Reaktorunglück in Japan, (2011), Hamburg,

http://www.vti.bund.de/no_cache/de/startseite/presse/pressemitteilungen-informationsseite/Pressemitteilung/keine-gefahr-durch-kontaminierten-fisch-fuer-deutsche-verbraucher-erwartet.html, [Letzter Zugriff: 29.10.2011, 14:51 Uhr], PDF-Dokument,

Rieth U., Kanisch G., Atomtests, Sellafield, Tschernobyl und die Belastung der Meere – Woher kommen Radioaktive Stoffe in Fischen (2011), Hamburg, Forschungsreport

Robert-Koch-Institut (RKI), Krebs in Deutschland - Leukämien, (2010), Berlin, http://www.rki.de/cln_116/nn_197444/sid_368C32A3AD3DCC4BEEE3B14442BE3CCF/DE/Content/GBE/DachdokKrebs/KID/Lokalisationen/C91__95.html?__nnn=true, [Letzter Zugriff: 29.10.2011, 15:28 Uhr], PDF-Dokument,

Rücker M., Hacker C., Foodwatch, Umweltinstitut München e.V., Gemeinsame Presseerklärung von Foodwatch und Umweltinstitut München e.V., Grenzwerte für radioaktive Belastung von Lebensmitteln aus Japan erhöht – Bundesregierung informiert Öffentlichkeit nicht, (2011), Berlin, München,

http://foodwatch.de/presse/pressearchiv/2011/atom_katastrophe_in_japan/index_ger.html,
[Letzter Zugriff: 28.10.2011, 13:13 Uhr]

Rupprecht Gymnasium, Leifiphysik, Zerfall des Radionuklids 40-K, (2006),
http://www.leifiphysik.de/web_ph12/musteraufgaben/11kern/kalium06/k40_zerfall06.htm
[Letzter Zugriff: 28.10.2011, 13:33 Uhr]

Rupprecht Gymnasium, Leifiphysik, Höhenstrahlung – Kosmische Strahlung, (o.J.),
München, http://www.leifiphysik.de/web_ph12/umwelt_technik/11belast/hoehen.htm,
[Letzter Zugriff: 29.10.2011, 15:12 Uhr]

Schmidt R., Pressestelle des Senats Hamburg, Erwartungsgemäß keine radioaktiv belasteten
Lebensmitteleinfuhren aus Japan, (2011), Hamburg, PDF-Dokument

Schrader C., Sueddeutsche Zeitung, 2000 Grad fressen sich durch (2011), München,
<http://www.sueddeutsche.de/wissen/atomalarm-in-japan-kernschmelze-grad-celsius-fressen-sich-durch-jedes-material-der-welt-1.1071312>, [Letzter Zugriff: 29.10.2011, 17:09 Uhr]

Tait D., Roos N., Bundesministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Verbraucherschutz,
25 Jahre Tschernobyl – was ist geblieben? (2011), Kiel, Forschungsreport,

Uhe F., IPPNW, Genetische Schäden und Fehlbildungen nach Tschernobyl – Tschernobyl
Folgen in Europa, (2006), Berlin, <http://www.ippnw.de/atomenergie/atom-gesundheit/tschernobylfolgen/artikel/b885ac0447/genetische-schaeden-und-fehlbildunge.html>, [Letzter Zugriff: 29.10.2011, 15:24 Uhr]

Umweltinstitut München e.V., Klimaschutz false friends Teil 1 – Atomkraft (2010),
München, http://umweltinstitut.org/ueber-uns/ueber-uns/infomaterial_bestellen-519.html,
PDF-Dokument

Urbach J.P., Wissen Media Verlag, Gammastrahlung, (2011), Gütersloh,
<http://www.wissen.de/wde/generator/wissen/ressorts/gesundheit/medizin/index,page=4249756.html>, [Letzter Zugriff: 29.10.2011, 16:45 Uhr], (Mit Genehmigung)

Verbraucherzentrale Hamburg e.V., Durch Tschernobyl verursachte Radioaktivität in
Lebensmitteln – auch noch 25 Jahre nach der Katastrophe, (2011), Hamburg,
<http://www.vzh.de/ernaehrung/112918/radioaktivitaet-in-lebensmitteln.aspx>, [Letzter
Zugriff: 28.10.2011, 13:57 Uhr], PDF-Dokument,

Verbraucherzentrale Hamburg e.V., Vergleich der Grenzwerte für radioaktive Stoffe bei Importen aus Japan oder Küstengewässern der betroffenen Regionen (Bq/Kg Lebensmittel), (2011 b), Hamburg, PDF-Dokument

Verbraucherzentrale Hamburg e.V., Durch Tschernobyl verursachte Radioaktivität in Lebensmitteln – auch 25 Jahre nach der Katastrophe, (2011 c), Hamburg, PDF-Dokument

