

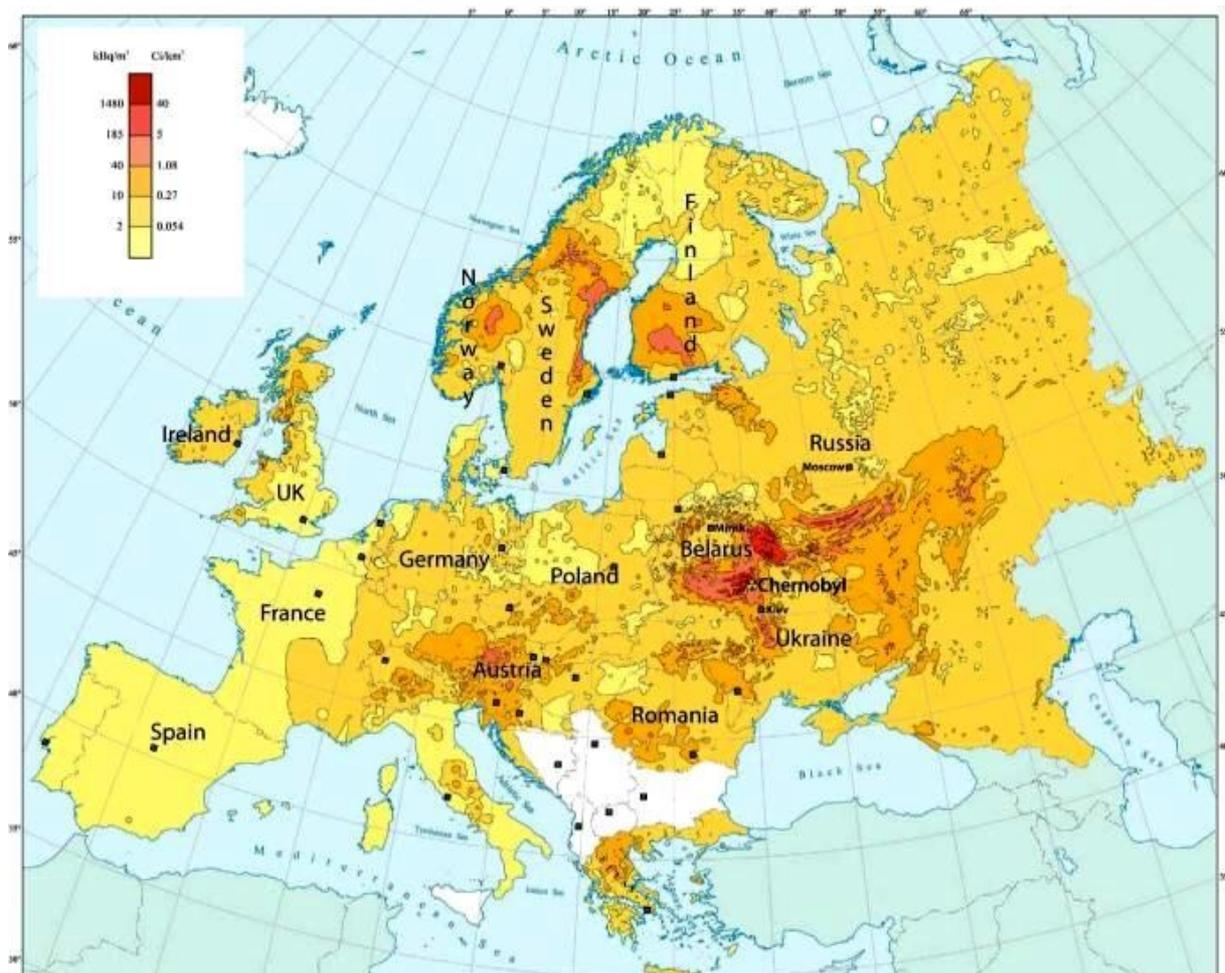
Die Reaktorunfälle von Fukushima und Tschernobyl - Ein Vergleich der Bodenbelastung durch den radioaktiven Fallout

Dr. Frank Brose, Berlin.

1986 ereignete sich das Reaktorunglück von Tschernobyl, 2011 das von Fukushima.

