

**20 Jahre wissenschaftliche Erkenntnisse
nach dem
Reaktorunfall von Tschernobyl**

**Messung der Umweltradioaktivität:
Technik und Ergebnisse aus
Baden-Württemberg**

Dipl.-Phys. Alfred Neu

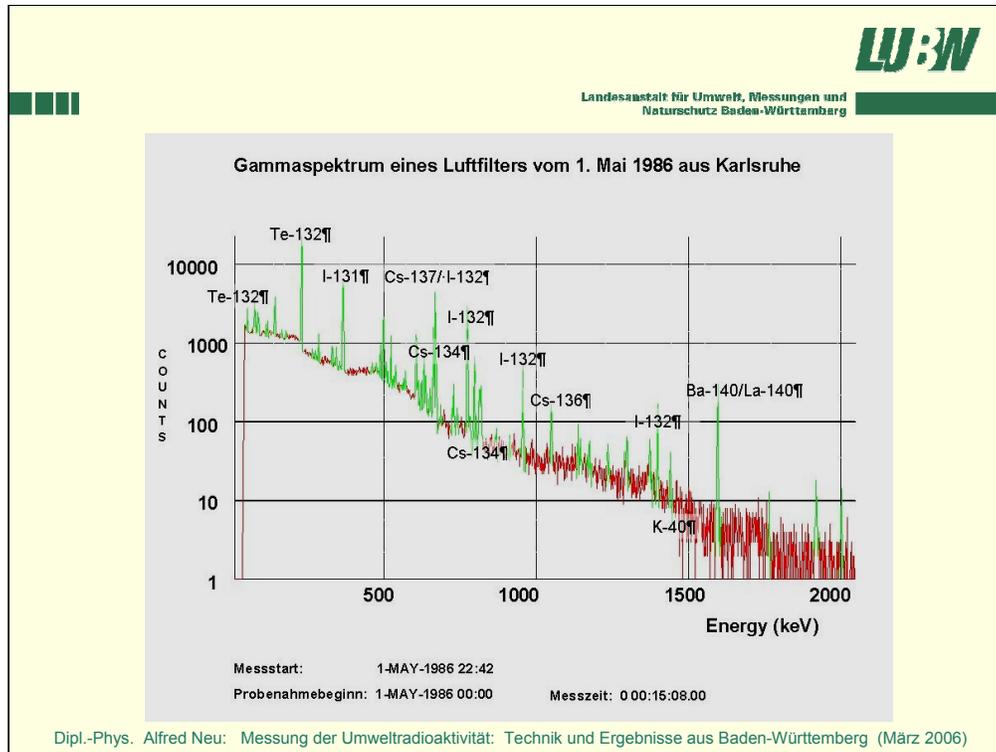
Dipl.-Phys. Alfred Neu: Messung der Umweltradioaktivität: Technik und Ergebnisse aus Baden-Württemberg (März 2006)

Zusammenfassung:

20 Jahre nach dem Reaktorunfall von Tschernobyl in der Ukraine gibt es eine Fülle von Radioaktivitätsmessergebnissen der verschiedensten Umweltmedien und viele radioökologischen Erkenntnisse über das Verhalten von kurzlebigen und langlebigen radioaktiven Spaltprodukten. Die zu Anfang über Luft und Niederschläge erfolgten Radioaktivitätseinträge zeigen sich langfristig auch in den Böden, Pflanzen, in Gewässersedimenten, in der menschlichen Nahrung und schließlich auch im menschlichen Körper.

Heute sind zur radiologischen Beurteilung der Unfallfolgen nur noch die längerlebigen Radionuklide von Bedeutung. Ihre spektrale Zusammensetzung ist in der Sperrzone von Tschernobyl eine andere als in Baden-Württemberg.

Die vorgenommenen Messungen der vergangenen beiden Jahrzehnte haben auch die Fortschritte in der Messwerterfassung, der Messwertverarbeitung und der Messwertdarstellung maßgeblich beeinflusst. Mobilität beim Einsatz von Messausrüstung und personalsparende Auswertverfahren kennzeichnen die jüngste Periode der Messgeräteentwicklung und der Bestückung der Radioaktivitätsmessnetze.

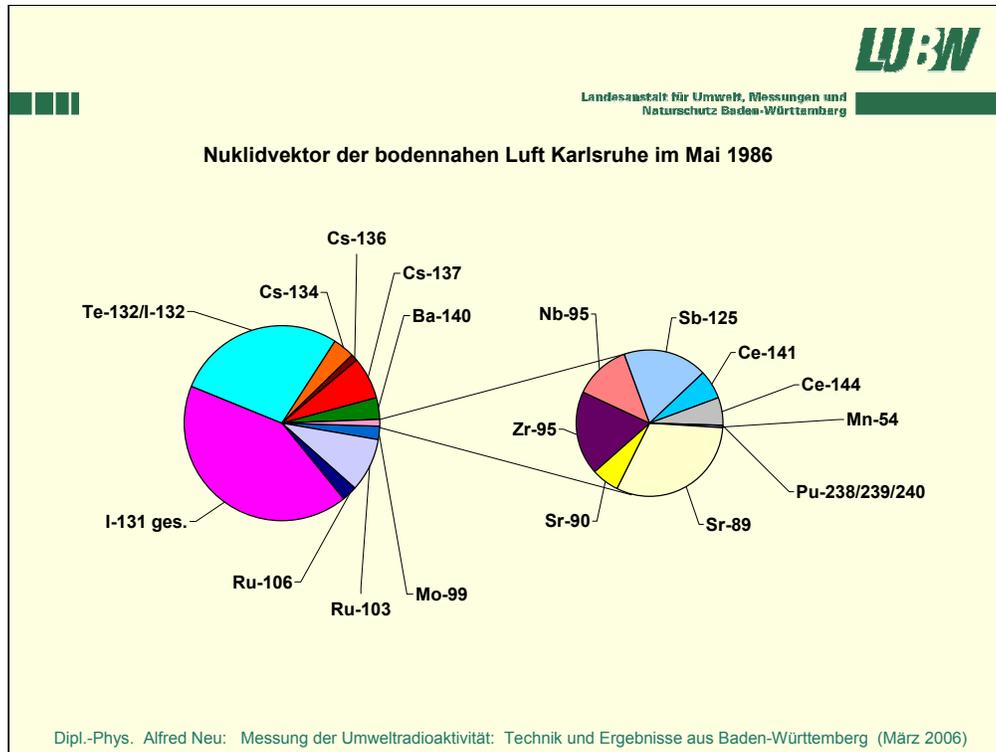


Am 30.4.1986 erreichten die ersten Vorboten kontaminierter Luftmassen aus Tschernobyl Baden-Württemberg. Diese enthielten überwiegend kurzlebige Radionuklide oder längerlebige, aus denen sich kurzlebige nachbildeten. Es dominierten radioaktive Isotope des Iods, des Tellurs sowie die Spaltprodukte der Lanthanidenfamilie, Barium- und Cäsiumisotope.

Radioiod trat sowohl in organisch gebundener Form als auch aerosolförmig auf, wobei sich innerhalb eines Monats die Gewichtung hin zum aerosolförmigen Anteil hin verschob.

Die spektralen Anteile der einzelnen Radionuklide (der sog. Nuklidvektor) war zwar für Gammastrahler relativ leicht und schnell zu bestimmen, jedoch war anfangs keineswegs klar, ob der Vektor sich nicht im Verlauf der Zeit ändert. Auch war der Anteil an alpha- und betastrahlenden Nukliden nur mit Verzögerung von Tagen bis zu zwei Wochen zu ermitteln.

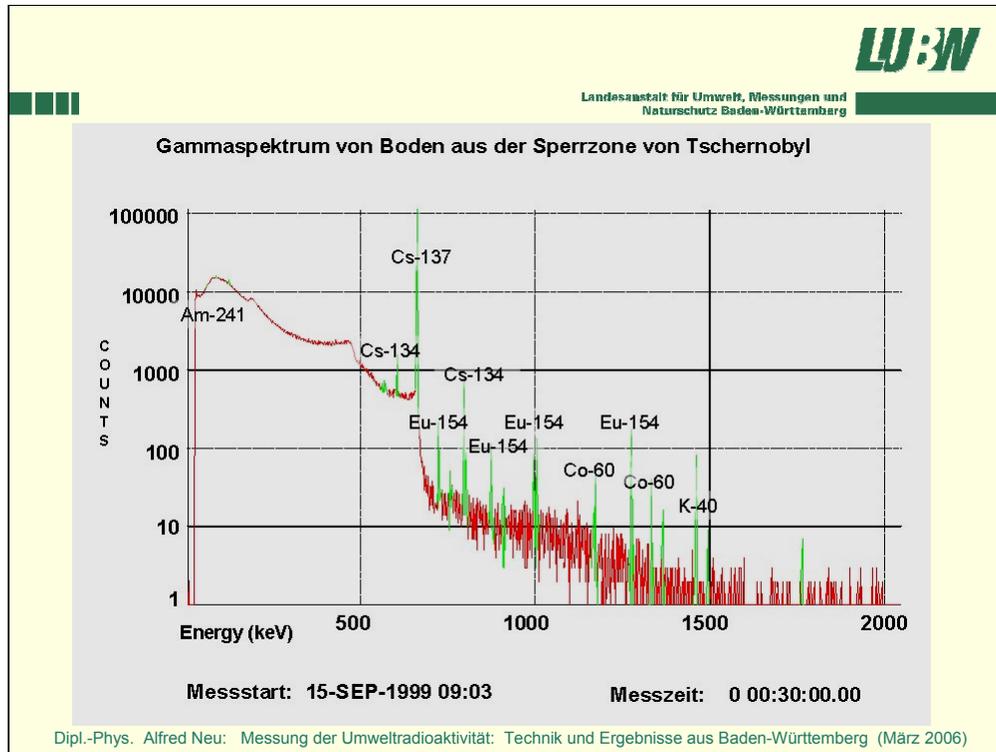
Die folgenden Folie zeigt die anfangs Mai 1986 an einem Luftfilter aus Karlsruhe ermittelte Nuklidzusammensetzung..



Die Luft, die tagelang durch den brennenden Reaktor am Unfallort mit radioaktiven Stoffen verunreinigt worden war, gelangte über verschiedene Trajektorien auf unterschiedlichsten Höhen (Isobaren) auch in den süddeutschen Bereich. Klimatische und meteorologische Bedingungen am 1. Mai 1986 waren, über das ganze Land BW betrachtet, nicht einheitlich. (Temperatur, Niederschlag, Windrichtung, Vertikalaustausch). Dies führte dazu, dass die bodennahe Luft unterschiedlich hoch mit radioaktiven Stoffen kontaminiert war, die Nuklidzusammensetzung der Nuklide war jedoch weitgehend einheitlich.

Es dominierten anfangs Mai 1986 die Nuklide I-131, Te-132/I-132, Ru-103 und Ru-106 und die Nuklide des Cs mit den Massenzahlen 134, 136 und 137. Diese Stoffe trugen zu über 95% zur Gesamtaktivität bei. Das radiologisch bedeutsame langlebige Nuklid Sr-90 waren dagegen aktivitätsmäßig lediglich mit etwa 1% und die Plutoniumisotope in noch geringerer Häufigkeit vertreten.

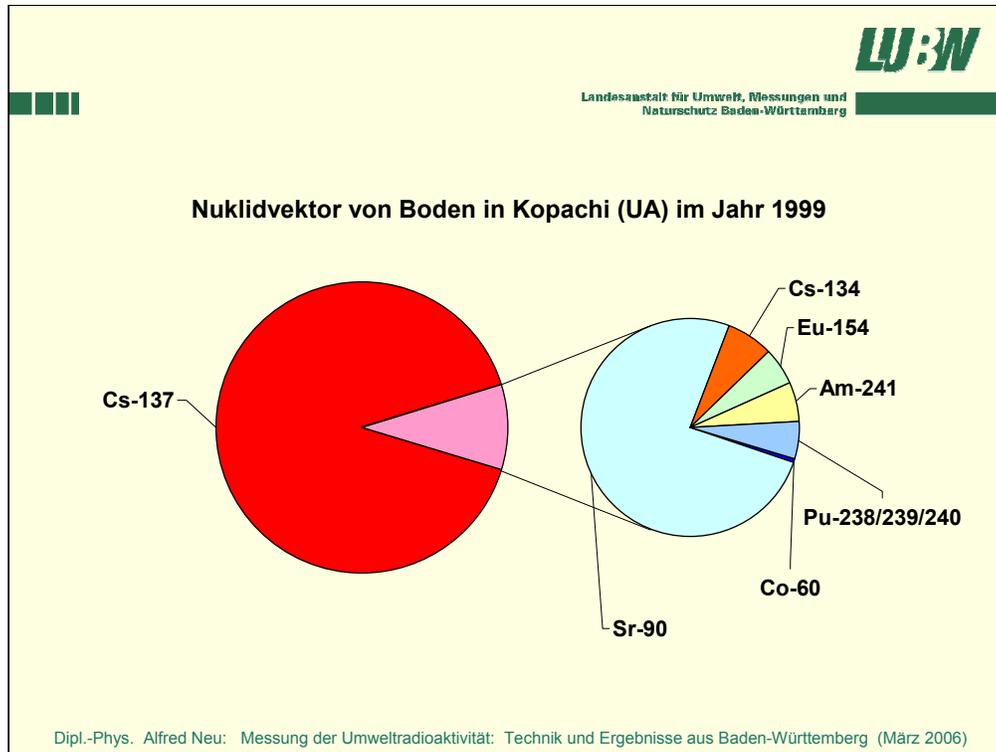
Anders verhielt es sich in der unmittelbaren Nähe des Unfallreaktors, wie eigene Messungen bei einem Ringvergleich im Jahr 1999 an Bodenproben erbrachten.



In diesem Schaubild – einem Gammaskpektrum - sind aufgrund der zwischenzeitlich verstrichenen 13 Jahre seit dem Reaktorunfall lediglich die noch vorhandenen langlebigen Gammastrahler zu erkennen. Indessen liegt hier ein anderer Nuklidvektor als in Baden-Württemberg vor.

Deutlich treten die Nuklide Co-60, ein Aktivierungsprodukt, und Eu-154, ein Spalt- und Aktivierungsprodukt zutage. Auch Am-241 ließ sich trotz des hohen Compton-Untergrunds von Cs-137 noch identifizieren.