Verbraucherzentrale Hamburg e.V., Die Schädlichkeit von radioaktiver Strahlung in Abhängigkeit von der Dosis, (2011 d), Hamburg, PDF-Dokument

Volkmer, M., Basiswissen Kernenergie, (2002), Köln, Informationskreis KernEnergie

Volz, T., Stuttgarter Zeitung, Lieferstopp für Spinat und Kohl, (2011), Stuttgart, <http://www.stuttgarter-zeitung.de/inhalt.radioaktivitaet-lieferstopp-fuer-spinat-und-kohl.b696daaf-bde1-4fc1-9886-b8a2ca8a58f3.html>, [Letzter Zugriff: 29.10.2011, 14:33 Uhr]

Wagner, H. F., Welt der Physik, Kernspaltung, (2006), Bad Honnef, <http://www.weltderphysik.de/de/4863.php> [Letzter Zugriff: 29.10.2011, 16:33 Uhr]

Winkler-Hermaden R., Aigner L., Burgstaller K., et. al., Austria Presseagentur, Japan erneut radioaktives Rindfleisch entdeckt, (2011), Wien, <http://derstandard.at/1310511435647/Japan-Erneut-radioaktiv-verseuchtes-Rindfleisch-entdeckt>, [Letzter Zugriff: 29.10.2011, 15:06 Uhr]

Zeit Online, Was passiert bei einer Kernschmelze, (2011), Hamburg, <http://www.zeit.de/wissen/umwelt/2011-03/kernschmelze-japan-atomkraftwerk>, [Letzter Zugriff: 07.08.2011, 14:27 Uhr]

16.1 Verzeichnis der Expertengespräche:

Expertengespräch Herr Alfred Jansen, Öffentlichkeitsarbeit Bundesamt für Strahlenschutz (BfS), per E-Mail geführt, Fragen gesendet am 15.07.2011, Antworten erhalten am 03.08.2011 [Fragenkatalog 1]

Expertengespräch Herr Dr. Ulrich Rieth, Wissenschaftlicher Mitarbeiter vTI Johann Heinrich von Thünen Institut, Leitstelle Umweltradioaktivität, Kontakt:

http://www.vti.bund.de/no_cache/de/startseite/institute/foe/personal/dr-ulrich-rieth.html,
persönlich geführt am 19.07.2011, 10:00 bis 12:00 Uhr [Fragenkatalog 2]

Abbildungsverzeichnis:

Abbildung 1: Uran-Actinium Zerfallsreihe:.....	19
Abbildung 2: Uran-Radium Zerfallsreihe:.....	20
Abbildung 3: Thorium Zerfallsreihe:.....	21
Abbildung 4: Bodenkontamination in Deutschland durch Tschernobyl an Cäsium-137 im Jahre 1986:.....	25
Abbildung 5: Weltkarte mit Meeresströmungen:.....	28
Abbildung 6: INES-Skala:.....	34
Abbildung 7: Mittelwerte von Cäsium-137 Konzentrationen im Gesamtfisch der Nord- und Ostsee, in den Jahren 2004 bis 2009:.....	41
Abbildung 8: Atomkraftwerke in Deutschland:.....	43
Abbildung 9: Radon-222 Konzentrationen in Deutschland in Bodennähe:.....	45
Abbildung 10: Radioaktive Ausbreitung von Tschernobyl über Europa:.....	49
Abbildung 11: Auswirkungen der Tschernobyl-Katastrophe auf Europa aufgrund von Cäsium- 137:.....	50
Abbildung 12: Messdaten des Meerwassers 330 m südlich des Kernkraftwerks Fukushima: 56	
Abbildung 13: Messdaten des Meerwasser 10 Km nördlich des Kernkraftwerks Fukushima: 57	
Abbildung 14: Parasolpilz:.....	64
Abbildung 15: Maronenröhrling:.....	64
Abbildung 16: Steinpilz:.....	62
Abbildung 17: Semmelstoppelpilz:.....	63
Abbildung 18: Cäsium-137 und Strontium-90 Messungen in Milch und Milchprodukten von 1960 bis 2007 in Deutschland (Mittelwerte):.....	70
Abbildung 19: Dosisleistung in Beziehung zur Höhenlage:.....	77
Abbildung 20: Rutherfords Streuversuch mit α -Teilchenbeschuss von Goldfolie:.....	86
Abbildung 21: Rutherfords Auswertung des Streuversuchs:.....	87
Abbildung 22: Kernspaltung eines Uran-235 Atoms:.....	89
Abbildung 23: Landkarte der Ukraine:.....	96
Abbildung 24: Radioaktiver Zerfall von Uran-238 mit Halbwertszeiten:.....	104
Abbildung 25: Terrestrische Strahlung durch Radon-222 in Deutschland:.....	107
Abbildung 26: Häufigkeit der auftretenden Spaltprodukte während der Kernspaltung von Uran-235:.....	112
Abbildung 27: Entstehung von α -Strahlen vom Radium-226 zum Radon-222:.....	114