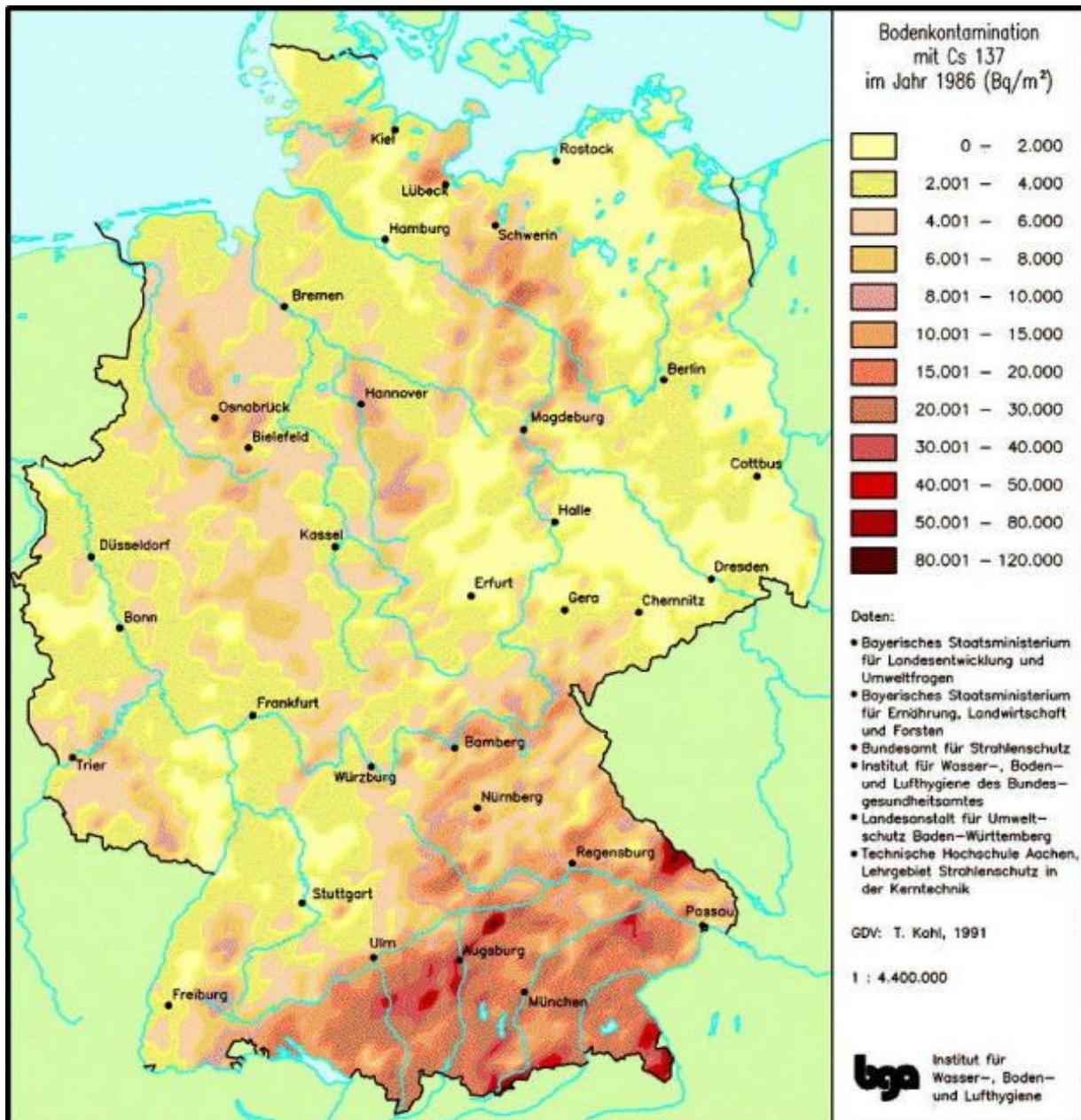
Der Unfall in Tschernobyl ging auf menschliches Versagen zurück, der Unfall von Fukushima wurde durch ein starkes Erdbeben und dem nachfolgenden Tsunami ausgelöst.

In Tschernobyl explodierte ein graphitmodulierter Reaktor und das radioaktive Material wurde dabei rasch bis in die Stratosphäre transportiert. In der Folge wurden durch die radioaktive Wolke große Teile Europas verschmutzt. In der Umgebung von Tschernobyl wurde dabei Cäsiumkonzentrationen von über 1.480 kBq/m² (Kilo-Becquerel pro Quadratmeter) gemessen (Rot markierte Bereiche in Abb. 1).



1. Europa : Menge des radioaktiven Fallouts von Tschernobyl (Cäsium134 + 137 in kBq/m² sowie Curie/km²)

Im mehr als 1250 km entfernten Österreich wurden an verschiedenen Orten Cäsium137-Konzentrationen von bis zu 120 kBq/m² festgestellt.



2. Deutschland : Menge des radioaktiven Fallouts von Tschernobyl (Cäsium137 in Bq/m²)

Die stärksten Bodenverunreinigungen in Deutschland wurden in Süddeutschland gemessen (siehe Abb. 2).

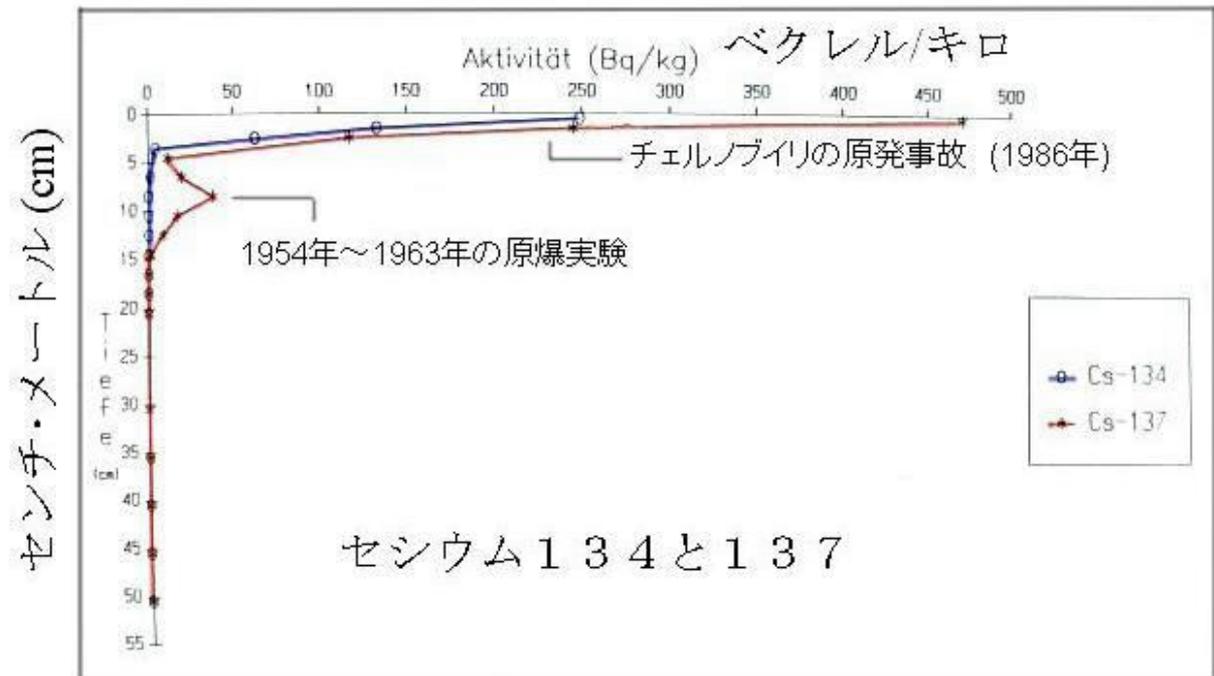
In den Böden Norddeutschlands wurden oberflächennah bis zu 40 kBq/m², in den Böden Süddeutschlands aber bis zu 100 kBq/m² Cäsium137 festgestellt.