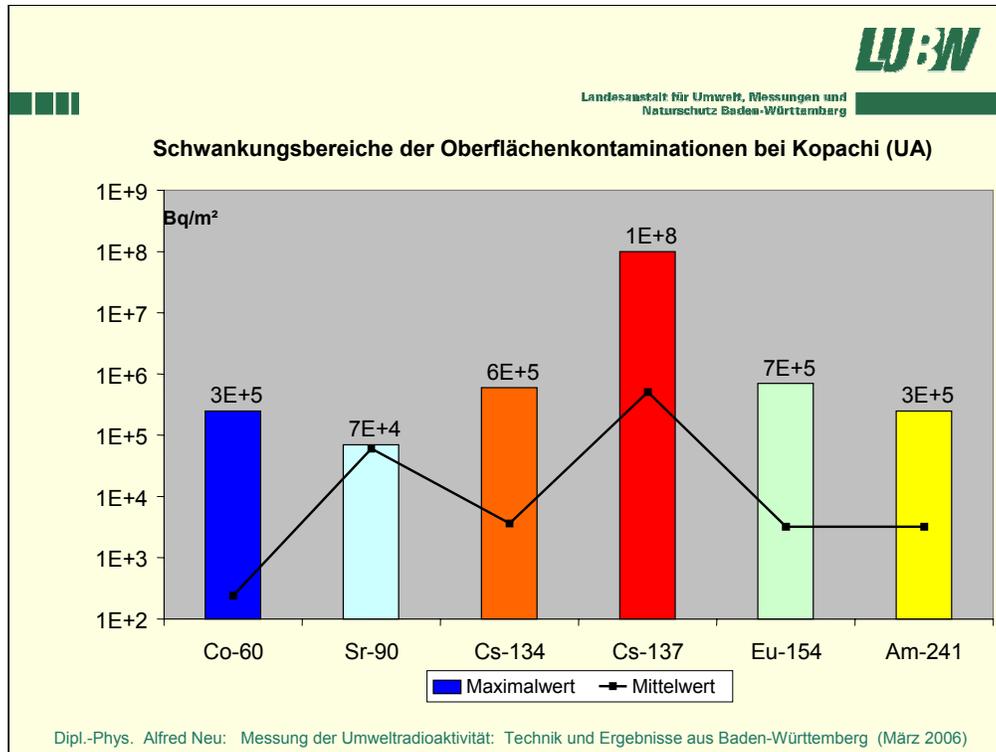
Der im Sand der Sperrzone vorherrschende Nuklidvektor langlebiger Radionuklide zeigt, dass auch die Anteile des bedeutsamen langlebigen Nuklids Sr-90 und die Plutoniumisotope deutlich höher liegen als in Baden-Württemberg.



Während in Baden-Württemberg im Jahr 1999 - und erst recht heute - die Cs-137-Aktivität praktisch den gesamten Nuklidvektor bildet und der Rest von 1% von Sr-90 gebildet wird, besteht in Tschernobyl noch gut 10% der Aktivität aus den langlebigen Nukliden Sr-90, Eu-154, Am-241 sowie den Pu-Isotopen mit den Massenzahlen 238, 239, 240 und 241. Letzteres Radionuklid führt zur Nachbildung von Am-241, das erst in einigen Jahren seine Maximalaktivität erreichen wird. Die Verhältnisse der Transuranenuklide verhielten sich zur Jahrtausendwende wie:

$$\text{Pu-238} : (\text{Pu-239} + \text{Pu-240}) : \text{Am-241} = 3 : 7 : 10$$

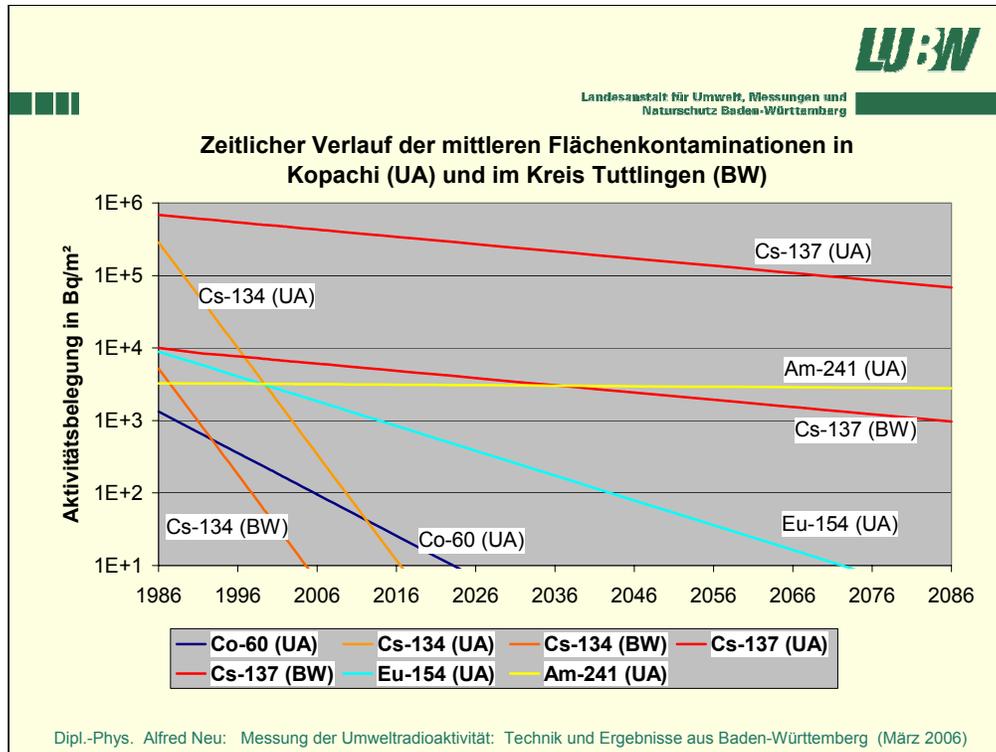
Sr-90 war gegenüber Am-241 aktivitätsmäßig 50fach stärker vertreten.



Entsprechend dem später noch zu zeigenden Kontaminationsmuster in der Sperrzone von Tschernobyl wichen auch die bei einem internationalen Messvergleich an verschiedenen Orten der Sperrzone tatsächlich vorgefundenen Werte stark voneinander ab. Änderungen um einen Faktor 1000 auf kürzester Distanz waren keine Seltenheit.

Die dargestellte Balkengrafik zeigt einzelnuklidbezogen die Extremwerte im Vergleich zu den Mittelwerten für ausgewählte Messgebiete bei Kopachi, (UA) das in der Sperrzone liegt.

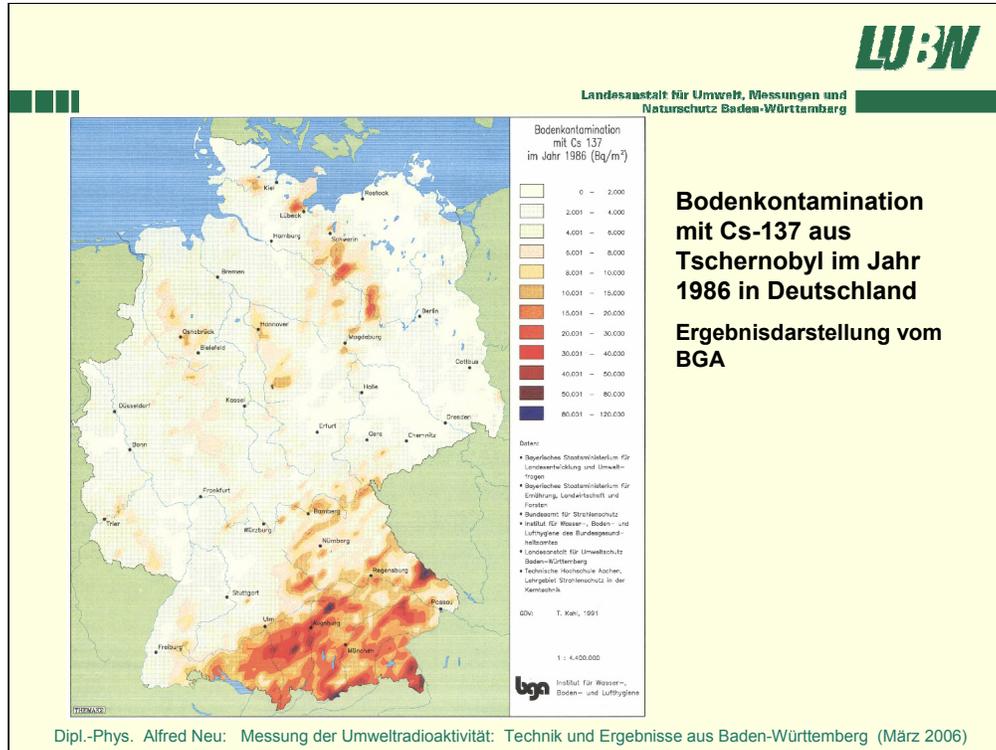
Ausgehend von den oben dargestellten Mittelwerten kann ein Vergleich gezogen werden mit der in Baden-Württemberg vorzufindenden Situation. Ausgewählt wird dazu der Landkreis Tuttlingen mit einem mittleren Wert für den gesamten Landkreis von 10.000 Bq/m² für abgelagertes Cs-137.



Das Schaubild zeigt für einige langlebigen Radionuklide die zeitliche Entwicklung ihrer Aktivität für die auf den Reaktorunfall folgenden 100 Jahre in halblogarithmischem Maßstab. Dabei wurde nur der physikalische Zerfall berücksichtigt.

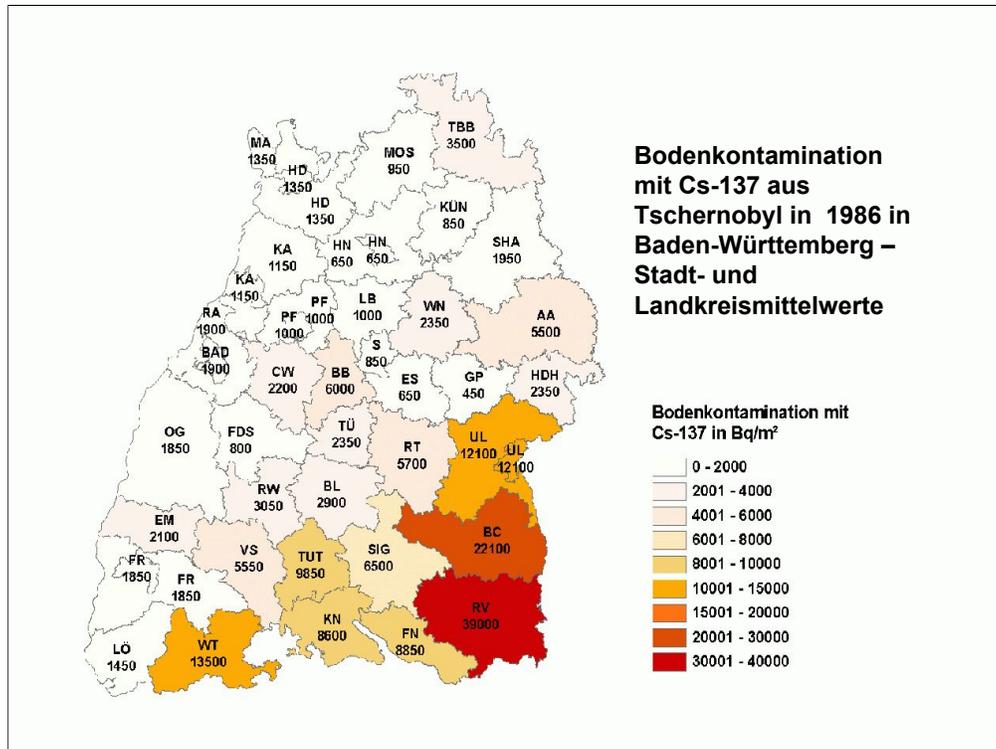
Es ist leicht ersichtlich, dass in Baden-Württemberg das mit 2,06 Jahren Halbwertszeit vorgefundene Cs-134 keine Rolle mehr spielt, wohingegen die in der ukrainischen Sperrzone nachgewiesenen Gammastrahler Co-60 und Eu-154 dort immer noch deutlich zur Strahlendosis beitragen. Langfristig werden das alpha-strahlende Am-241 (und die nicht dargestellten Pu-Isotope) die Situation dominieren, sowohl in der Höhe der Kontamination als auch in der effektiven Strahlendosis.

Die Kontaminationssituation, wie sie 1986 in Deutschland auftrat, ist in der nachfolgenden Grafik für das Nuklid Cs-137 dargestellt.



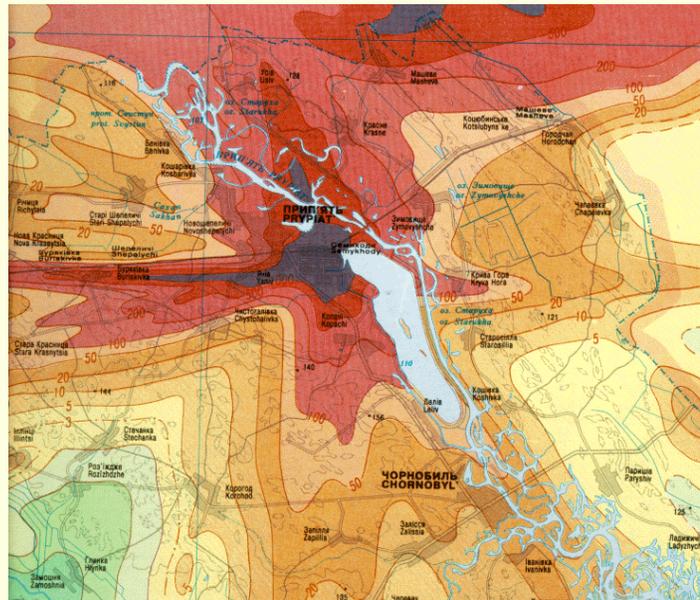
Die Bodenkontamination in Deutschland setzte sich aus früheren Cs-137-Einträgen von oberirdischen Kernwaffentests und dem Cs-137-Eintrag durch den genannten Reaktorunfall zusammen. Das von Tschernobyl herrührende Cs-137 konnte mit Hilfe der Begleitnuklide bestimmt werden.