Abbildung 28: Entstehung von β^- (Minus) Strahlen vom Cäsium-137 zum Barium-137:	118
Abbildung 29: Entstehung von β^+ (Plus) Strahlen vom Natrium-22 zum Neon-22:.....	119
Abbildung 30: Vergleich von α -, β - und γ -Strahlung durch Materie:.....	120
Abbildung 31: Entstehung von γ -Strahlung:	122
Abbildung 32: Szintillator:.....	124
Abbildung 33: Geiger-Müller Zähler:	125
Abbildung 34: Produzierte Strommenge in Deutschland 2010:.....	149

Tabellenverzeichnis:

Tabelle 1: Masse der Elementarteilchen: Protonen, Neutronen und Elektron:	12
Tabelle 2: Wichtungsfaktoren von menschlichen Organen bezogen auf radioaktive Strahlung:	15
Tabelle 3: Cäsium-137 Aktivität in landwirtschaftlichen Produkten in Deutschland 2008:....	27
Tabelle 4: Europaweit geltende Grenzwerte für Radioaktivität in Lebensmitteln:	31
Tabelle 5: Vergleich von Grenzwerten für Radionuklide betroffener Regionen für Lebensmittel in [Bq/Kg].....	36
Tabelle 6: Wichtige Dosis- und Grenzwerte:	38
Tabelle 7: Bekannte Mineralwasser und beinhalten Strahlendosen für Erwachsene im Jahr 2002:.....	68
Tabelle 8: Anzahl der Atomversuche und Sprengkraft in Mt TNT (Megatonnen TNT):	90
Tabelle 9: Strahlungsarten und ihre Wellenlängen in Metern:.....	98
Tabelle 10: Wichtige Radionuklide, ihre physikalischen Halbwertszeiten, Strahlungsarten, Vorkommen und Bildung:.....	121
Tabelle 11: Durchschnittswerte Natürlicher Radionuklide in Lebensmitteln und Trinkwasser:	132

17. Anhang:

Abbildung 34: Produzierte Strommenge in Deutschland 2010:²⁷⁸

Bekanntmachung gemäß § 7 Absatz 1 c Atomgesetz (AtG) - Jahresmeldung 2010 -								
Kernkraftwerk	Elektrizitätsmenge ab 1. Januar 2000 gem. § 7 Absatz 1a Anlage 3 Spalte 2 AtG [GWh netto]	Zusätzliche Elektrizitätsmenge gem. § 7 Absatz 1a Anlage 3 Spalte 4 AtG [GWh netto]	Vom 1. Januar 2000 bis 31. Dezember 2010 erzeugte, übertragene und verbleibende Elektrizitätsmengen [GWh netto] gemäß § 7 Absatz 1a Anlage 3 Spalte 2 AtG					
			1. Januar 2000 bis 31. Dezember 2007	Summe 2008	Summe 2009	Summe 2010****)	Elektrizitätsmengen übertragen bis 31. Dezember 2010	verbleibende Elektrizitätsmenge
1	2	3	4	5	6	7	8	9
Biblis A	62000,00	68617,00	48319,02	8472,13	1012,98	4675,88	4785,53	4305,52
Neckarwestheim 1	57350,00	51000,00	47102,07	3786,95	4361,98	1910,34		188,66
Biblis B	81460,00	70663,00	58505,38	10355,20	1511,33	9726,62	8100,00	9461,47
Brunsbüttel	47670,00	41038,00	36670,33	0,00	0,00	0,00		10999,67
Isar 1	78350,00	54984,00	54100,97	7582,63	6796,00	6285,18		3586,22
Unterweser	117980,00	79104,00	74384,47	9295,52	10028,91	10698,90		13572,20
Philippsburg 1	87140,00	55826,00	52983,96	6148,10	6149,84	6488,68	-5499,89	9869,53
Grafenrheinfeld	150030,00	135617,00	80442,31	9763,01	10447,26	7492,57		41884,85
Krümmler	158220,00	124161,00	69639,92	0,00	334,97	0,00		88245,11
Gundremmingen B	160920,00	125759,00	81170,74	9669,91	10389,87	9460,79		50228,69
Philippsburg 2	198610,00	146956,00	85099,38	10844,03	10969,60	11192,14		80504,85
Grohnde	200900,00	150442,00	87057,90	10545,95	10867,47	10782,44		81646,24
Gundremmingen C	168350,00	126938,00	79234,30	9928,98	10275,18	10394,76		58516,78
Brokdorf	217880,00	146347,00	89520,46	11450,40	11459,42	11360,45		94089,27
Isar 2	231210,00	144704,00	92068,55	11456,15	11484,85	11375,28		104825,17
Emsland	230070,00	142328,00	88246,27	10896,15	10849,24	10977,91		109100,43
Neckarwestheim 2	236040,00	139793,00	83825,97	10702,15	10779,73	10180,30		120551,85
Summe	2484180,00	1804277,00	1208372,00	140897,26	127718,63	133002,24		881875,51
Stade*)	23180,00		18394,47				-4785,53	0,00
Obrigheim**)	8700,00		14199,89				5499,89	0,00
Mülheim-Kärlich***)	107250,00						-8100,00	99150,00
Gesamtsumme	2623310,00							980725,51
Bis zum 31.12.2010 wurden keine Elektrizitätsmengen erzeugt, die auf die Elektrizitätsmengen nach § 7 Absatz 1a Anlage 3 Spalte 4 des Atomgesetzes (Spalte 3 der Tabelle) anzurechnen wären.								
*) Das Kernkraftwerk Stade ging am 14. November 2003 außer Betrieb und wurde am 7. September 2005 stillgelegt. Die verbliebene Elektrizitätsmenge vom Kernkraftwerk Stade von 4785,53 GWh wurde am 11. Mai 2010 auf das Kernkraftwerk Biblis A übertragen.								
**) Das Kernkraftwerk Obrigheim ging am 11. Mai 2005 außer Betrieb und wurde am 28. August 2008 stillgelegt. Die verbliebene Elektrizitätsmenge vom Kernkraftwerk Obrigheim von 0,11 GWh wurde auf das Kernkraftwerk Philippsburg 1 zurückübertragen.								
***) Mit Schreiben PNN/Dr. Pa vom 30. Juni 2010 hat die RWE Power AG die Übertragung von 8100 GWh des Kontingentes der stillgelegten Anlage Mülheim-Kärlich (KMK) auf die Anlage Biblis B (KWB B) gemäß § 7 Absatz 1c Atomgesetz angezeigt. Die verbliebene Elektrizitätsmenge des KWB B betrug vor der Übertragung am 30. Juni 2010 5889,11 GWh.								
****) Die Angaben in der Spalte 7 "Summe 2010" enthalten die von den Wirtschaftsprüfern gemäß § 7 Absatz 1a AtG geprüften Werte.								