Zur Zeit des Tschernobyl-Unfalls arbeitete ich an der Freien Universität Berlin im Institut für Angewandte Geologie und untersuchte ab 1987 die Belastung des Bodens in Berlin durch den radioaktiven Fallout.

Im Berliner Stadtgebiet wurden an 50 Stellen Bodenprofile in einer Tiefe von 0 bis 50 cm beprobt und unter anderem auf die Cäsium-Isotope 134 und 137 untersucht.

Im gesamten Stadtgebiet wurden in einer Tiefe von 0 – 5 cm Konzentrationen von mindestens 50 Bq/kg Cäsium festgestellt, die auf den Unfall in Tschernobyl zurückgeführt werden konnten.

Die höchsten gemessenen Cs137-Konzentrationen betragen 500 Bq/kg, die höchsten Cs134-Konzentrationen 250 Bq/kg. Das Isotopen-Verhältnis von 2:1 entsprach dem Verhältnis der in Tschernobyl freigesetzten Isotope.



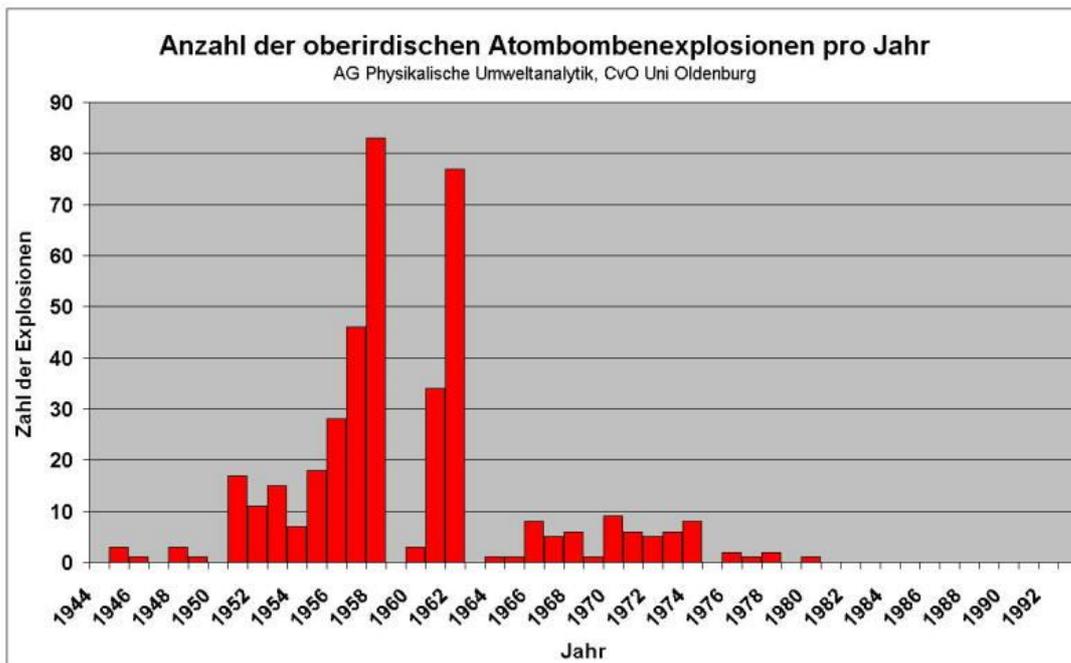
3. Berlin: Bodenkontamination mit Cäsium 134 und 137 durch den Tschernobyl-Fallout

aus: 「Brühl&Brose (1990): Bodenbelastung in Berlin – Verteilung von Radionukliden in Berlin(West); in: Freie Universität Berlin: Wir sind noch mal davongekommen? Tschernobyl – 4 Jahre danach.」

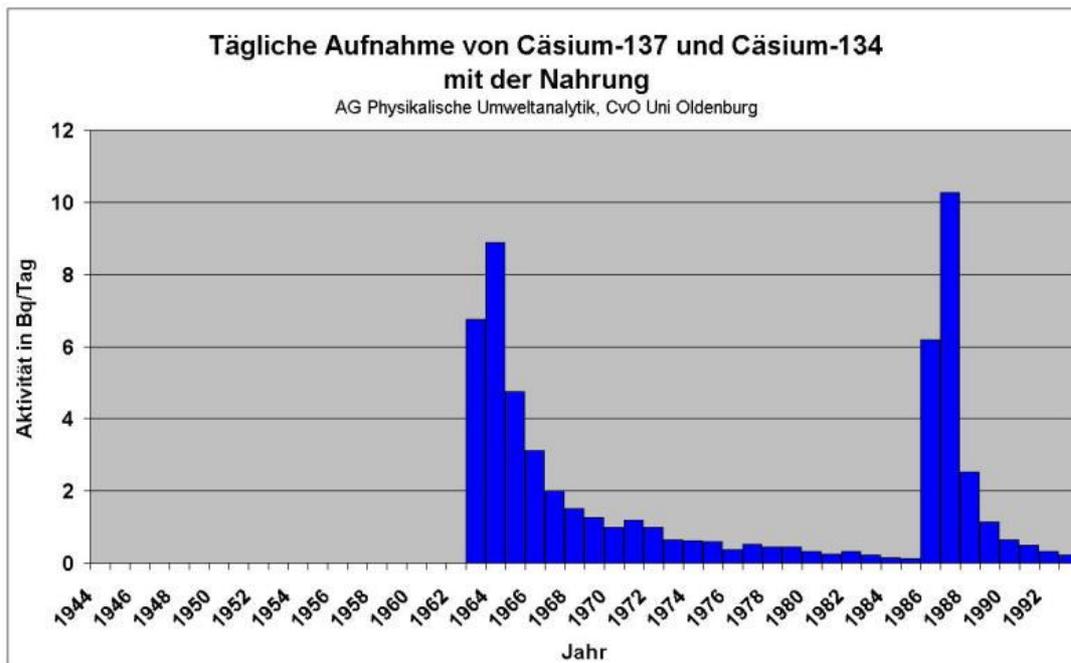
In einer Tiefe von 10 bis 15 cm fand sich jeweils ein zweites Cäsium137-Maximum. Dieses Cäsium 137 stammt aus dem Fallout der in den 50iger und 60iger Jahren durchgeführten zahlreichen oberirdischen Atombombentests. Cäsium134 fand sich aufgrund der kurzen Halbwertszeit von 2 Jahren in dieser Tiefe nicht mehr, da es sich nach mehr als 10 Halbwertszeiten seit der letzten Zeit der Atombomben-Versuche schon vollständig zerfallen war.