Das Verteilungsmuster für andere langlebige Nuklide ist identisch, ihrer Höhe nach aber um Größenordnungen niedriger: bei Sr-90 um zwei Größenordnungen, für die Transurane um vier bis fünf Größenordnungen.



Dieses Schaubild zeigt die in Baden-Württemberg ermittelten Bodenkontaminationen von Cs-137, jeweils über eine Verwaltungseinheit – Stadtkreis oder Landkreis, wie sie im Verlauf des 2. Halbjahres 1986 von der damaligen Landesanstalt für Umweltschutz ermittelt worden war.

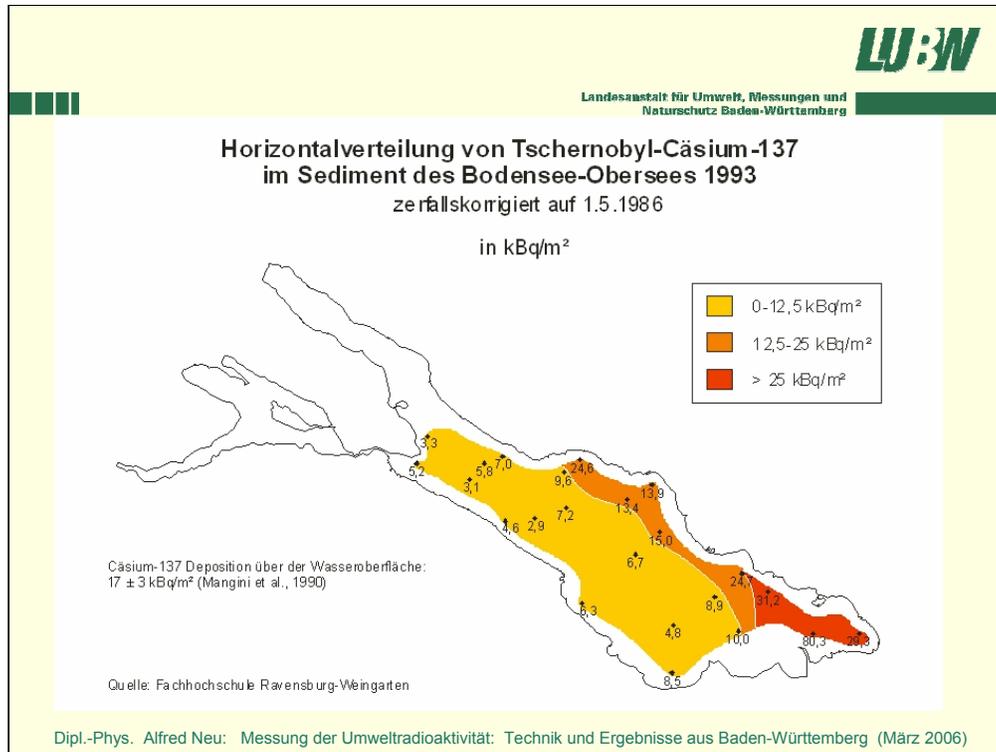
Das Kontaminationsmuster des Bodens spiegelt die vor allem über Niederschläge zu Anfang Mai 1986 eingetragene Aktivitätsmenge in ihrer Verteilung wieder.



**Ortsdosis-
leistungsmuster
der inneren
Sperrzone von
Tschernobyl –
Radius ca. 10km**

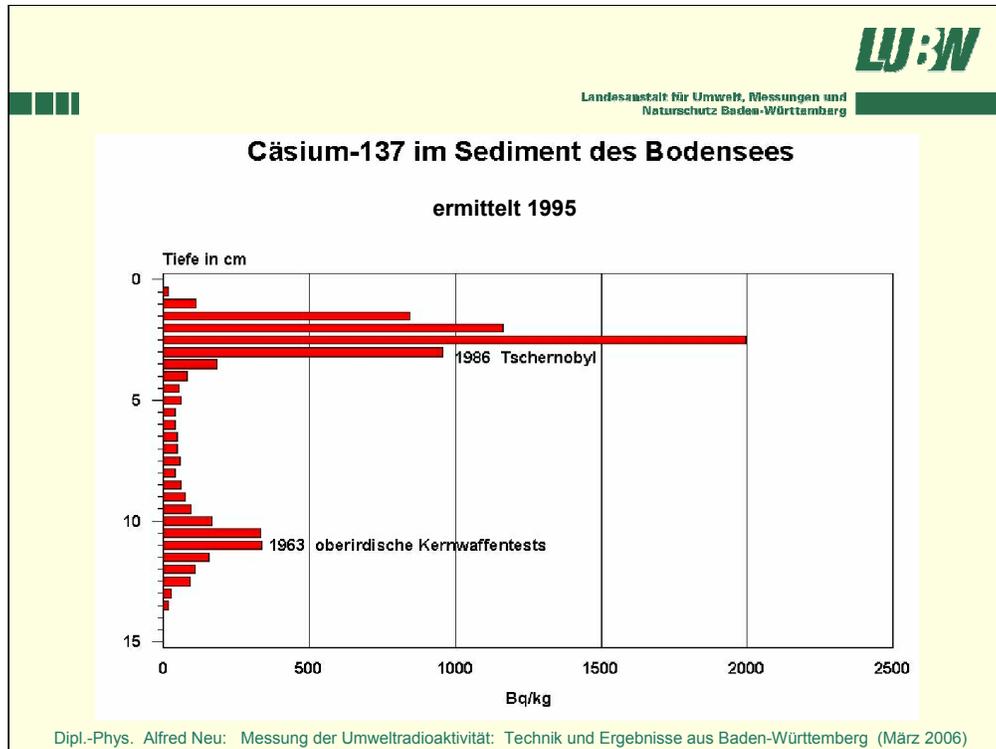
Dipl.-Phys. Alfred Neu: Messung der Umweltradioaktivität: Technik und Ergebnisse aus Baden-Württemberg (März 2006)

In der unmittelbaren Umgebung des verunfallten Reaktors ist das Kontaminationsmuster sehr sprunghaft und reicht über mindestens zwei Größenordnungen. Dieser Flickenteppich der Kontaminationssituation bestimmt natürlich auch die äußere Komponente der Strahlendosisleistung, die derzeit vom Cs-137 (mit ca. 90% Anteil an der äußeren Dosis) und vom Eu-154 bestimmt wird.



Nicht nur auf dem Festland, sondern auch in den Binnengewässern und Seen führten die Einträge radioaktiver Substanzen zu unterschiedlichsten Befunden. Maßgeblich für die später sich anschließende radioökologische Bewertung in Gewässersystemen waren vor allem die dort eingetragene Aktivität, das Abflussverhalten, das Sedimentationsverhalten und die Transferfaktoren vom Wasser bis zum Menschen, z.B. über die Kette von Friedfischen über Raubfische.

Die dargestellte Abbildung gibt die auf den Unfallzeitraum rückgerechnete flächenbezogene Aktivitätsbelastung des Bodensees für das relevante Nuklid Cs-137 wieder. Diese, in 1993 anhand von Sedimentuntersuchungen ermittelten Flächenbelastungen liegen für den gesamten Bodensee durchaus im Bereich von 10.000 Bq je qm Seeboden und man erkennt deutlich den flacheren Stillwasserbereich und die Eintragsorte über die nördlichen Zuflüsse, vor allem durch die Argen.

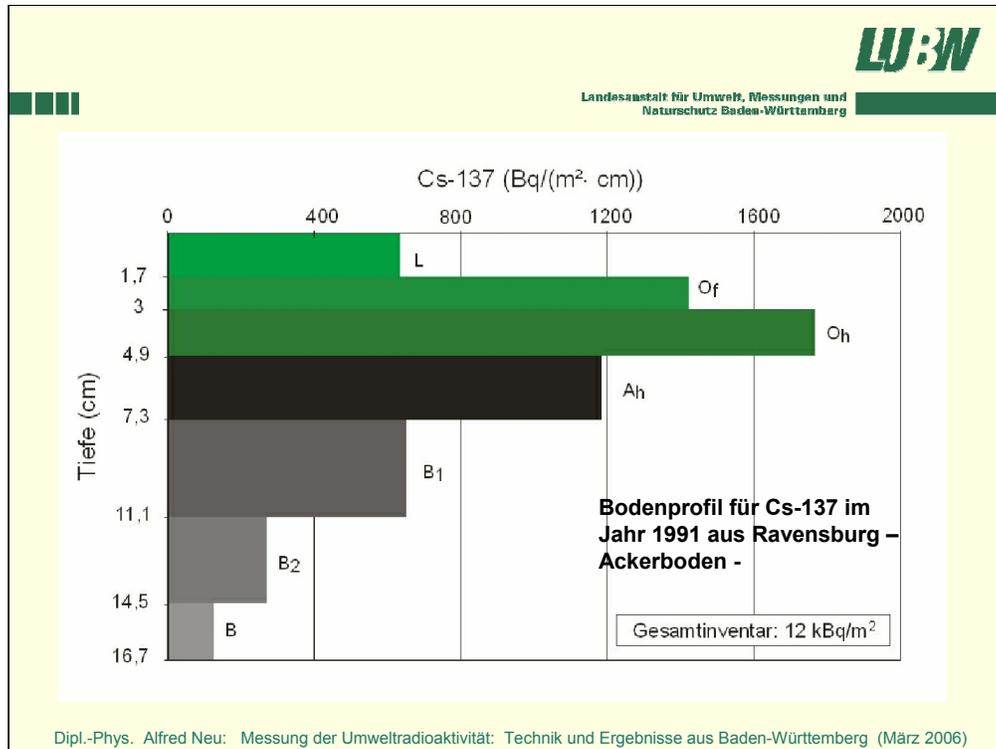


Diese Abbildung zeigt die Verteilung von Cs-137 in einem Sedimentkern aus dem Jahr 1995. Darin ist deutlich das in den 1960-er Jahren durch die oberirdischen Kernwaffenversuche eingeschwämmt Cs-137 zu erkennen, das zwischenzeitlich auf die Hälfte seines ursprünglichen Werts abgeklungen ist.

Der durch den Reaktorunfall in den jüngeren Jahren, also im oberen Sedimentationsbereich verursachte Beitrag zur Sedimentaktivität ist in diesem Gebiet deutlich höher und erstreckt sich über mehrere Jahre.

Sedimentkerne stellen das Gedächtnis eines Sees dar, deren Untersuchungen sind ein hervorragendes Mittel zur Bestimmung des Gesamteintrags in einen See, sofern der Austrag aus dem See vernachlässigt werden kann. Andererseits reichern sich auch in einem See ohne nennenswerten Abfluss Radionuklide über die ökologische Nahrungskette bei essbaren Fischen an und können so ein ernsthaftes Strahlenschutzproblem darstellen, wie dies z.B. beim Schreckensee im Kreis Ravensburg lange Zeit der Fall war.

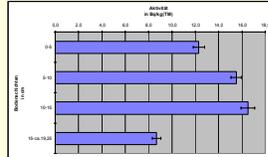
Demgegenüber bestimmen auf dem Land hauptsächlich die Bodenart, dessen Durchlässigkeit, der Zeitablauf und die Bodenbearbeitung die vertikale Verteilung von Radionukliden.



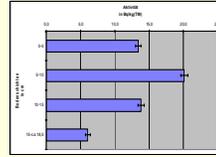
In Ackerböden ist die klassische und in den meisten Modellannahmen festgelegte Verteilung von Radionukliden die exponentielle Abnahme mit zunehmender Tiefe, wobei ein Durchwandern der Bodenschicht (Bodenpassage) proportional zur abgelaufenen Zeit seit dem Eintrag unterstellt wird. Dies führt zu obigem dargestellten Profil in der Verteilung von Radionukliden.

Die tatsächlich vorgefundenen vertikalen Verteilungen sind weitaus vielfältiger und komplexer, wie die nachstehenden Grafiken zeigen:

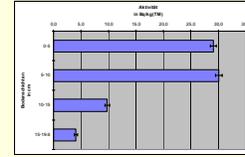
Bodenprofilvarianten für Cs-137 im Jahr 2000



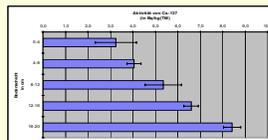
Aglasterhausen



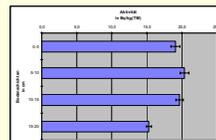
Bruchsal



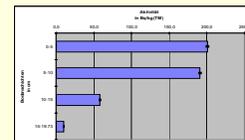
Calw



Karlsruhe



Notzingen

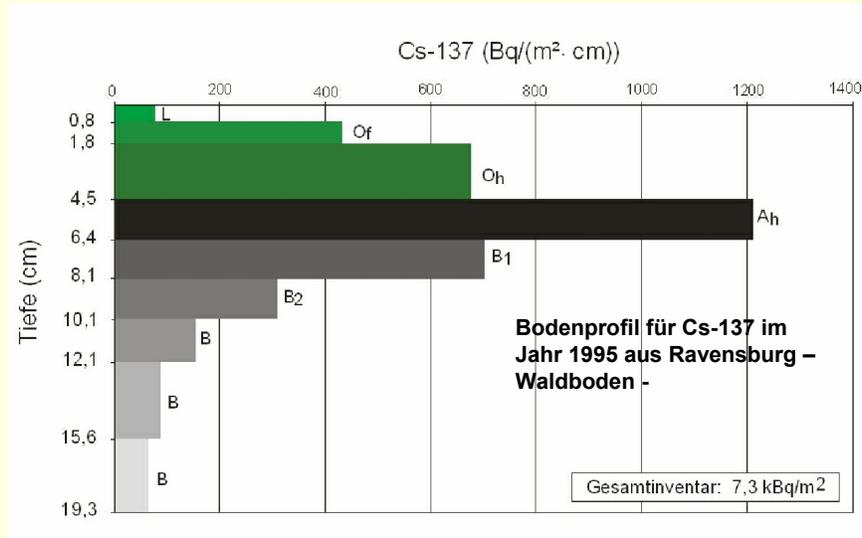


Pfullendorf

Dipl.-Phys. Alfred Neu: Messung der Umweltradioaktivität: Technik und Ergebnisse aus Baden-Württemberg (März 2006)