²⁷⁸ Abb. 37: Bundesamt für Strahlenschutz, (2011 c),

http://www.bfs.de/kerntechnik/ereignisse/standorte/karte_kw.html, [Letzter Zugriff: 28.10.2011, 14:23 Uhr]

Fragenkatalog 1: Bundesamt für Strahlenschutz (BfS)

1. Aus welchem Grund wurde die Höhe der Werte für Radioaktivität in Lebensmitteln immer wieder geändert? Warum gibt es für verschiedene Lebensmittel unterschiedliche Grenzwerte und wie wird die Höhe der Grenzwerte für Radioaktivität festgelegt?

Zuständig für die Lebensmittelüberwachung in Deutschland sind die Bundesländer. Auf Länderebene werden im Sinne des Verbraucherschutzes Messungen von Lebensmitteln verbrauchernah durchgeführt und eventuell erforderliche Maßnahmen ergriffen. Ergebnisse werden an das Bundesamt für Verbraucherschutz und Lebensmittelsicherheit (BVL) im Geschäftsbereich des Bundesministeriums für Ernährung, Landwirtschaft und Verbraucherschutz (BMELV) berichtet. Das BMELV berichtet an die Europäische Union (EU) und nimmt Empfehlungen der EU entgegen. Es sorgt für weitere Koordination mit den zuständigen Behörden in den Bundesländern. Die Festlegung von Grenzwerten in Deutschland nach dem Strahlenschutzvorsorgegesetz erfolgt durch das Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit, nach dem Lebensmittelrecht durch das Bundesministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Verbraucherschutz, jeweils im Einvernehmen mit den anderen betroffenen Bundesministerien und nach Zustimmung durch den Bundesrat.

Für Lebensmittelimporte aus Ländern, die von dem Tschernobyl-Unglück betroffen waren (das heißt, unter anderem aus der Ukraine, aus Weißrussland und aus Russland), die in der Europäischen Union auf den Markt gebracht werden, wurden im Mai 1986 Grenzwerte für die radioaktive Kontamination mit Cäsium-134 und Cäsium-137 eingeführt. Diese Grenzwerte finden auch Anwendung auf Lebensmittel aus EU-Staaten (und damit auch Deutschland), die durch den Unfall in Tschernobyl kontaminiert waren. Diese Grenzwerte gelten bis heute. Auch heute noch sind zum Beispiel Pilze und Wildbret aus dem süddeutschen Raum zum Teil über dem Grenzwert belastet und dürfen nicht in den Handel gelangen.