Abb. 4 zeigt die Anzahl der oberirdischen Atombombentests. Durch den radioaktiven Fallout der Atomtests wurden die Böden weltweit annähernd gleichmäßig verschmutzt.

Abb. 5 zeigt die tägliche Aufnahme von Cäsium 134 und 137 mit der Nahrung, erst durch die oberirdischen Atombombentests, dann durch den Tschernobyl-Unfall.



4. Anzahl der oberirdischen Atombombentests (Uni Oldenburg)



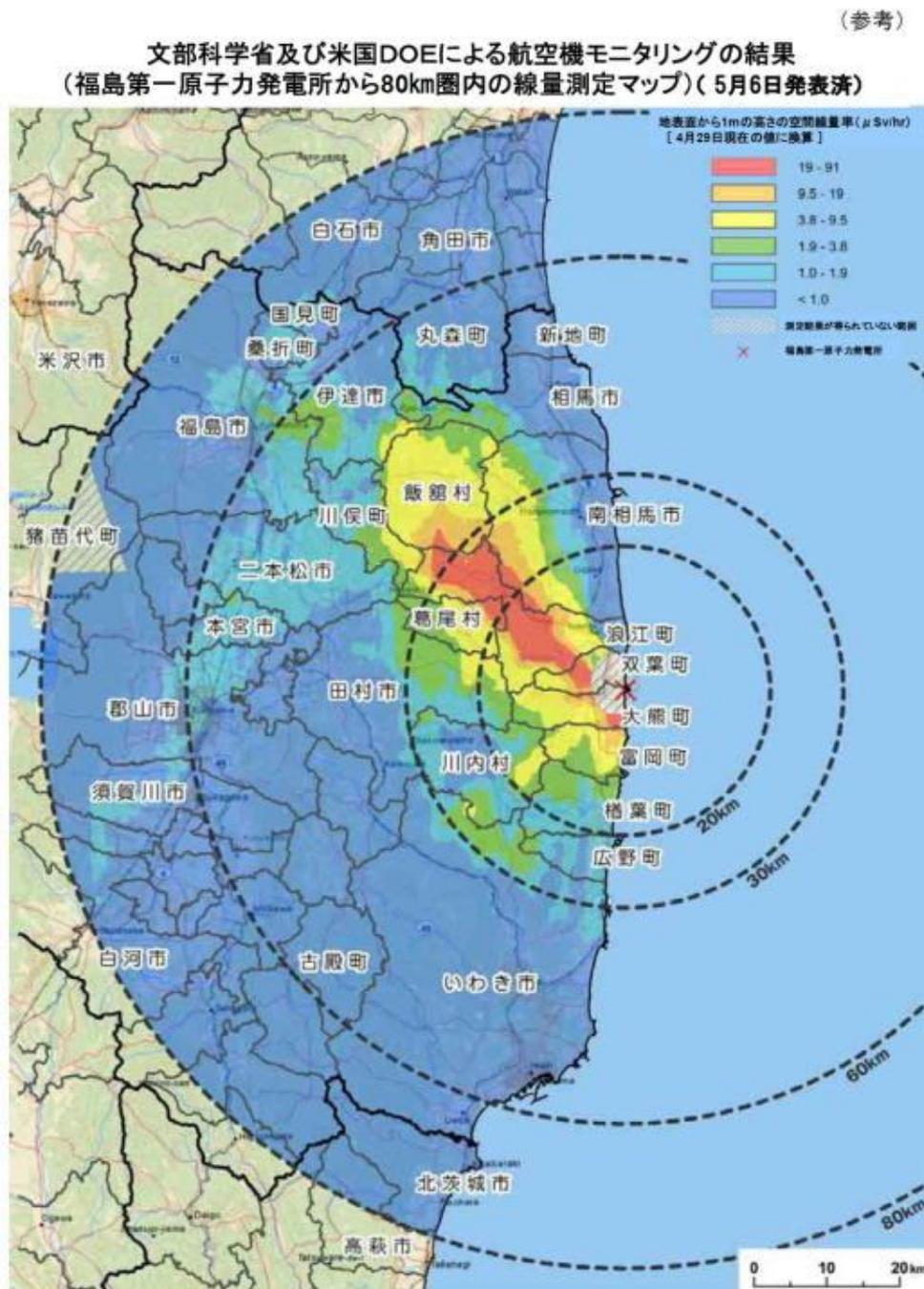
5. Tägliche Aufnahme von Cäsium-134 und 137 mit der Nahrung (Uni Oldenburg)

Jetzt, 26 Jahre später, hat sich die Strahlenbelastung in Europa durch Cäsium137 aus dem Tschernobyl-Unfall knapp halbiert, während kein Cäsium134 mehr zu messen ist (Die Halbwertszeit von Cäsium137 beträgt etwa 30 Jahre, die von Cäsium-134 nur 2 Jahre).

Die Umstände des Reaktorunfalls in Fukushima waren vollkommen anders als in Tschernobyl, jedoch wurden auch hier aus dem stark beschädigten Kernkraftwerk große Mengen von Radioaktivität in die Umwelt abgegeben und mit Wind und Regen verteilt.