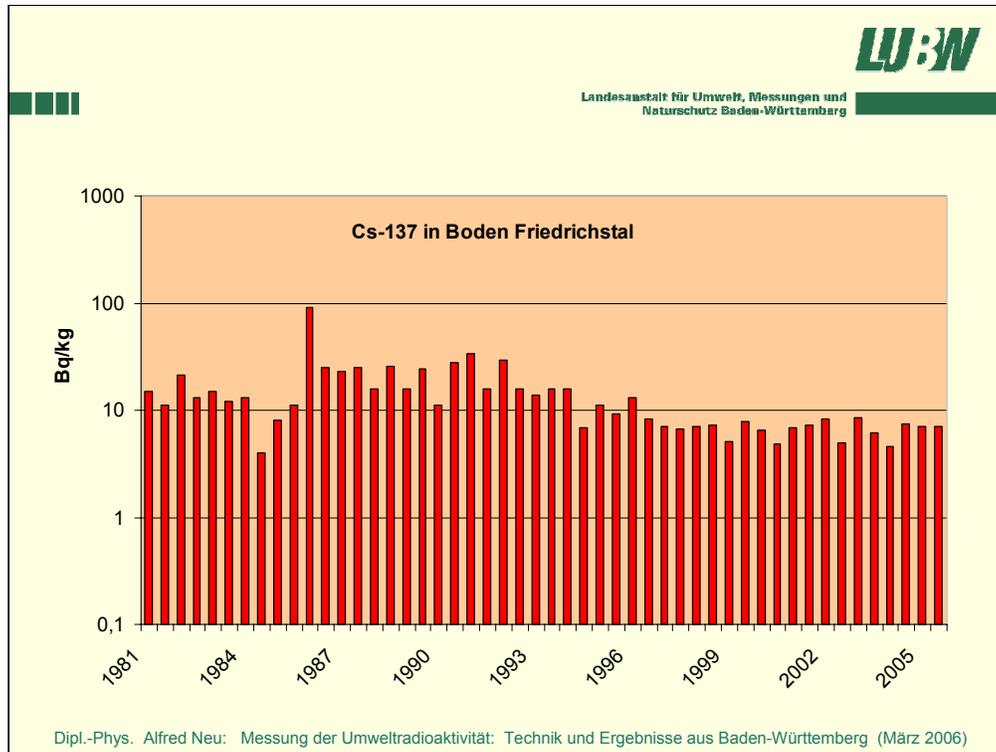
Diese im Jahr 2000 nachbeprobten Böden weisen sehr unterschiedliche Profile in der horizontalen Verteilung des Cs-137 auf. Man kann also nicht ohne Weiteres von der modellhaften Vorstellung einer überall vorherrschenden exponentiellen Abnahme einmalig eingetragener Schadstoffe mit zunehmender Tiefe ausgehen.

Im Vergleich zu Ackerböden verhalten sich Waldböden grundsätzlich anders:

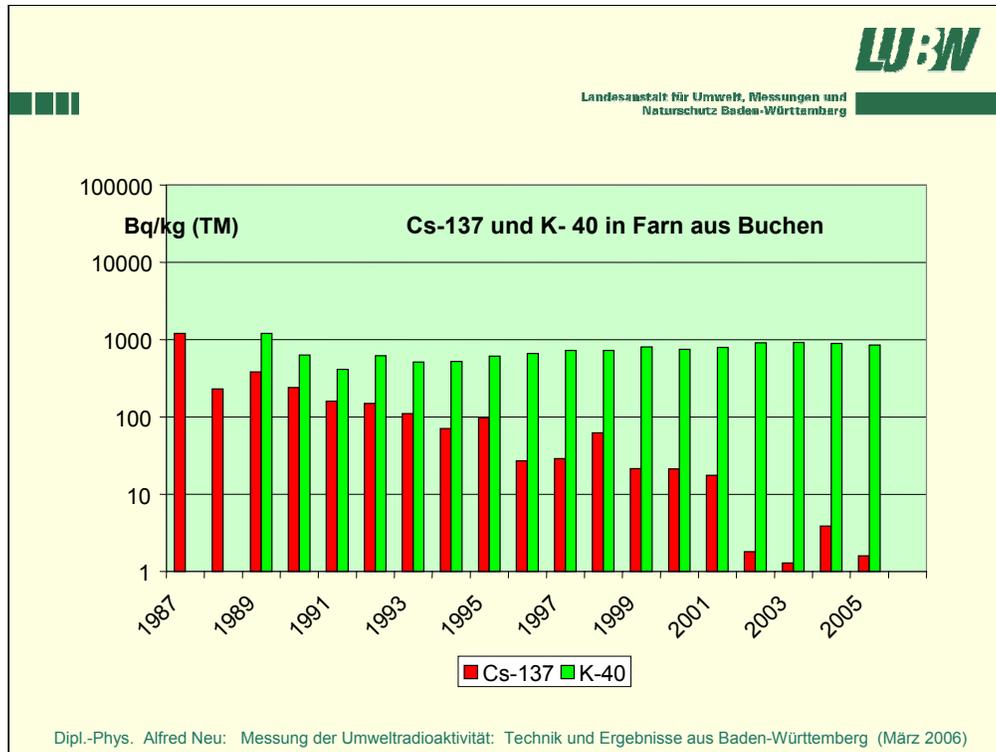


Dipl.-Phys. Alfred Neu: Messung der Umweltradioaktivität: Technik und Ergebnisse aus Baden-Württemberg (März 2006)

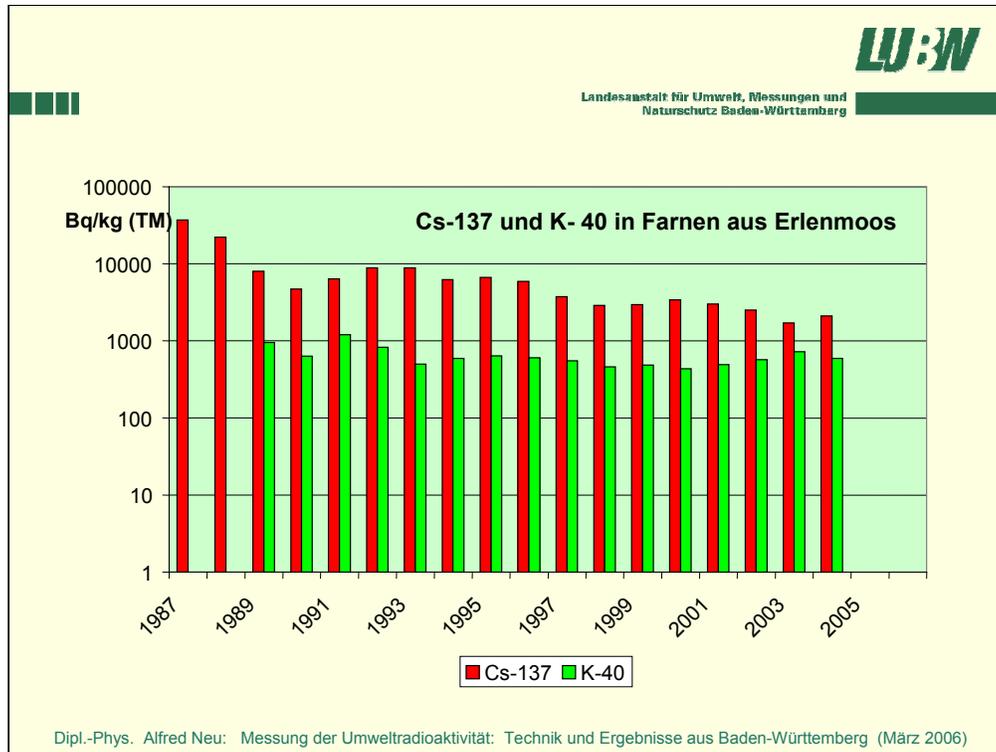
Infolge des meist leicht sauren Milieus in der oberen Auflage beim Waldboden werden die Radionuklide sehr effektiv dort gebunden (Ah-Horizont) und gelangen nur verzögert und in Bruchteilen in den mineralischen Teil des sog. Unterbodens (B-Horizonte). Damit finden sich, auch wegen der fehlenden Bodenbearbeitung, hier die klassischen Exponentialverteilungen.



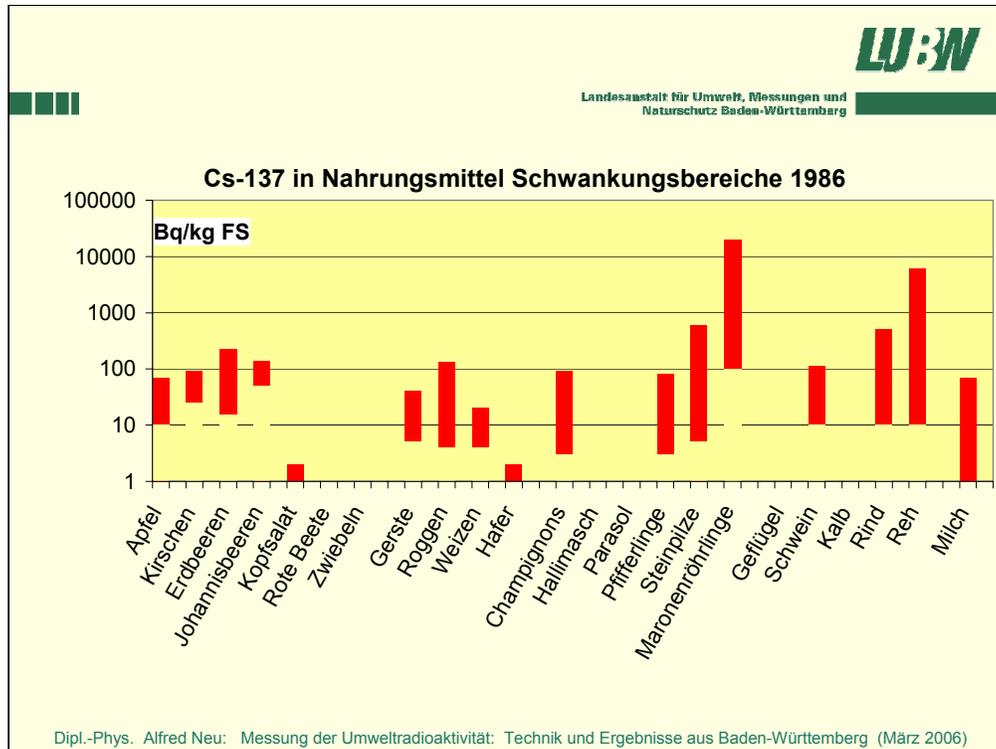
Diese Abbildung zeigt für einen typischen Boden aus der mittleren Oberrheinebene (Sand und Lehm) den zeitlichen Verlauf der spezifischen Cs-137-Aktivität. Die in 1986 erfolgten Einträge führten kurzfristig zu einer deutlichen Erhöhung, durch den Reaktorunfall waren jedoch in der Folgezeit die (vorher durch Kernwaffenfallout bedingten Werte) Cs-137-Konzentrationen schließlich auf etwa den doppelten Wert angehoben worden.



In Farnen, die infolge ihrer Standorttreue stets die Inhaltstoffe des Bodens – und damit die Abbauprodukte der vorangegangenen Vegetationsperiode – aufnehmen, verlief die spezifische Aktivität deutlich anders als es der physikalische Zerfall des Cs.137 erwarten ließ. Zum Vergleich mit der durch Tschernobyl verursachten Aktivität ist in der Abbildung auch das natürlich vorhandene K-40 mit aufgenommen.



Diese Grafik stellt vergleichsweise den Verlauf der Radionuklidkonzentrationen aus einem höher kontaminierten Gebiet im Südosten von Baden-Württemberg dar. Obgleich die Cs-137-Konzentration an diesem Standort im Farn um mehr als eine Größenordnung binnen 15 Jahren abnimmt, liegt sie immer noch deutlich über der natürlich bedingten K-40-Konzentration.

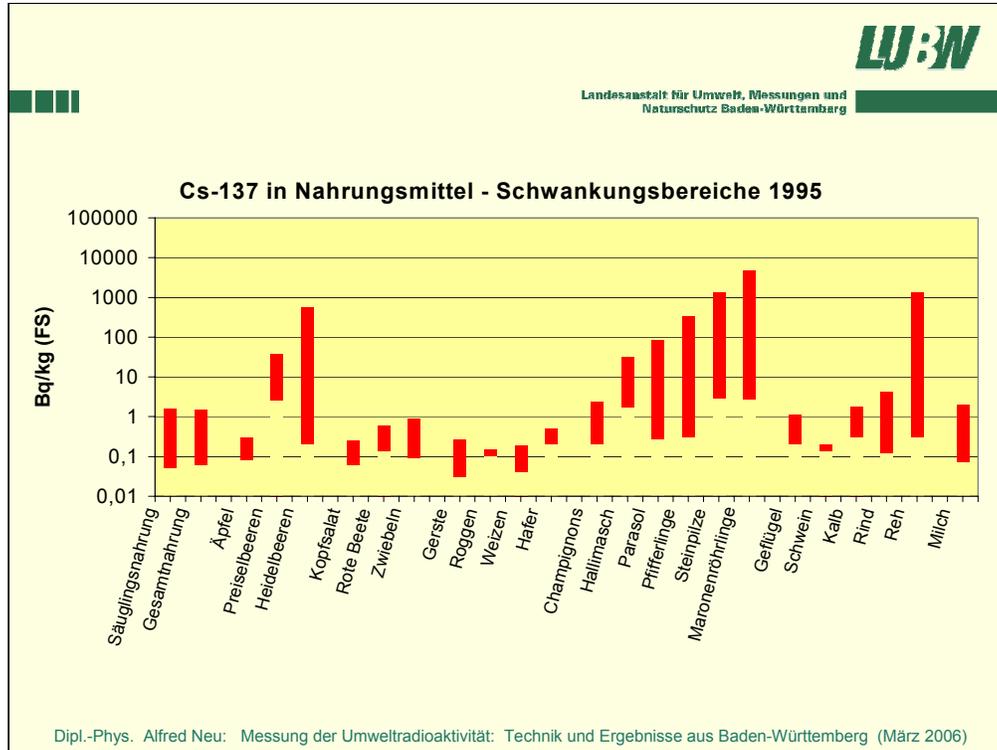


Nahrungsmittel wurden nach dem Reaktorunfall verstärkt auf Radioaktivität untersucht. In Baden-Württemberg lieferten die