Diese Grenzwerte gelten nur für Kontaminationen durch den Tschernobyl-Unfall und damit nicht für Importe von Lebensmitteln aus

Japan nach dem Unfall in Fukushima. Die EU-Kommission hatte deshalb am 26. März 2011 für Importe aus Japan eine neue Verordnung in Kraft gesetzt, die die Werte der so genannten Höchstwerteverordnung der EU von 1987 übernommen hatte. Die dort aufgeführten Grenzwerte für Cäsium-134 und Cäsium-137 waren jedoch höher als diejenigen der Tschernobyl-Verordnung. Aus der Differenz ergab sich praktisch kein erhöhtes gesundheitliches Risiko für die Menschen in Deutschland. Das BfS hat sich dennoch aus Gründen der Nachvollziehbarkeit und der Konsistenz für eine Harmonisierung der Werte beim Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit und beim Bundesministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Verbraucherschutz ausgesprochen. Deutschland hat sich anschließend mit einem entsprechenden Vorschlag an die Europäische Kommission gewandt. Die Kommission und die EU-Mitgliedstaaten haben sich auf diese Anregung hin am 08. April 2011 in Brüssel auf einheitliche, strengere Grenzwerte für Lebensmittel verständigt. Dabei wurde der jeweils niedrigste Wert der Tschernobyl-Verordnung, der EU-Verordnung vom 26. März 2011 sowie der in Japan geltenden Grenzwerte angesetzt. Die neue Durchführungsverordnung wurde am 12. April 2011 im Amtsblatt der Europäischen Union veröffentlicht und ist ab dem 13. April 2011 gültig. Ergänzende Informationen finden Sie hier:

http://www.bfs.de/de/kerntechnik/papiere/japan/strahlenschutz_europa.html/#5

2. Kann Radioaktivität aus Japan nach Deutschland gelangen?

In Deutschland betreibt das BfS auf dem Schauinsland im Südschwarzwald ein hochempfindliches Messlabor, das als Frühwarnsystem fungiert. Das BfS geht aufgrund der weiträumigen Verteilung und Verdünnung der radioaktiven Stoffe in der Atmosphäre nicht davon aus, dass durch den Unfall in Japan radioaktive Belastungen in Deutschland in gesundheitsrelevanter Höhe eintreten werden.

In die Atmosphäre freigesetzte radioaktive Stoffe werden mit dem Wind verteilt. Dabei nimmt die Konzentration der radioaktiven Stoffe in der Luft im Allgemeinen mit wachsender Entfernung vom Unfallort

kontinuierlich ab und somit auch ihre Schädlichkeit für Gesundheit und Umwelt. Zusätzlich nimmt die Konzentration der radioaktiven Stoffe auch dadurch ab, dass einige Radionuklide während der Zeit, in der die Stoffe über die Atmosphäre über weite Strecken transportiert werden, bereits zerfallen. Dies trifft zum Beispiel auf radioaktives Jod zu.

Die aktuellen Messwerte unserer Messstation für atmosphärische Radioaktivität >Schauinsland< können Sie hier einsehen:

<http://www.bfs.de/de/ion/imis/luftueberwachung.html>

Einen zentralen Zugang zum Thema bieten wir hier an:

<http://www.bfs.de/de/ion/imis>

Die Informationen zu den einzelnen Stationen finden Sie als Gesamtansicht auf dieser Seite:

<http://odlinfo.bfs.de/>

3. Kann man die Katastrophen von Tschernobyl mit Fukushima vergleichen?

Technisch gesehen handelt es sich in Fukushima um einen anderen Verlauf der Ereignisse als bei Tschernobyl. In Tschernobyl wurde Radioaktivität in große Höhen geschleudert und großflächig verbreitet. Bei Fukushima gibt es vor allem in der Region um Fukushima und an bestimmten Stellen, teilweise auch außerhalb des Evakuierungsradius, sehr hohe Belastungen mit radioaktiven Stoffen. Dort ist die Gefahr einer Kontamination besonders hoch, aber auch in anderen Gegenden kann die Belastung schnell ansteigen, wenn die Freisetzung nicht eingedämmt wird oder sich die Wetterverhältnisse ändern.

Auszug aus dem Text >Präsident des Bundesamtes für Strahlenschutz:

Unfall in Fukushima vom Ablauf her nicht mit Tschernobyl zu vergleichen<:

Was ist der Unterschied zwischen Fukushima und Tschernobyl?

König: "Meine Sorge gilt dem Schutz der Menschen vor Ort. Gleichwohl werden wir das, was in Tschernobyl passiert ist, in Japan nach dem jetzigen Kenntnisstand mit großer Wahrscheinlichkeit nicht erleben: Dass große Mengen von radioaktiven Stoffen sehr weit in große Höhen geschleudert werden und sich dann über die gesamte Nordhalbkugel verteilen. In Tschernobyl gab es einen Brand des Reaktors. Dieser

Reaktor war graphitmoderiert, das heißt hier hat es brennbares Material unmittelbar im Reaktorkern gegeben. Dieses Feuer hat dazu geführt, dass die Stoffe, die radioaktiven Partikel, sehr hoch in die Atmosphäre gebracht wurden. Ein solcher Brand ist in den japanischen Siedewasserreaktoren nicht möglich. Zweitens hatten wir in Japan bisher eine Wetterlage, die im Falle einer explosionsartigen Freisetzung des Reaktormaterials ein Aufsteigen der radioaktiven Stoffe in große Höhen nicht begünstigt. Aber gleichwohl ist natürlich in einem längeren Zeitraum dann damit zu rechnen, dass auch diese Partikel sich sehr verdünnt in der Atmosphäre verteilen. Dieses könnte man dann auch gegebenenfalls in der Messanlage Schauinsland analysieren."