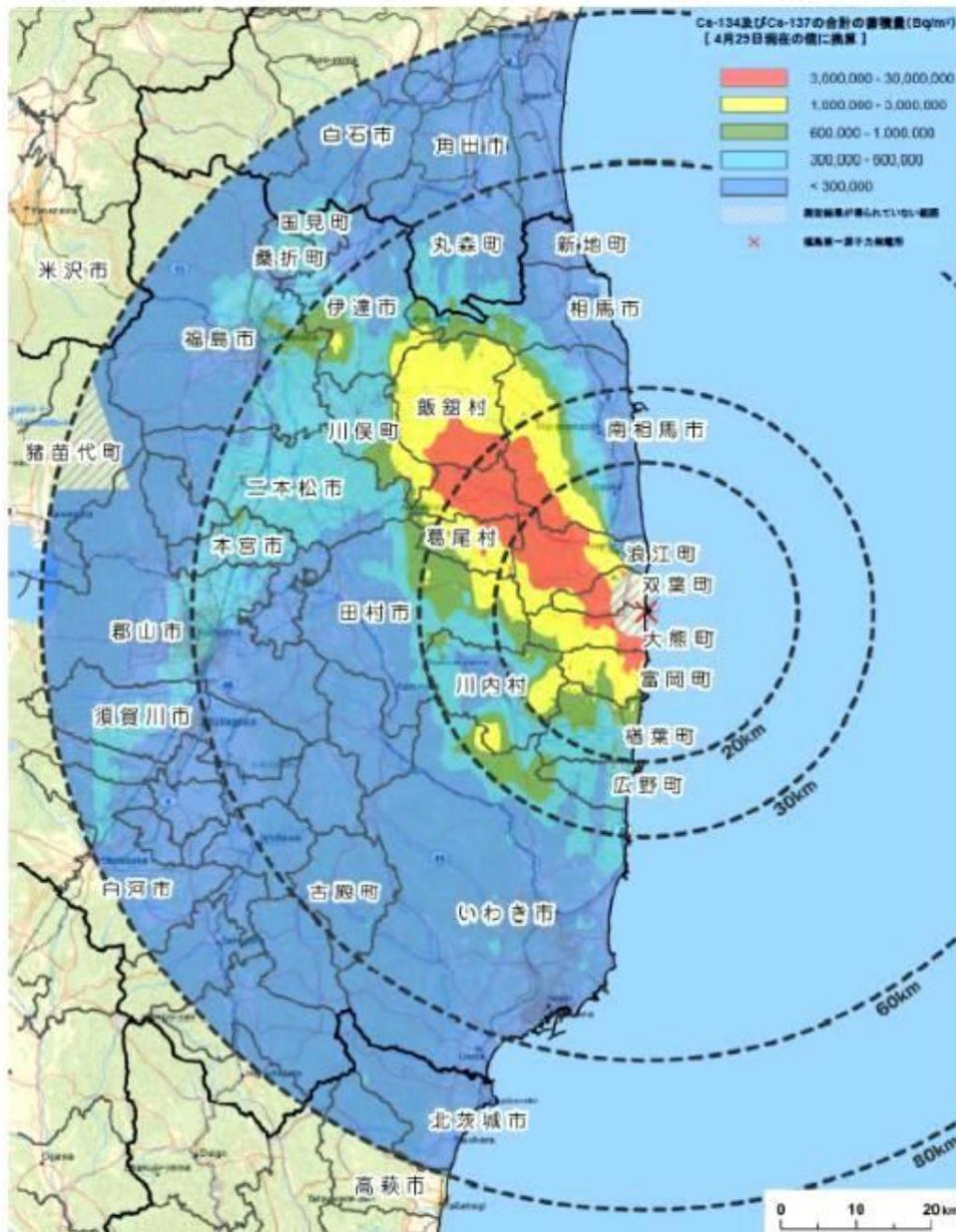
Im meiste Zeit blies der Wind auf das offene Meer hinaus, an einigen Tagen jedoch wurde radioaktives Material zu bis zu 250 km vom havarierten Kraftwerk entfernten Orten in Japan getragen und verschmutzte dort die Böden.

Die Abb 6 und 7 zeigen Karten der radioaktiven Verschmutzung der Böden im Umkreis von 80 km um das Kernkraftwerk Fukushima die das United States Department of Energy (DOE) am 29.04.2011 gemessen hat.



6 . Im Umkreis von 80 km um das Kraftwerk Fukushima-Daiichi gemessene Strahlen-Äquivalentdosis in $\mu\text{S}/\text{h}$ (Mikro-Sievert pro Stunde).

文部科学省及び米国DOEによる航空機モニタリングの結果
 (福島第一原子力発電所から80km圏内のセシウム134, 137の地表面への蓄積量の合計)



7. Belastung der Erdoberfläche mit Cäsium 134 und 137 in Bq/m² im Umkreis von 80 km um das Kraftwerk Fukushima-Daiichi.

In den beiden Abbildungen sind die Ergebnisse eines Screenings aus der Luft mittels Hubschraubern und Flugzeugen in Form von Karten der radioaktiven Verschmutzung der Erdoberfläche im Umkreis von 80 km um das Kraftwerk Fukushima-Daiichi dargestellt. Abb. 6 zeigt gemessene Strahlen-Äquivalentdosis in $\mu\text{S/h}$ (Mikro-Sievert pro Stunde), Abb. 7 die Belastung der Erdoberfläche mit Cäsium 134 und 137 in Bq/m².

Betrachtet man die Abbildungen, sieht man dass die Verteilung der radioaktiven Belastung sehr ungleichmäßig ist. Die höchsten Werte wurden in einer Zone, die sich vom havarierten Kernkraftwerk bis hin zur hiervon 40 km entfernten Ortschaft Iitate erstreckt gemessen.