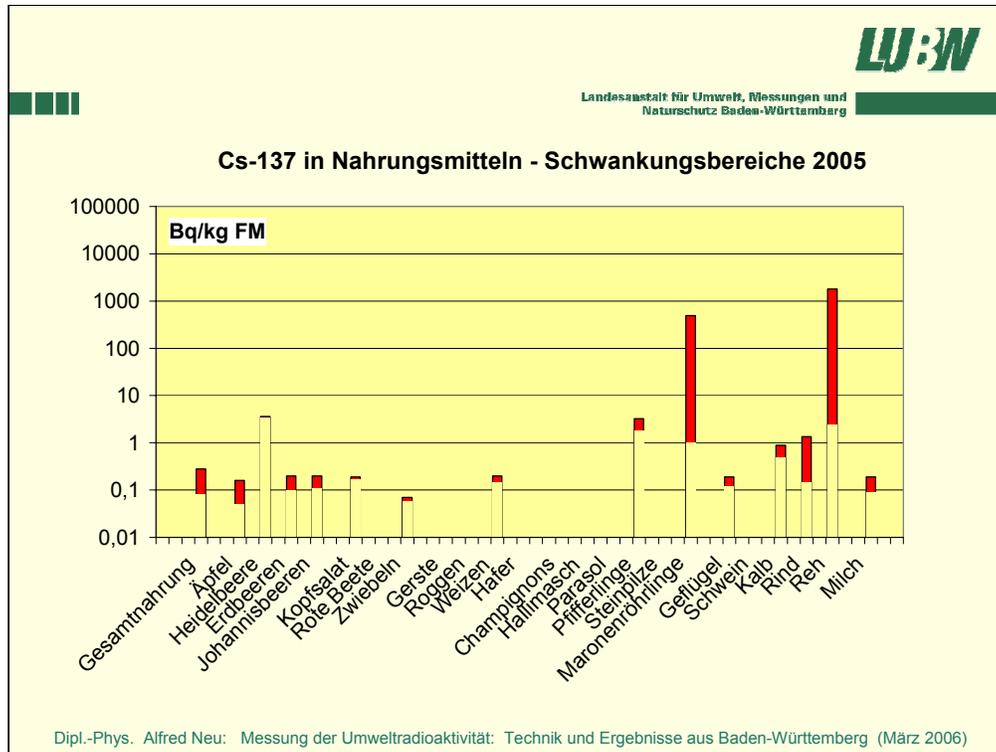
- Chemischen und Veterinäruntersuchungsämter,
- die damalige Landesanstalt für Umweltschutz,
- die Universität Konstanz und die Fachhochschule Ravensburg-Weingarten,
- und die Landwirtschaftliche Forschungs- und Versuchsanstalt Augustenberg

zahlreiche Messergebnisse, die in den nachfolgenden Darstellungen verwendet werden.

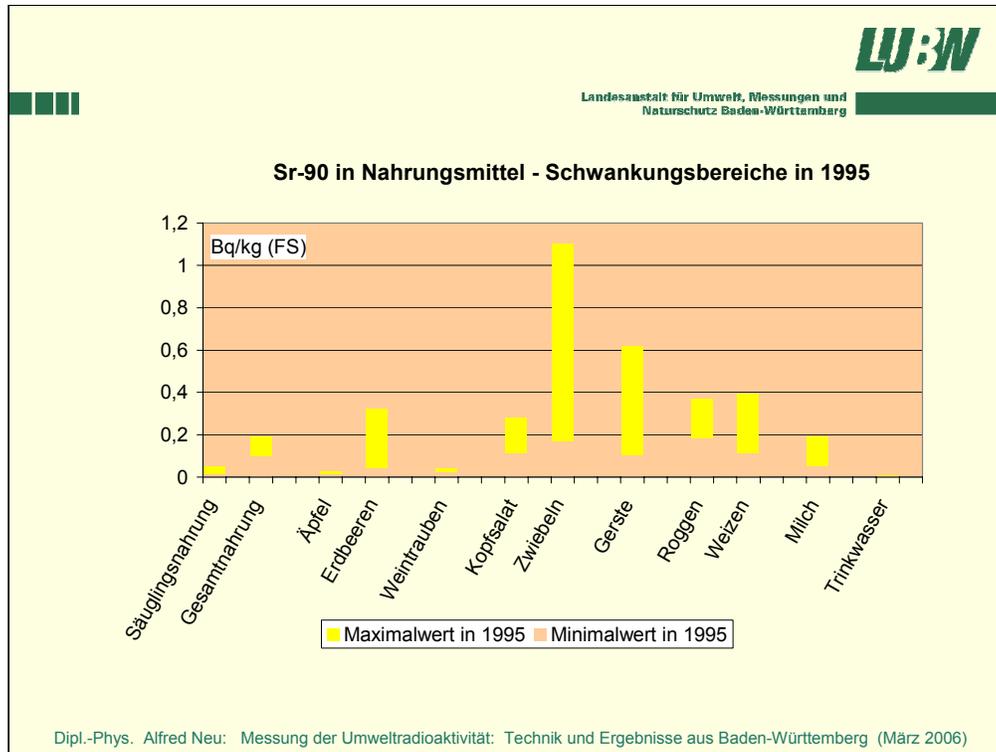
In den drei hier dargestellten Abbildungen sind zusammenhängend in jeweils ca. 10-jährigem Abstand die Schwankungsbereiche für die Cs-137-Konzentration in verschiedenen Lebensmitteln dargestellt.



Neben einigen unbedeutenden Befunden für Nahrungsmittel, die nur in geringen Mengen verzehrt werden, fallen hier insbesondere auch nach 10 Jahren seit dem Reaktorunfall die Rehe und einige Pilzsorten auf.

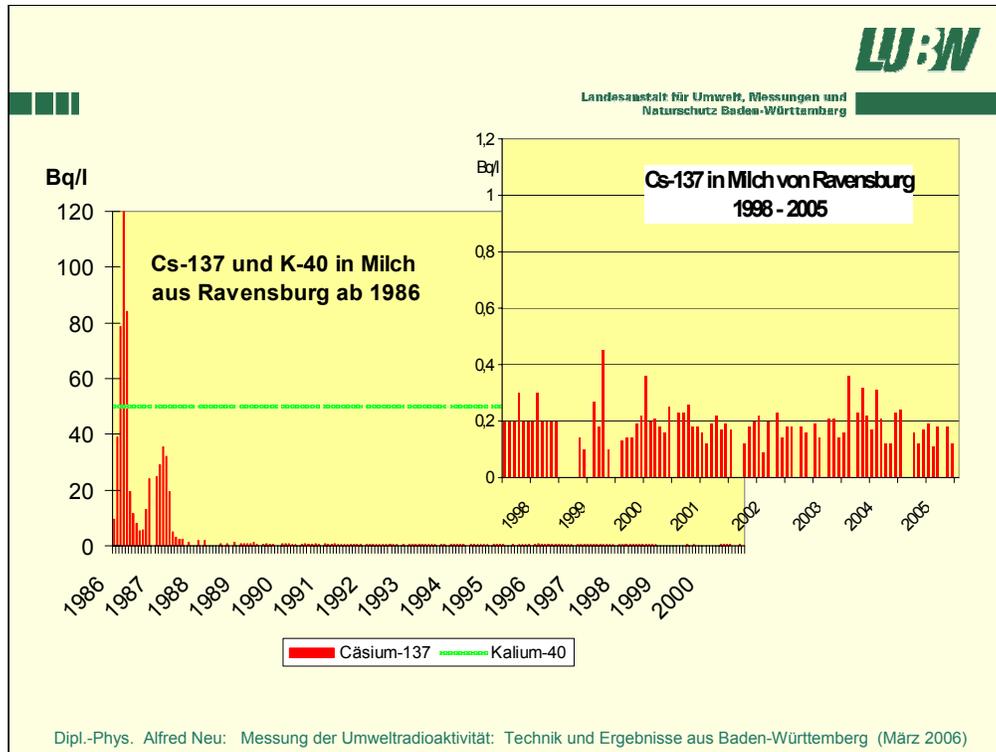


Im Jahr 2005 sind bei den dargestellten Lebensmitteln immer noch Rehfleisch und Maronentrüffel die auffälligsten Vertreter mit enormen Schwankungsbereichen in ihren Messwerten. Alle anderen Lebensmittel (ausgenommen Wildschweinfleisch) sind auf unbedeutende Werte abgesunken und tragen kaum zur Strahlenbelastung des Menschen in Baden-Württemberg bei.



Neben den gammastrahlenden Spaltprodukten ist auch das über einen Betazerfall wirksame Sr-90 für die Strahlenbelastung (Effektivdosis) des Menschen von Bedeutung. Das mit ca. 28 Jahren Halbwertszeit zerfallende Sr-90 ist sowohl infolge des Kernwaffenfallouts als auch wegen des Reaktorunfalls von Tschernobyl in unseren Nahrungsmitteln wiederzufinden.

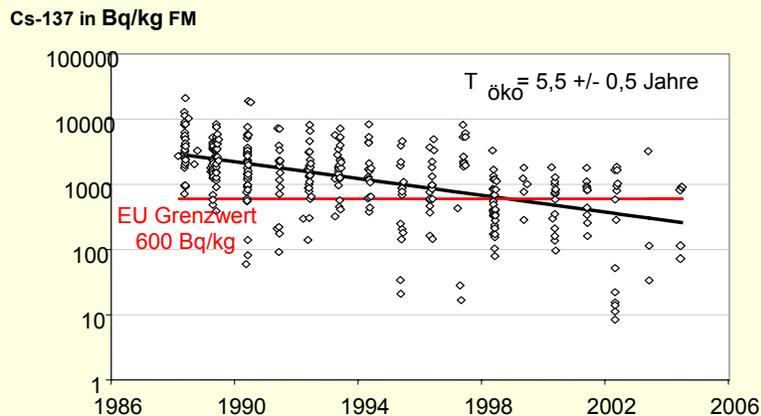
Die obige Abbildung zeigt typische Bereiche für die entsprechenden Schwankungsbereiche bei diesem chemisch in leicht löslichen Verbindungen vorkommende Nuklid. Trotz der leichten Löslichkeit ist es jedoch in unserem Trinkwasser kaum vorhanden.



Diese Grafik zeigt den zeitlichen Verlauf des Cs-137 in der Milch aus dem höher kontaminierten Gebiet um Ravensburg im südöstlichen Baden-Württemberg.

Neben dem rasch ansteigenden Spitzenwert im Unfalljahr ist im Folgejahr ein Nebenmaximum im Aktivitätsverlauf zu erkennen, das auf die Verfütterung von kontaminiertem Heu in den Wintermonaten der Jahre 1986/1987 und auf die vorherrschende Kontamination im Jahr 1987 zurückzuführen ist.

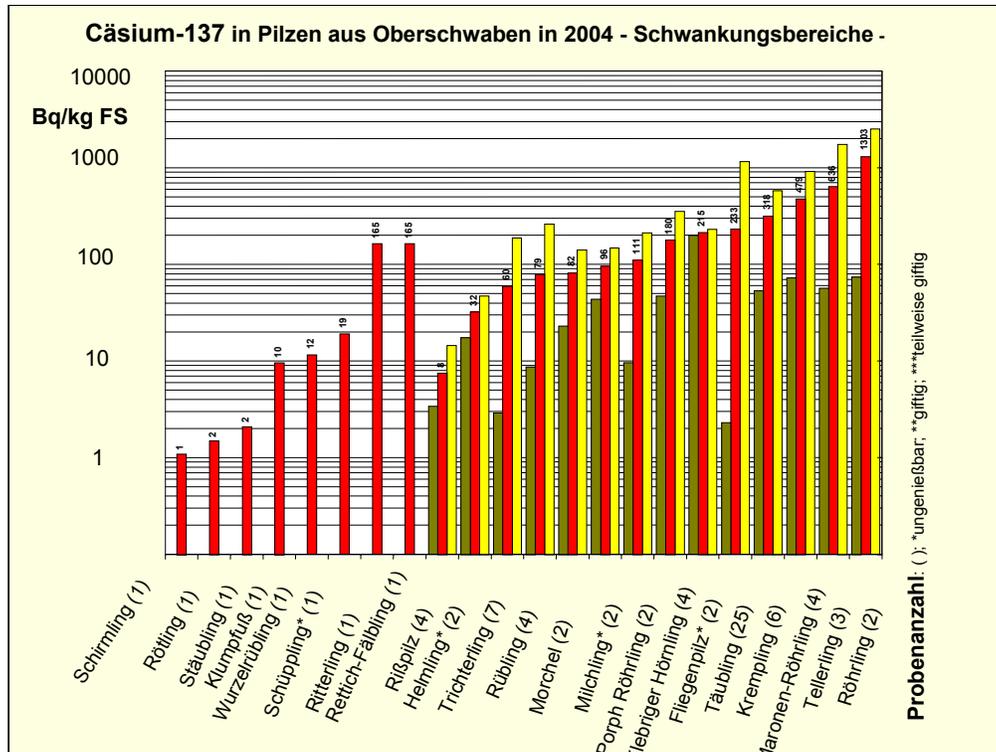
Cs-137-Aktivitätskonzentration von Pilzen aus Oberschwaben: Xerocomus Badius, (Maronenröhrling, Speisepilz) n = 344



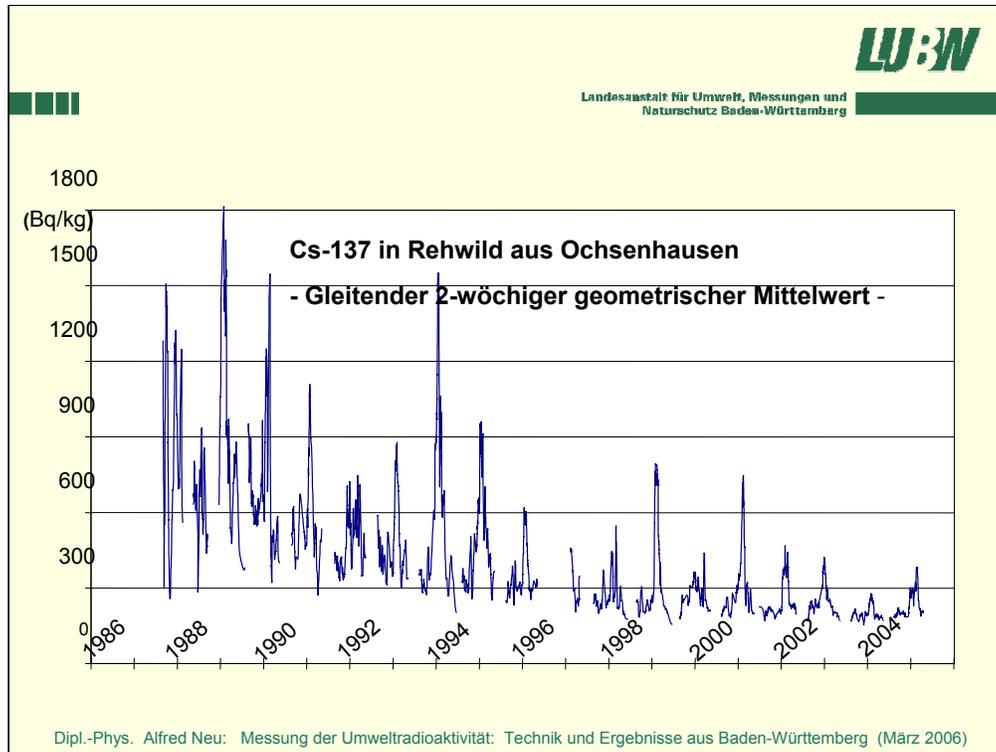
Dipl.-Phys. Alfred Neu: Messung der Umweltradioaktivität: Technik und Ergebnisse aus Baden-Württemberg (März 2006)

Diese Darstellung ist das Ergebnis eines mehrjährigen Untersuchungsprogramms der FH Ravensburg-Weingarten und zeigt die Verteilung und zeitliche Entwicklung des Cs-137-Jahresmittelwerts beim essbaren Maronenröhrling aus dem oberschwäbischen Bereich. Man erkennt deutlich, dass in den Jahren kurz nach dem Reaktorunfall die meisten Pilzproben über dem von der EU festgelegten Grenzwert für Gesamtcesium von 600 Bq/kg Frischmasse lagen, während heute dieser Grenzwert nur noch selten überschritten wird.