Das Interview finden Sie hier:

<http://www.bfs.de/de/kerntechnik/papiere/japan/interviews.html>

Zur Sicherheit in der Kerntechnik bieten wir weitergehende Texte z. B. hier an:

<http://www.bfs.de/de/kerntechnik/sicherheit>

Texte mit entsprechenden Hinweisen über die Radioaktivität in Nahrungsmitteln finden Sie auf dieser Seite:

<http://www.bfs.de/ion/nahrungsmittel/nahrung.html>

Einen Zugang zu den vorliegenden Messergebnissen der Umweltradioaktivität in Deutschland finden Sie in unserem Internetangebot auf der Seite:

<http://www.bfs.de/de/bfs/publikationen/berichte/umweltradioaktivitaet>

Die Wirkungen der ionisierenden Strahlung bieten wir z. B. mit Texten auf dieser Seite an:

<http://www.bfs.de/de/ion/wirkungen>

Differenzieren Sie bei Ihren Betrachtungen zwischen den Begriffen >Radioaktivität<, >Strahlung< und >Kontamination<.

Berücksichtigen Sie bei Ihren Betrachtungen, dass die Gesamtaktivität natürlicher Radionuklide im Körper eines erwachsenen Menschen etwa 8.000 bis 9.000 Becquerel (Bq) beträgt. Das dabei wesentliche Nuklid ist Kalium-40, da das Element Kalium ein unverzichtbarer, lebenswichtiger

Baustein des menschlichen Körpers ist.

Das bedeutet, dass in unserem Körper jede Sekunde acht- bis neuntausend Kernzerfälle stattfinden, fast 800 Millionen pro Tag. Die daraus resultierende effektive Dosis beträgt im Mittel ca. 0,3 mSv pro Jahr.

Eine gute Einführung in den Themenbereich >Radioaktivität und Strahlung< finden Sie in unserer Broschüre >Strahlung und Strahlenschutz<. Sie werden bei der Darstellung der Umweltradioaktivität bemerken, dass die Strahlenexposition in hohem Maße davon abhängt, ob radioaktive Stoffe (z.B. Radon) in den menschlichen Körper gelangen. Die vorgenannte Broschüre bieten wir auch im Internet auf folgender Seite an:

<http://www.bfs.de/de/bfs/publikationen/broschueren/strahlenschutz/strahlenschutz.htm>

↓

Weitere Informationen finden Sie z. B. hier:

<http://www.bfs.de/de/bfs>

http://www.bmu.de/atomenergie_strahlenschutz/doc/41319.php

Alle Informationsschriften zu unseren Themen können Sie im Rahmen unseres Internetangebotes einsehen und abrufen.

Nutzen Sie mit entsprechenden Stichworten unser Suchfenster in unserem Internetauftritt, damit Sie die übrigen Textangebote zum jeweiligen Stichwort mit berücksichtigen können. Unsere Jahresberichte geben Ihnen einen guten Überblick über unsere Arbeitsschwerpunkte und nennen Ihnen gleichzeitig Ansprechpartner in unseren Fachbereichen. Die Jahresberichte finden Sie auf dieser Seite:

<http://www.bfs.de/de/bfs/publikationen/berichte/jb>

Unter Umständen wäre für Sie noch das Lexikon zur Kernenergie (W. Koelzer) des Forschungszentrums Karlsruhe interessant. Dieses Lexikon finden Sie hier:

<http://iwrwww1.fzk.de/kernenergielexikon/>

4. Gibt es bestimmte Lebensmittel, die genauer auf Radioaktivität untersucht werden? Mich interessieren in Bezug auf die Bachelorarbeit besonders: Fleisch, Fleischerzeugnisse, Wildfleisch, Fische, Milch, Pilze und Mineralwasser.

Im Rahmen des Integrierten Mess- und Informationssystems zur Überwachung der Umweltradioaktivität (IMIS) werden regelmäßig auch in Deutschland erzeugte landwirtschaftliche Produkte wie zum Beispiel Milch, Gemüse, Getreide, Fleisch, Fisch möglichst nah beim Erzeuger sowie Trinkwasser und auch zubereitete Nahrung (z.B. in Kantinen) beprobt. Die Messungen erfolgen in der Regel durch die Bundesländer. Ein denkbarer Ansprechpartner wäre für Sie die Gewerbeaufsicht vor Ort.