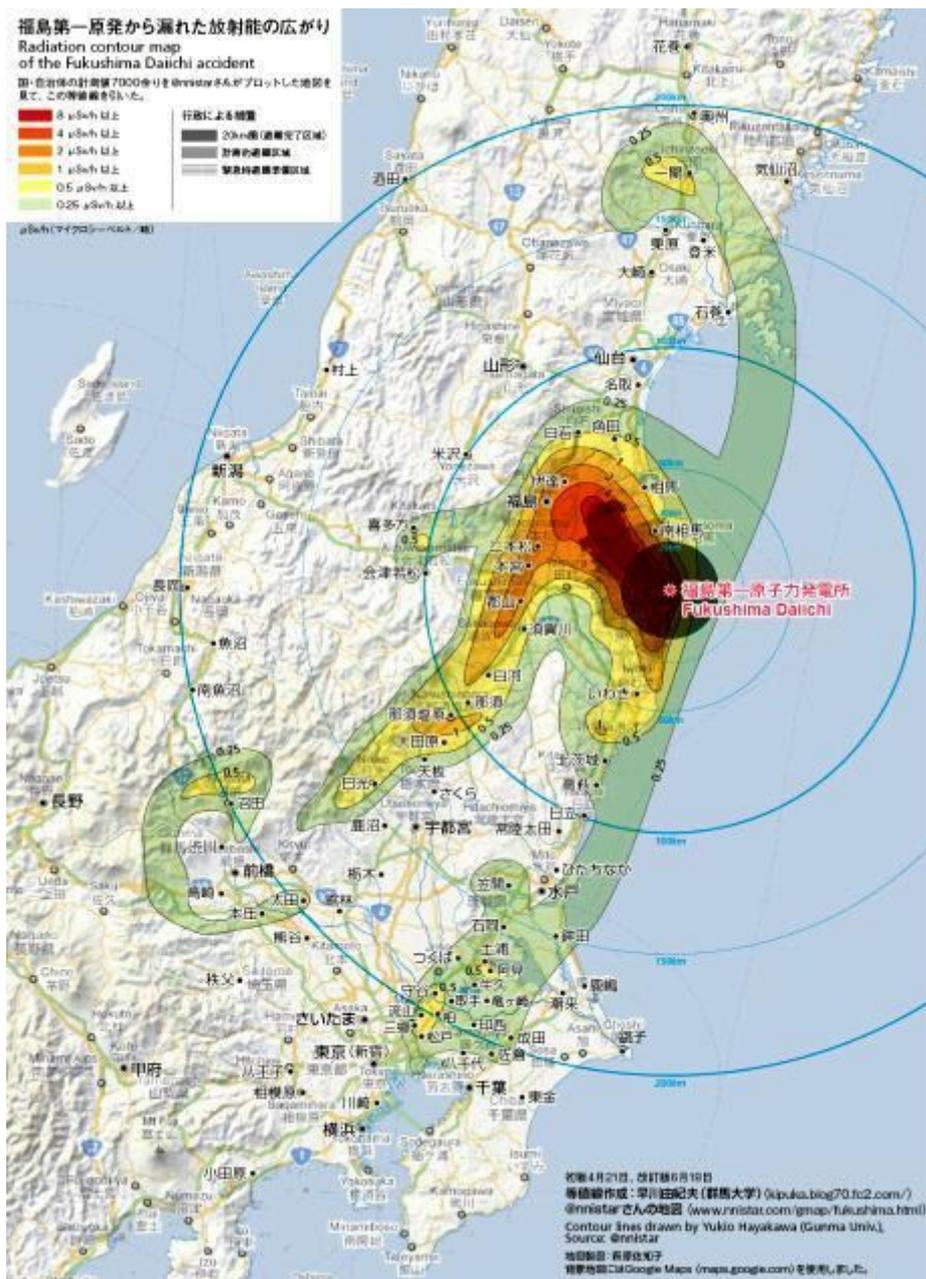
Auf einer Fläche von ca. 1800 km² wurden über 300 kBq/m² Cäsium 134 und 137 festgestellt.

Die schlimmste Verseuchung wurde mit bis zu 14.000 kBq/m² in Minami Machi (Futaba Gun) gemessen.

Ende März wurden alle Einwohner im Umkreis von 20 km um Fukushima Daiichi evakuiert. Wie aus den Karten ersichtlich war das unzureichend, denn auch in verschiedenen Städten und Dörfer in bis zu 40 km Entfernung erfordert die hohe Bodenkontamination eine zumindestens vorübergehende Evakuierung.

Vergleicht man die Bodenverschmutzung im Umkreis von Fukushima mit der von Tschernobyl, so sind die gemessenen Werte etwa gleich hoch.

Ursache der ungleichen Verteilung der radioaktiven Verseuchung sind die wechselnden Wetterbedingungen in der ersten Zeit nach dem Reaktorunfall.



8. Im Umkreis von 200 km um Fukushima-Daiichi in 0,5-1 m Höhe über dem Erdboden gemessene, mittlere Strahlen-Äquivalentdosis in μS/h (Messungen von staatlichen Behörden sowie von selbstverwalteten Gemeinden und Kommunen)



9. Im Umkreis von 200 km um Fukushima-Daiichi gemessene, mittlere Strahlen-Äquivalentdosis in $\mu\text{S}/\text{h}$, sowie die Hauptwindrichtungen in der Zeit vom 12. bis 21. März 2011