Die hier dargestellte Pilzsorte ist wegen ihrer ausgeprägten Anreicherungsmechanismen zu einem beliebten Studienobjekt geworden. Andere Pilzsorten weichen erheblich von diesem Verhalten ab und zeigen deshalb auch durchweg niedrigere Cs-137-Gehalte als der Maronenröhrling.

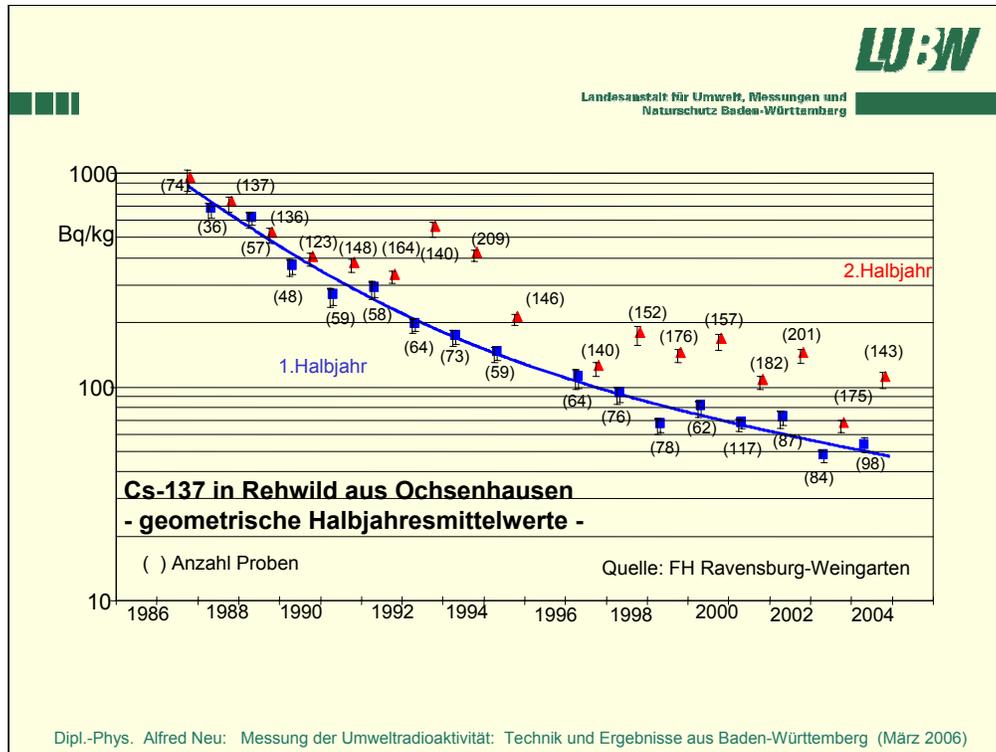


Diese Grafik zeigt die Mittelwerte der Cs-137-Gehalte bei den verschiedenen untersuchten Pilzsorten (rote Balken) für das Jahr 2004 in einem halblogarithmischen Maßstab. Für Sorten mit mehreren Proben wurden auch die Minimalwerte (grüne Balken) und die Maximalwerte (gelbe Balken) mit aufgenommen. Schwankungsbreiten um einen Faktor 10 im selben Gebiet sind keine Seltenheit.

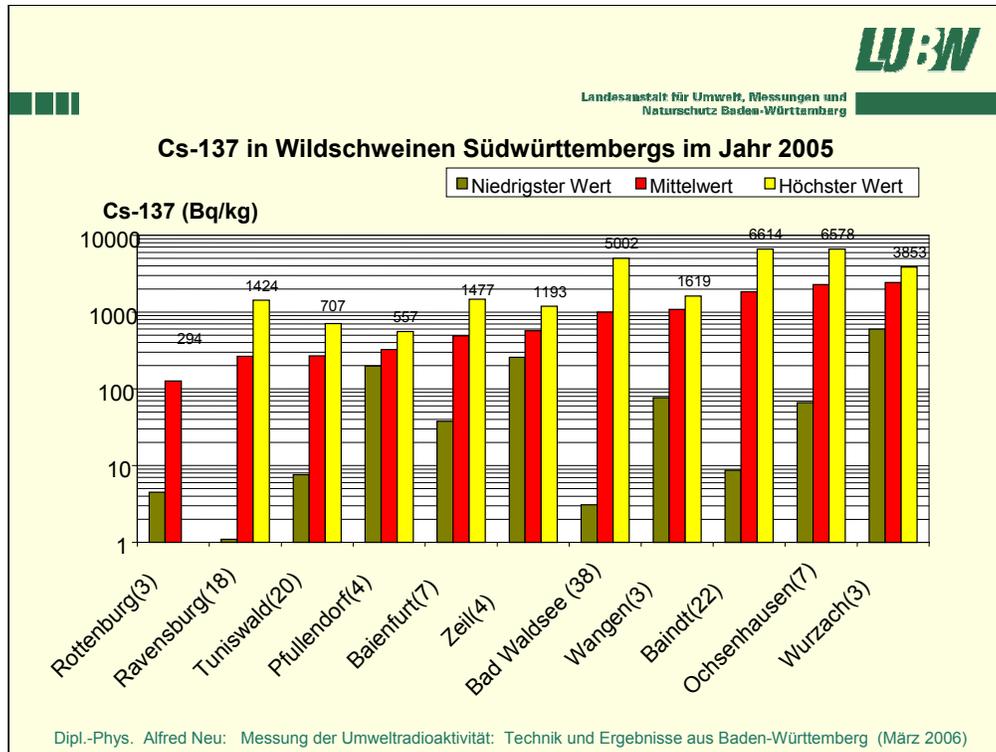


Bei untersuchten Rehfleischproben zeigten sich bei der geometrischen Mittelwertbildung periodische Jahresschwankungen für das Cs-137.

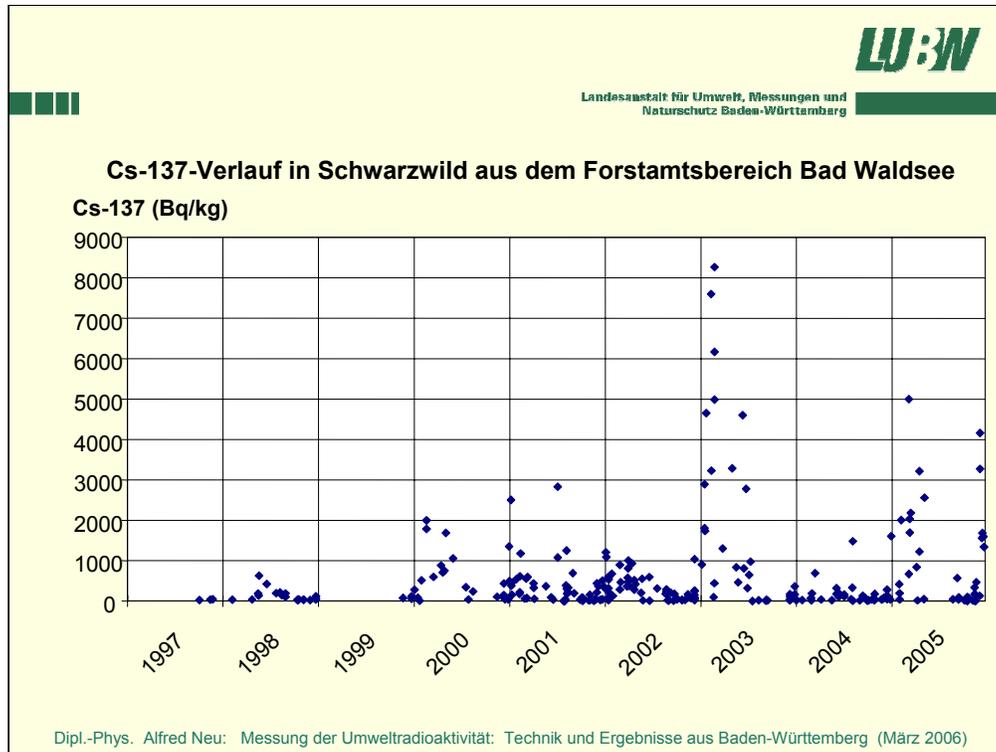
Eine Auswertung nach erstem und zweitem Halbjahr ergibt bei den Messungen seit 1987 (ca. 9.200 Proben) eine signifikante Aufspaltung der jeweiligen Halbjahresmittelwerte, wie die folgende Grafik zeigt.



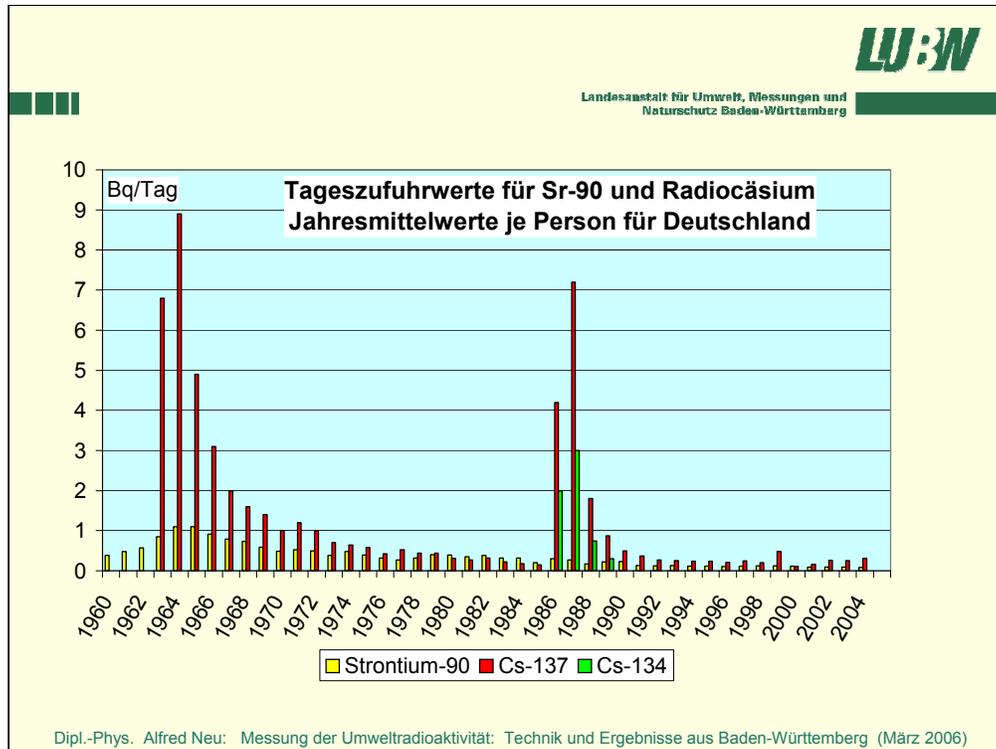
Die höheren Cs-137-Gehalte in Rehfleisch aus der jeweiligen 2. Jahreshälfte sind beeinflusst durch die Pilzäsung der Tiere. Die effektive Halbwertszeit – d.h. die Überlagerung von physikalischem Zerfall des Cs-137 (30 Jahre) und ökologisch bedingten Verfrachtungsprozessen (ca. 12 bis 18 Jahre) – liegt in diesem Gebiet zwischen 8 und 12 Jahren.



Untersuchungen von Fleisch erlegter Wildschweine variieren in ihren Ergebnissen sehr stark. Weder ist eine jahreszeitliche Systematik auszumachen, noch kann wegen der Wanderungsbewegungen der Tiere eine räumliche Zuordnung getroffen werden. Schwankungsbereiche über 3 Größenordnungen im Cs-137-Gehalt bei Wildschweinen sind deshalb (gerade in jüngster Vergangenheit) keine Seltenheit. Siehe obige Grafik für Wildschweinfleisch aus höher kontaminierten Forstamtsbezirken Südwürttembergs aus dem Jahr 2005.