Zum besseren Verständnis empfehle ich Ihnen noch einen Blick in unser Faltblatt:

http://www.bfs.de/de/bfs/publikationen/broschueren/ionisierende_strahlung/tschernobyl/stth_lebensmittel.html

Interview per E-Mail geführt, Fragen gesendet am 15.07.2011, Antworten erhalten am 03.08.2011 vom Bundesamt für Strahlenschutz, Kontakt mit Herrn Alfred Jansen

Fragenkatalog 2: Johann Heinrich von Thünen Institut, Leitstelle

Umweltradioaktivität:

1. Wie haben sich die Werte für Radioaktivität in Nord- und Ostsee in den letzten Jahren verändert?

Das wichtigste Radionuklid ist Cäsium-137. Während der Tschernobyl Katastrophe wurden große Mengen ausgesendet. Die Belastung von Cäsium-137 in der Ostsee ist mit Verzögerung gestiegen. Die Verzögerung kommt so zu Stande, dass die Radionuklide erst die Entfernung zurücklegen mussten und sich in die Nahrungsketten der Fische einbringen. Die Verzögerung beträgt etwa 100 Tage, bei Dorschen hat man 250 Tage festgestellt. In der Ostsee ist die Radioaktivität höher als in der Nordsee, weil in der Nordsee sich das Wasser innerhalb eines Jahres fast vollständig austauscht und in den Atlantischen Ozean fließt. In der Ostsee dauert dieser Vorgang deutlich länger, weil eine Verbindung zur Nordsee besteht, aber der Austausch von Wassermassen ist gering, somit gibt es nicht so einen großen Verdünnungseffekt. Des Weiteren kommt durch Flüsse, die in der Ostsee münden weitere Radioaktivität hinzu. Die größten Flüsse sind Oder, Weichsel und Memel. In der Ostsee ist auch die Radioaktivität höher, weil die Entfernung zu Tschernobyl geringer ist und die radioaktiven Wolken über Skandinavien und Polen kamen.

Von Fukushima kann man die Radionuklide kaum messen. Sie machen etwa 0,001 Bq Zunahme aus und es wird nicht weiter steigen, weil das Maximum bereits erreicht ist.

2. Gibt es Fischarten, die man besser nicht verzehren sollte, weil diese hoch radioaktiv belastet sind? (Dorsch, Thunfisch...)

Nein, die maximale Belastung der Fische in der Ostsee liegt bei 10 Bq / Kg. Dieser Wert liegt deutlich unter den Grenzwerten.

Aus diesem Grund kann man die Fische aus der Nord- und Ostsee bedenkenlos verzehren.

3. Gelangen Fische aus Asien nach Europa?

Direkt durch Fisch Schwärme, gelangen keine Fische aus Asien nach Europa. Die einzige Möglichkeit ist durch Warentransport. Beispielsweise der Alaska Seelachs wird in der Umgebung von Japan gefangen. Jedoch ist die Entfernung auch etwa 2.500

Km und die Radioaktive Belastung, ist nur in der direkten Umgebung von Fukushima deutlich erhöht. Zwar liegt das Atomkraftwerk Fukushima an der Ostküste Japans und die Strahlung gelangte hauptsächlich in den Pazifischen Ozean, aber nach intensiven Messungen, hat man festgestellt, dass in bereits 30 bis 40 Kilometern Entfernung, auf dem offenen Meer, die Radioaktivität kaum noch nachweisbar ist.

Jährlich, werden 900.000 t Fisch nach Deutschland importiert. Davon sind ca. 60 Tonnen aus Japan und seit der Fukushima Katastrophe, haben sich die Kontrollen verschärft.

Bevor Fische und andere Waren ausgeliefert werden dürfen, müssen sie bereits in Japan auf Radionuklide untersucht werden. Diese Ergebnisse werden der Ware beigelegt, sodass am Zielort sofort Messergebnisse vorliegen.

Des Weiteren, kommen derartige Lieferungen über den Frankfurter Flughafen aus Japan, wo sie durch den Deutschen Zoll erneut geprüft werden.

Thunfisch, bezieht Deutschland aus dem Mittelmeer.

Japan exportiert kein Thunfisch, denn dieser wird überwiegend für den eigenen Verzehr gefangen.

4. Gibt es Meeresströmungen, die von Japan nach Europa gelangen?

Ja, es gibt Meeresströmungen, die von Japan nach Europa fließen, aber nicht auf dem direkten Weg, sondern verteilen sich und fließen als erstes nach Süden an der Japanischen Ostküste entlang. Durch diesen weiten Weg und die lange Zeit, sind die Radionuklide so stark verdünnt und zerfallen, dass die Menge unter der Messbaren Dosis liegt.