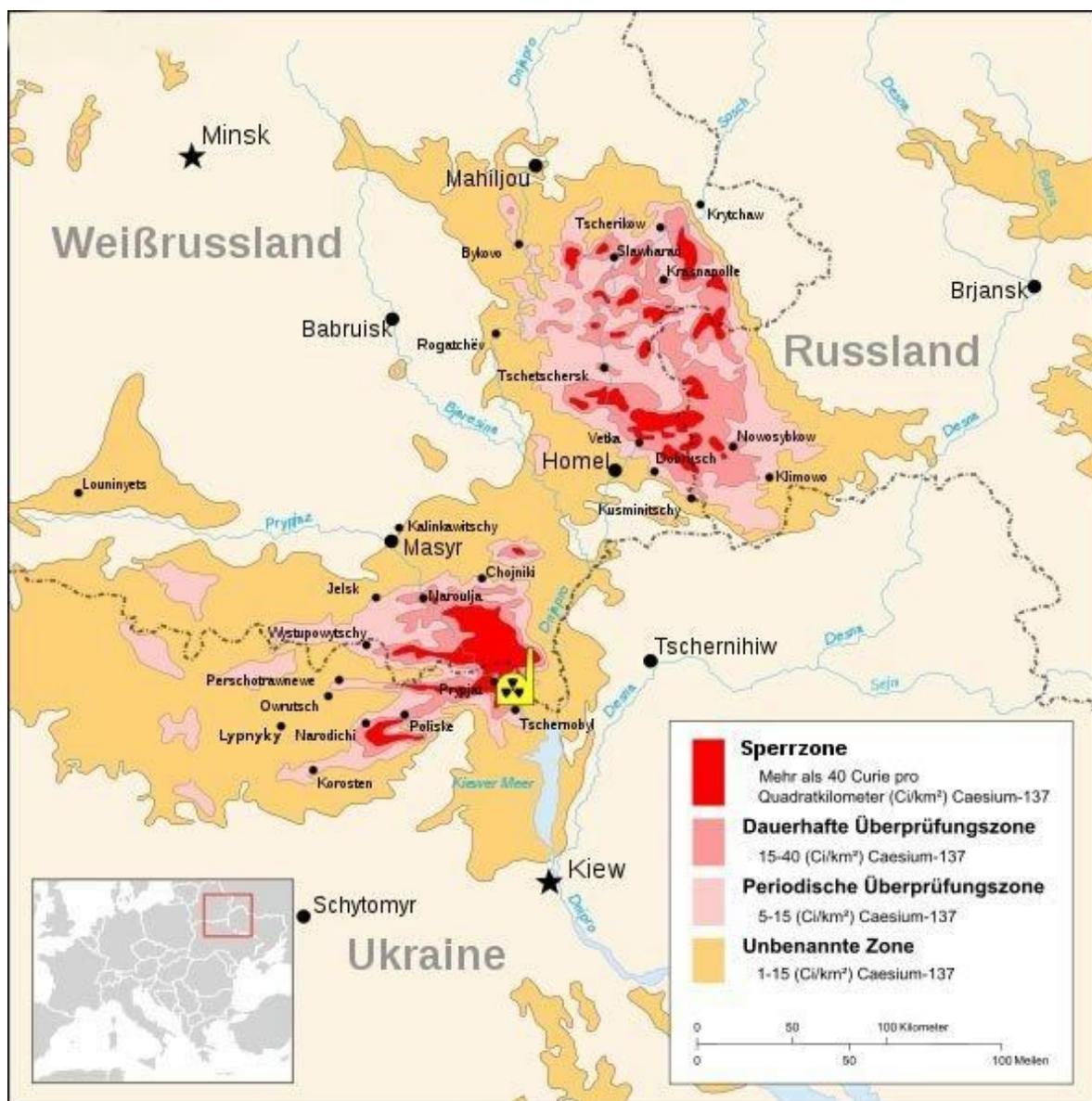
Abbildung 9 stellt die Ergebnisse von Prof. Yukio Hayakawa von der Gunma-Universität dar. Er verwendete die von den staatlichen Behörden sowie den selbstverwalteten Gemeinden und Kommunen veröffentlichten Daten. Prof. Yukio Hayakawa ist Vulkanologe. Der Ausbreitungsmechanismus von vulkanischen Aschewolken und Wolken mit radioaktiven Partikeln ist vergleichbar. In der Zeit vom 11. bis 21. März wurde das radioaktive Material bedingt durch wechselnde Windrichtungen auf vier unterschiedlichen Wegen verteilt.

Die stärkste Verschmutzung ereignete sich am Abend des 15. März bei Nordwestwind, entlang der in der Karte mit 3 bezeichneten Route in einem Gebiet das sich von Fukushima Daiichi bis zur Ortschaft Iidate erstreckt.

Zum Abschluß möchte ich die Situation in der Umgebung von Tschernobyl sowie in Deutschland nach dem Unfall von Tschernobyl mit der aktuellen Situation in Japan vergleichen.

Auswirkungen der Unfälle von Tschernobyl und von Fukushima auf ihre Umgebung

Die bisher höchsten gemessenen Cäsium-137-Konzentrationen in der Umgebung von Fukushima Daiichi betragen 14.000 kBq/m²; in der Umgebung von Tschernobyl (Ortschaft Nowojelna) wurden 1986 bis zu 14.700 kBq/m² gemessen.



10. In der Umgebung von Tschernobyl ergriffene Maßnahmen in Abhängigkeit vom Ausmaß der Bodenkontamination in Curie/km².

Insgesamt wurden in Weissrussland, der Ukraine und Russland Gebiete von einer Gesamtfläche von rund 2.500 km² vollständig evakuiert, da hier Werte von mehr als 40 Curie/km² = 1480 kBq/m² Cäsium137 gemessen wurden (rote Bereiche in Abb.10). Die Evakuierungsgebiete liegen in einer Entfernung von 0 bis 250 Km vom havarierten Kraftwerk entfernt.

Weitere ca. 10.000 km² wiesen Werte von mehr als 15 Curie/km² = 555 kBq/m² auf. Die dort lebende Bevölkerung unterliegt auch nach 25 Jahren noch einer ständigen intensiven medizinischen Kontrolle (hellroter Bereich in Abb. 10).

Schließlich wurden weitere ca. 15.000 km² mit mehr als 5 Curie/km² = 185 kBq/m² belastet. Die dort lebende Bevölkerung wird in regelmäßigen Abständen medizinisch untersucht (rosa Bereich in Abb. 10).