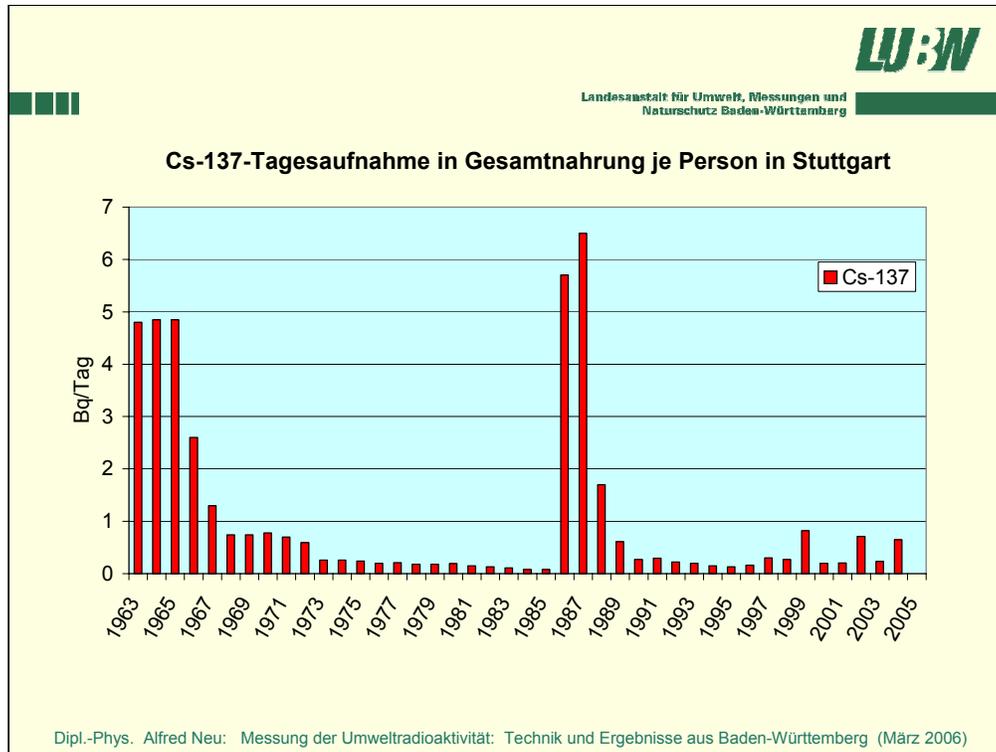


Diese Abbildung zeigt den längerfristigen Verlauf des Cs-137-Gehalts in Wildschweinfleisch aus dem Forstamtsbezirk Bad Waldsee. Offenbar spielen Witterungsbedingungen und damit das Nahrungsmittelangebot für die Wildtiere und ihre Fressgewohnheiten eine entscheidende Rolle für deren Fleischkontamination. Seit dem extremen trockenen und heißen Sommer 2003 scheinen die bevorzugt aufgesuchten Hirschtrüffel (ein höher kontaminierter, für den Menschen ungenießbarer Pilz) den Cs-137-Haushalt der Wildschweine maßgeblich zu bestimmen. – Im Vergleich dazu weisen in Gehegen gehaltene Tiere mit kontaminationsarmer Zufütterung (Mais) nur Gehalte von <math><30\text{ Bq/kg}</math> Cs-137 im Fleisch auf.

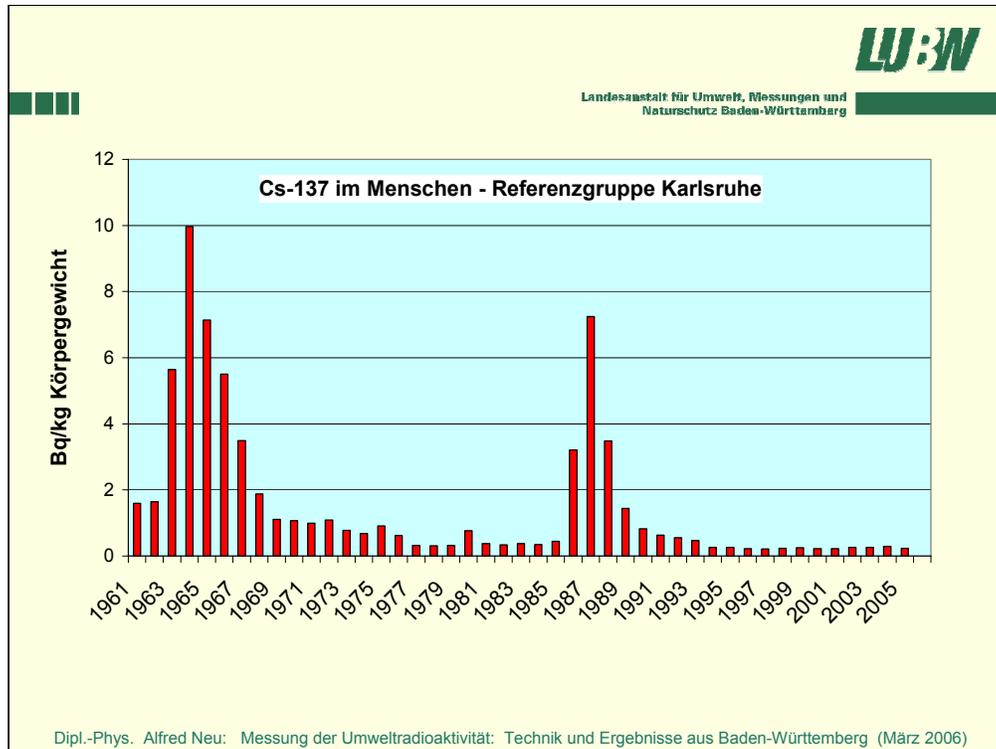


Die Nahrungsmittelkontamination führt natürlich auch beim Menschen zu einer Radioaktivitätsaufnahme über das tägliche Essen. Der obigen Abbildung ist der langfristige zeitliche Verlauf derartiger täglicher Zufuhrdaten für verschiedene langlebige Radionuklide zu entnehmen.

Man erkennt im ersten Maximum deutlich die durch oberirdische Kernwaffenversuche verursachten täglichen Radioaktivitätsaufnahmen in den 60er Jahren des vergangenen Jahrhunderts und ab 1986 die durch den Reaktorunfall bedingten. Unterschiede gab es allerdings im aufgenommenen Nuklidspektrum, da im Fallout der Kernwaffen das knochensuchende Sr-90 stärker vertreten war als im hiesigen Fallout des Reaktorunfalls. Hingegen verhielt es sich mit dem Cs-134 gegenläufig, weil dieses Radionuklid in Kernreaktoren häufiger vertreten ist als bei einer explosionsartigen Umsetzung von Kernbrennstoffen.



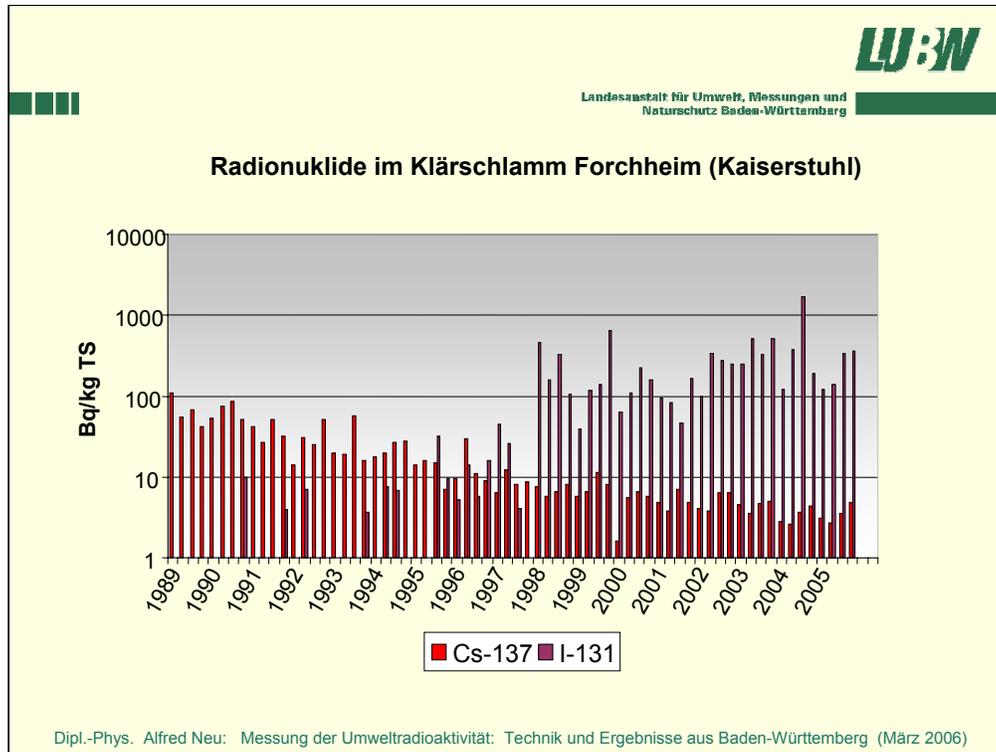
Die entsprechende Darstellung für die Region Stuttgart weist für des Cs-137 aus, dass in Baden-Württemberg die tägliche Aktivitätszufuhr über 2 Jahre höhere Werte als der Bundesdurchschnitt erreichte. Allerdings war die integrale Zufuhr durch den Kernwaffenfallout wegen seiner längeren Dauer auch in Stuttgart höher als die insgesamt wegen des Reaktorunfalls aufgenommenen Aktivität.



Durch Stoffwechselfvorgänge werden mit der Nahrung aufgenommene Substanzen teilweise im menschlichen Körper deponiert, sofort oder verzögert wieder ausgeschieden. Die momentan im Körper verbliebene Cs-137-Aktivität wurde langfristig an einer Referenzgruppe aus dem Raum Karlsruhe vom Forschungszentrum Karlsruhe ermittelt und ist in obigem Schaubild dargestellt.

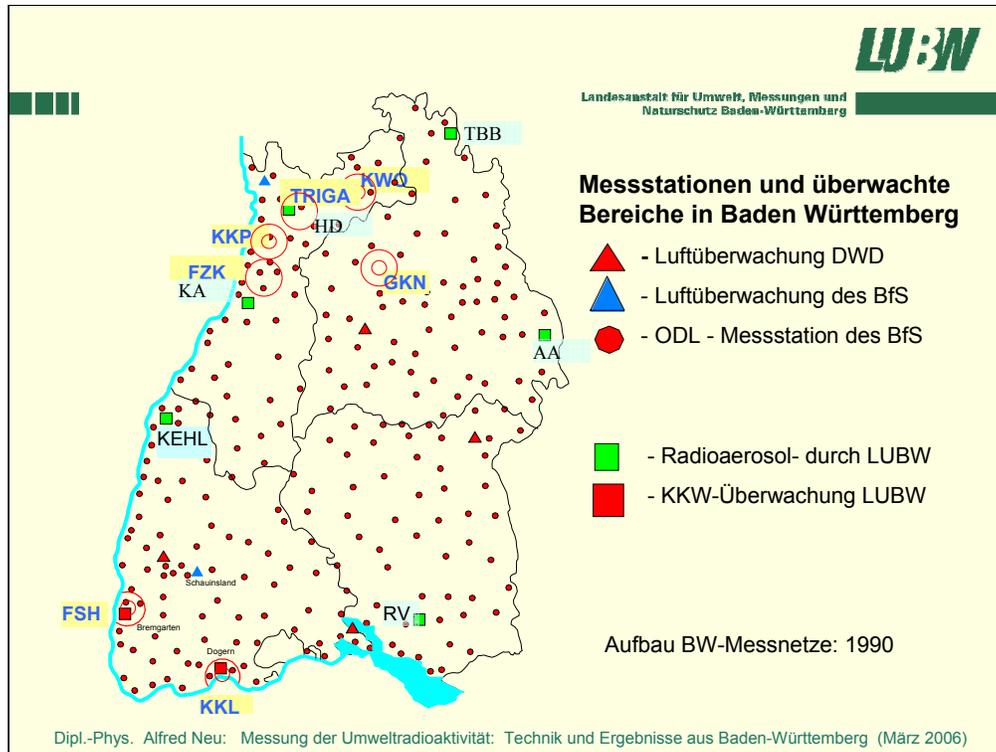
Man erkennt auch hier im ersten Maximum die oberirdischen Kernwaffenversuche in den 60er Jahren des vergangenen Jahrhunderts und ab 1986 den Reaktorunfall wieder. Im Vergleich zu den Aktivitätsverläufen bei den Nahrungsmitteln sind hier die Maxima zu späteren Jahren hin verschoben, weil auch die Aktivitätsausscheidung nach einer sog. biologischen Halbwertszeit erfolgt.

Die durch die Radioaktivitätsgehalte im Menschen bedingte, innere Strahlenbelastung war bei den Kernwaffenversuchen deutlich höher als nach dem Reaktorunfall von Tschernobyl, wie man aus den beiden Teilflächen unter der Aktivitätsverlaufskurve leicht erkennen kann.



Radioaktive Substanzen, die am Stoffkreislauf teilnehmen, finden sich demnach auch in Abfällen und Klärschlämmen wieder. Dort liegen sie meist in höherer Konzentration vor, weil die Inhaltsstoffe des Abwassers herausgefiltert und somit konzentriert werden.

Einen typischen Verlauf zeigt die obige Abbildung für Cs-137-Befunde in Klärschlämmen aus dem Kaiserstuhl. Die Grafik zeigt aber auch eine Belastung des Klärschlammes durch I-131, die aus der diagnostischen Anwendung radioaktiver Stoffe in der Medizin herrührt.