5. Es ist richtig, dass die Zubereitungsart nicht an der Kontamination ändert?

Ja, die Zubereitung ändert nichts an der Kontamination.

6. Kommt es seit der Katastrophe von Fukushima zu verstärkten Kontrollen bzw. Untersuchungen?

Ja, die Kontrollen, haben seit dieser Katastrophe von Fukushima zugenommen und es wurden insgesamt deutlich mehr Proben gezogen und untersucht. Diese Aufgabe

übernimmt hauptsächlich der Deutsche Zoll, der Waren, die am Frankfurter Flughafen ankommen erneut untersucht.

7. Wie untersuchen Sie Lebensmittel auf Radioaktivität?

Das Institut vTI besitzt zwei Forschungsschiffe, welche zwei Mal im Jahr an die gleichen Stellen fahren und Proben ziehen. D.h. Fische, verschiedener Arten werden gefangen und anschließend analysiert. Dazu werden die Fische entweder im ganzen verarbeitet, wenn es sich um kleine Fische handelt, oder nur Filets, je nach Fischart. Etwa 5 Kg Fisch bildet eine Probe. Anschließend, erfolgt die Veraschung der Fische bei 420°C, weil einige Nuklide bereits bei 500°C flüchtig sind. Von dieser Asche werden 50 Gramm eingewogen und in den entsprechenden Detektor verbracht. Es hängt davon ab, ob man α - oder γ -Strahler messen möchte.

8. Gibt es Messwerte aus der Zeit, als die Atomtests stattfanden?

Kann ich nicht genau sagen, es könnte gut sein.

9. Wie lange dauert eine Untersuchung von Lebensmittel auf Radioaktivität?

Eine Untersuchung, könnte etwa halben Tag dauern, wenn man es mit sehr hohen Konzentrationen zu tun hat und nur grob wissen möchte, in welchem Rahmen sich die Belastung bewegt. Doch je genauer mal die Analyse auswerten möchte, desto länger dauert die Untersuchung. Im vTI dauert es bei γ -Strahlern einen Tag und bei α -Strahlern, mit einer geringen Menge Radionuklide, 7 bis 21 Tage. In dieser Zeit laufen die Geräte und der Computer zeichnet die Piekts auf. Ein Piek, steht für ein Radionuklid.

10. Wie unterscheidet sich natürliche und künstliche Radioaktivität in Lebensmittel, bezüglich der Konzentration und Auswirkung?

Es gibt keinen Unterschied zwischen natürlicher und künstlicher Radioaktivität. Beide besitzen sowohl Radionuklide, die α -, β -, wie auch γ -Strahlen aussenden. Eines der bedeutendsten natürlichen Radionuklide ist das Radon, weil es ein Gas ist

und während des Zerfalls von Uran natürlich im Boden entsteht. Somit kann es durch die Atmung aufgenommen werden.

Dieser radioaktive Stoff macht im menschlichen Körper etwa 0,5 Bq aus. Es ist ein α -Strahler und somit schädlicher als andere Radionuklide.

11. Kann man die Katastrophen von Tschernobyl mit Fukushima vergleichen?

Nein, die beiden Katastrophen kann man nicht vergleichen. Bei Tschernobyl, sind größere Mengen Radioaktivität frei geworden, die sich über Land verteilt haben. In Fukushima sind zwar auch große Mengen Radioaktivität frei geworden, aber nicht in dem Ausmaß wie in Tschernobyl und außerdem ist die Strahlung überwiegend nach Osten, in Richtung des Pazifischen Ozeans gelangt. D.h. für Menschen war Fukushima besser. Fische, die sich in unmittelbarer Umgebung des Atomkraftwerks Fukushima befunden haben, waren stark Radioaktiv verstrahlt.

12. Ab wann interessiert sich die Öffentlichkeit für das Thema Radioaktivität in Lebensmittel?

Anfang der Atomtests in den 50er und 60er Jahren, begann das Interesse für die Öffentlichkeit. Durch Tschernobyl stieg das Interesse Sprunghaft an.

Interview persönlich geführt am 19.07.2011 mit Herrn Dr. Ulrich Rieth (vTI) von 10:00 bis 12:00 Uhr

Eidesstattliche Erklärung:

Ich versichere durch meine eigene Unterschrift, dass ich die vorliegende Arbeit selbstständig und ohne fremde Hilfe angefertigt habe.

Alle Stellen, die wörtlich, oder dem Sinn nach auf Publikationen oder anderer Quellen anderer Autoren beruhen, sind als solches kenntlich gemacht. Des Weiteren versichere ich, dass ich keine andere, als die angegebene Literatur verwendet habe. Diese Versicherung bezieht sich gleichermaßen auf alle Zeichnungen, Bilder, Tabellen und dergleichen.

Diese Arbeit wurde bisher auch noch keiner anderen Prüfungsbehörde vorgelegt und auch nicht veröffentlicht.

Hamburg, den

Unterschrift