In Japan wurden beim Screening des United States Department of Energy auf einer Fläche von ca. 1000 km² Belastungen von mehr als 600 kBq Cäsium137/ m² gemessen. Davon auf einer Fläche von ca. 800 km² mehr als 1000, und auf einer Fläche von ca. 300 km² mehr als 3000 kBq Cäsium-137/ m².

Die stark belastete Fläche ist damit deutlich kleiner als in Weissrussland nach dem Tschernobyl-Unfall, die gemessenen Maximalwerte aber sind direkt vergleichbar und erforderten in den am stärksten betroffenen Gebieten Evakuierungsmaßnahmen.

Vergleich der Situation in Deutschland nach dem Tschernobyl-Unfall mit der jetzigen Situation in Japan

Betrachtet man die Situation in Deutschland nach dem Unfall von Tschernobyl, sind dort mit maximal 100 kBq/m² deutlich geringere Werte gemessen worden. Ursache hierfür ist die mit ca. 1250 km wesentlich größere Entfernung vom Unfallort.

Aufgrund der unterschiedlichen Verteilung der freigesetzten radioaktiven Stoffe ist in Japan nicht mit einer Tschernobyl-vergleichbaren Kontamination weiter entfernter Gebiete zu rechnen.

(Während des Tschernobyl –Unfalls kam es explosionsbedingt zur Ausbreitung des radioaktiven Materials bis in die Stratosphäre(> 15 bis 50 km über der Erdoberfläche); das aus dem havarierten Kraftwerk Fukushima Daiichi ausgetretene radioaktive Material breitete sich dagegen überwiegend in geringerer Höhe aus, so daß schon in der oberen Troposphäre (> 10 km Höhe) kaum noch Belastungen nachgewiesen werden konnten).

Obwohl die Auswirkungen von Tschernobyl in Deutschland geringer waren als die jetzige Belastung in Teilen von Japan, hat sich das Unglück von Tschernobyl tief in die Erinnerung der Deutschen eingepreßt, so daß der Deutsche Bundestag im Angesicht des Unglücks von Fukushima mit Mehrheit den Ausstieg aus der Atomenergienutzung beschlossen hat.

Ausschlaggebend war die Erkenntnis, dass sich auch in Ländern mit hohem technischen Standard Reaktorkatastrophen ereignen können. Im Falle Weissrussland war man noch von menschlichem Versagen und fehlenden Sicherheitsstandards ausgegangen.

Anmerkung 1

Anmerkungen zur Beurteilung der Situation auf der Grundlage von Dosisgrenzwerten

Um das Ausmaß radioaktiver Verschmutzung erfassen und beurteilen zu können, werden Dosisgrenzwerte, zum Beispiel auf der Grundlage der Äquivalentdosis-Leistung in Sievert pro Zeiteinheit herangezogen. Von Land zu Land gelten dabei zur Zeit leider unterschiedliche Grenzwerte.

Zum Beispiel:

- * Geltende Grenzwerte in der Bundesrepublik Deutschland (Bundesamt für Strahlenschutz) 。
 - Seit 2001 gilt für die Bevölkerung als Dosisgrenzwert eine Belastung von 1 mS/Jahr und für strahlenexponierte Arbeitskräfte von 20 mS/Jahr (Bis 2001 betragen diese Werte 1,5 bzw. 50 mS/Jahr).
 - In Gebieten mit Dosisleistungen von 100 und mehr mS/Jahr ist als Maßnahme die Evakuierung vorgesehen.
- * In den USA gelten als erlaubte maximale Gesamtdosis für Arbeiter auf 12,5 mS in 3 Monaten = maximal 50 mS/Jahr festgelegt 「Occupational Safety and Health Administration (OSHA) 」 .
- * In Japan gilt nach den neuen Bestimmungen für Kinder eine maximal zulässige Dosisleistung von 3,8 μ S/h. Dies entspricht 20 mS/Jahr. Vor Fukushima betrug der Grenzwert für die Erwachsene wie Kinder 1 mS/Jahr.

Um die Angaben in der Abbildung 6 anhand der obengenannten Dosisgrenzwerte beurteilen zu können, müssen alle Werte von μ S/h (Mikrosievert pro Stunde) in mS/a (Millisievert pro Jahr) umgerechnet werden:

Roter Bereich	= 19 μ S/h und mehr	= 166 mS/a und mehr
Orangener Bereich	= 9,5 μ S/h und mehr	= 83 mS/a und mehr
Gelber Bereich	= 3,8 μ S/h und mehr	= 33 mS/a und mehr
Grüner Bereich	= 1,9 μ S/h und mehr	= 16,6 mS/a und mehr
Hellblauer Bereich	= 1,0 μ S/h und mehr	= 8,8 mS/a und mehr
Dunkelblauer Bereich	= weniger als 1,0 μ S/h	= weniger als 8,8 mS/a

Nach der in Deutschland gelten Strahlenschutzverordnung müsste der rote Bereich evakuiert werden. Vor solchen einschneidenden Maßnahmen sind in jedem Fall sorgfältige Kontroll- Und Nachmessungen nötig.

In der orangenen und gelben Zone werden die in Deutschland zulässigen Grenzwerte für strahlenexponierte Arbeitskräfte deutlich, die für die normale Bevölkerung sehr stark überschritten. Der grüne Bereich entspricht in etwa der erlaubten Belastung für strahlenexponierte Arbeitskräfte. Sogar im hellblauen und vermutlich in Teilen des dunkelblauen Bereichs wird der Grenzwert für die Bevölkerung überschritten.

Nach den neuen japanischen Kriterien wird in der roten, orangenen und gelben Zone bei ganzjährigem Aufenthalt die zulässige maximale Dosisleistung für Kinder überschritten.

Anmerkung 2

Die vorliegenden Ausführungen sind in der vorliegenden Form nicht zur Veröffentlichung vorgesehen, sondern dienen in erster Linie der Information einer Gruppe von freiwilligen Helfern, die im September dieses Jahres im Katastrophengebiet einen Arbeitseinsatz durchführen wollen.