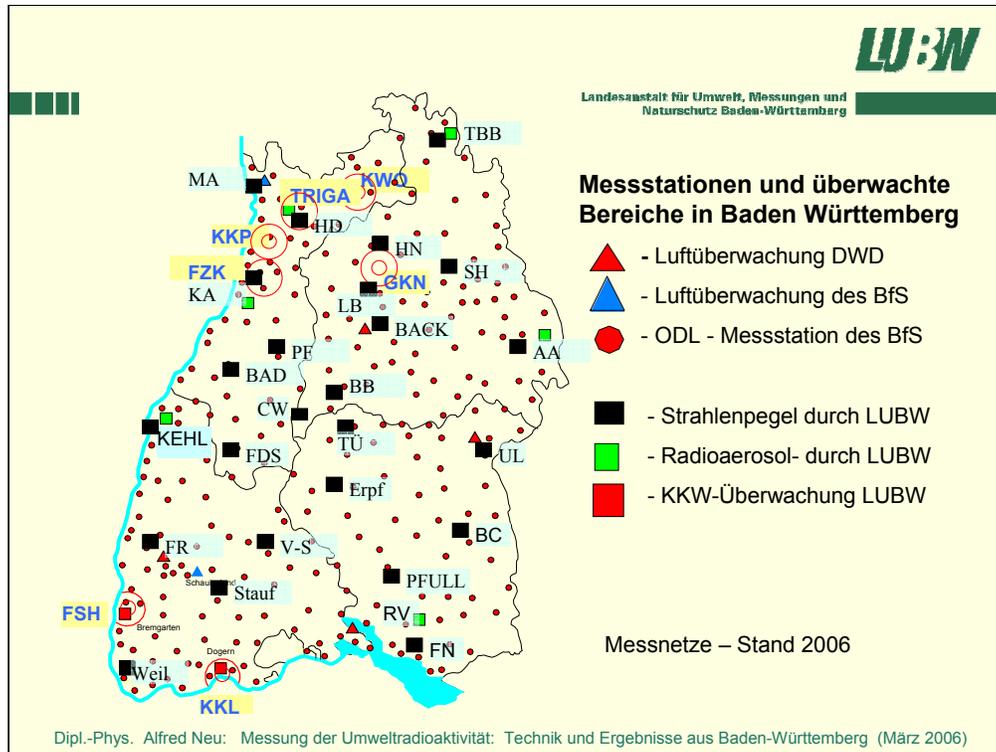


Im Jahr 1986 war in Baden-Württemberg lediglich der Bund mit einem flächendeckenden Ortsdosisleistungsmessnetz an etwa 200 Messorten vertreten. Das Land führte immissionsseitig nur an den Standorten kerntechnischer Anlagen lokal verdichtet an etwa 120 Orten Dosisleistungsmessungen mit Fernübertragung von Messwerten durch. Bei den grenznahen, ausländischen Kernkraftwerken wurden an Atemluftproben gammaspektrometrische Messungen vorgenommen, die im 2-Stundentakt vorort aufgezeichnet und deren Ergebnisse über Modems einmal täglich zur Dienststelle in Karlsruhe übertragen wurden.

Nach dem Reaktorunfall und im Gefolge mit dem erlassenen Strahlenschutzvorsorgegesetz wurde beschlossen, ein Radioaktivitätsmessnetz aufzubauen, das flächendeckend das Messnetz des Bundes ergänzen sollte. Die Aussagekraft von Ergebnissen der Ortsdosisleistungsmessungen sollte durch spektrometrisch identifizierende, on-line arbeitende Luftüberwachungsstationen erweitert werden.

So wurde zunächst jeder der 35 Landkreise mit einem Gerätesatz zur Ortsdosisleistungsmessung und zur Ermittlung der Beta/Gamma-Impulsrate ausgerüstet. (Standardausrüstung im Radioaktivitätsmessnetz).

In Abstimmung mit dem seinerzeit parallel entstehenden Messnetz des Bundes zur spektrometrischen Überwachung der Atemluft wurden durch das Land BW sechs weitere on-line arbeitende Messstationen zur Überwachung der gammastrahlenden Radioaktivität in der Atemluft an der Peripherie des Landes eingerichtet und 1990 in Betrieb genommen.



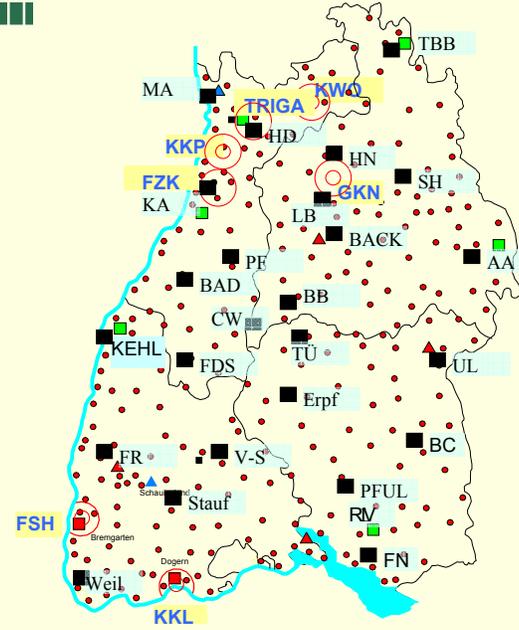
- Der Bund (vertreten durch den DWD) deckte gammaspektrometrisch die Bereiche um die Standorte in Stuttgart, Konstanz und Ulm ab.
- Das neu entstandene Bundesamt für Strahlenschutz war in Freiburg und Mannheim präsent,
- das Land Baden-Württemberg betrieb die Stationen
- Heidelberg, Karlsruhe, Kehl, Ravensburg, Aalen und Tauberbischofsheim und zeitweise auch eine weitere Station in Sigmaringen.
- Die schon früher bestehenden Überwachungsstationen Breggarten beim französischen Kernkraftwerk Fessenheim und
- die Messstationen Dogern und Waldshut bei den schweizerischen Kernkraftwerken Beznau und Leibstadt wurden ausgebaut und in das Radioaktivitätsmessnetz integriert.

Zwischen dem Bund und dem Land wurden technische Voraussetzungen zur gegenseitigen Bereitstellung von Daten aus der Immissionsüberwachung bei den Kernkraftwerken geschaffen. Auch ist ein elektronischer Datenaustausch zwischen der Schweiz und Deutschland realisiert, mit Frankreich befindet er sich diesbezüglich noch im Aufbau.

Messstationen und überwachte Bereiche in Baden Württemberg

- Luftüberwachung DWD
- Luftüberwachung des BfS
- ODL - Messstation des BfS
- Strahlenpegel durch LUBW
- Radioaerosol- durch LUBW
- KKW-Überwachung LUBW

Messnetze – Stand 2006





**In-situ-Gammaspektrometrie – Internationaler
Messvergleich 1999 in der Sperrzone von Tschernobyl**

Dipl.-Phys. Alfred Neu: Messung der Umweltradioaktivität: Technik und Ergebnisse aus Baden-Württemberg (März 2006)

Auch in der Messtechnik zur rascheren Bestimmung von Radionukliden und Aktivitätswerten wurden in den vergangenen Jahren Fortschritte erzielt. So ist heute die sog. In-situ-Messtechnik, bei der das Messgerät zur Probe gebracht wird, bei der gammaspektrometrischen Überwachung von Böden Stand der Technik. Der Vorteil besteht insbesondere darin, dass die Probenahme und der Proben transport zur Messstelle entfällt und die Messung repräsentativ für den betreffenden Bereich ist.

Ein Bild vom internationalen Messvergleich 1999 in der Sperrzone von Tschernobyl illustriert anschaulich die Anwendung dieses Verfahrens, bei dem heutzutage die gesamten Nuklidspektren per Datenfunk an die Steuer- oder Auswerteelektronik im Fahrzeug versandt werden, von wo sie dann als Datenfile zum Dienstsitz der Messstelle übertragen werden.

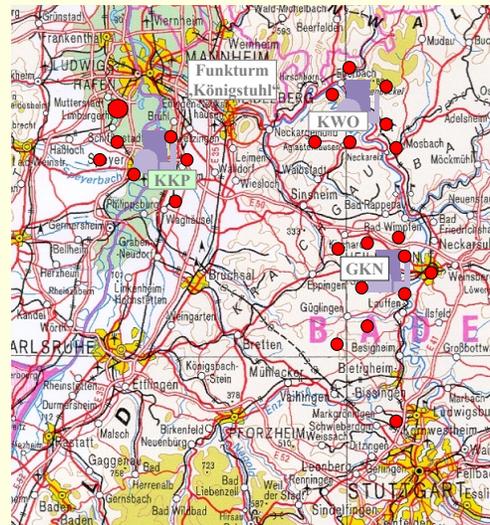


Dipl.-Phys. Alfred Neu: Messung der Umweltradioaktivität: Technik und Ergebnisse aus Baden-Württemberg (März 2006)

Zum mobilen Einsatz an beliebigen Orten, an denen Strahlenschutzmessungen der Atemluft und Ortsdosisleistungsmessungen durchgeführt werden sollen, wurden von der Landesanstalt für Umwelt, Messungen und Naturschutz Baden-Württemberg in den vergangenen Jahren mobile, on-line messende Gammaskpektrometer entwickelt, die mit einer eigenen Stromversorgung, meteorologischen Messkomponenten für Windrichtung, Windgeschwindigkeit und Strahlungsbilanz sowie Datenübertragungseinrichtungen versehen sind. Diese sind auf einem PKW-Anhänger untergebracht und können für mehrere Tage autark am ausgewählten Messort belassen werden.

Inzwischen stehen 3 derartige mobile Stationen zur Verfügung.

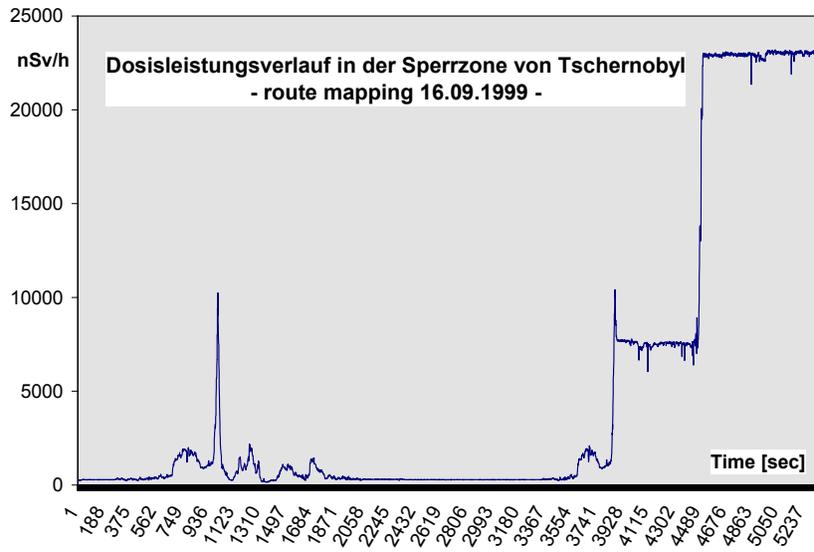
Ortsdosisleistungs- sonden mit Messwertübermittlung durch Datenfunk



Dipl.-Phys. Alfred Neu: Messung der Umweltradioaktivität: Technik und Ergebnisse aus Baden-Württemberg (März 2006)

Eine ähnliche Entwicklung hin zum mobilen und flexiblen Einsatz erfuhren auch die Messgeräte zur Erfassung der Ortsdosisleistung. Die heute eingesetzten Sonden enthalten eine eigene Stromversorgung, ein Modul zur regelmäßigen Messwertübertragung mittels Datenfunk und ein GPS-Modul zur Verfolgung des jeweiligen Sondenstandorts. In Baden-Württemberg ersetzen diese Sonden etwa zur Hälfte die älteren Messsonden bei den Kernkraftwerksstandorten mit leitungsgebundener Datenübertragung.

Bei einem stündlichen Datenübertragungsrhythmus sind die Sonden mit Datenfunk 3 Jahre wartungsfrei zu betreiben. Mit 2 Datenempfängern auf dem Königstuhl bei Heidelberg und auf dem Feldberg kann praktisch das gesamte westliche Gebiet von Baden-Württemberg abgedeckt werden.



Dipl.-Phys. Alfred Neu: Messung der Umweltradioaktivität: Technik und Ergebnisse aus Baden-Württemberg (März 2006)

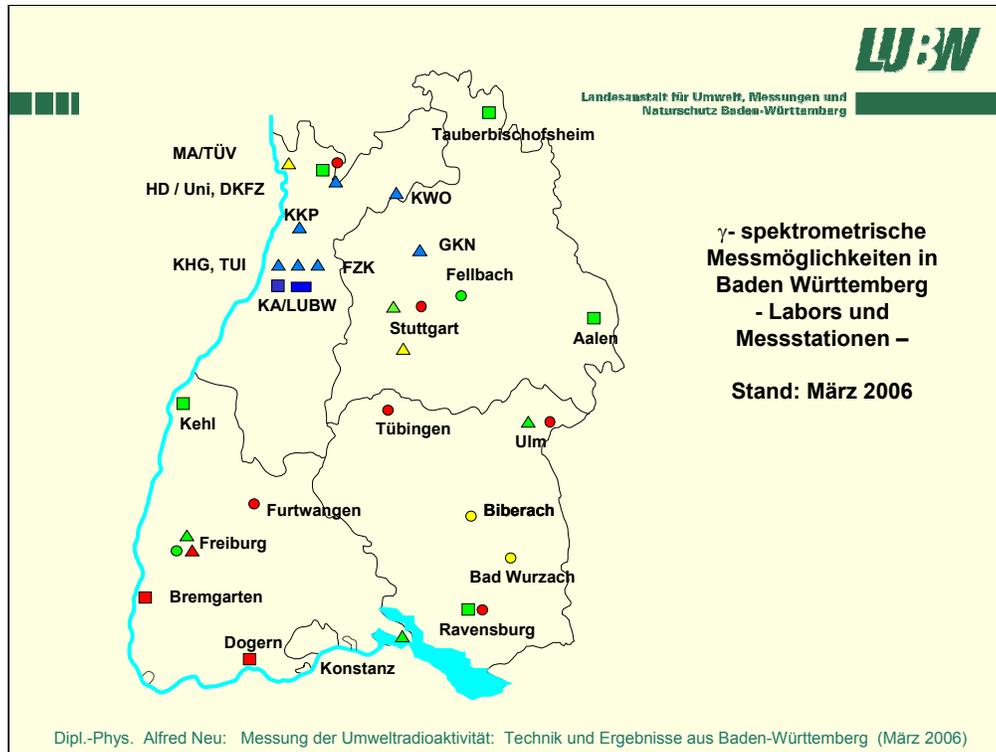
Moderne Ortsdosisleistungsmessgeräte erlauben die Aufzeichnung von Messwerten und manche auch die räumliche Zuordnung von Dosisleistungspegeln zur gefahrenen Route. Das gezeigte Diagramm wurde 1999 in der Sperrzone von Tschernobyl aufgezeichnet.

Erkundungskraftwagen der Feuerwehr BW - Dosisleistungsmessung -



Dipl.-Phys. Alfred Neu: Messung der Umweltradioaktivität: Technik und Ergebnisse aus Baden-Württemberg (März 2006)

Blick in ein speziell ausgerüstetes Feuerwehrfahrzeug zumerspüren von Strahlenquellen und chemischen Schadstoffen. (sog. Erkundungskraftwagen) – Hiervon gibt es in Baden-Württemberg knapp 40 Fahrzeuge, die vom Bund einheitlich ausgestattet wurden.



Diese Abbildung zeigt, wo in Baden-Württemberg gammaspektrometrische Messmöglichkeiten bestehen. (Erläuterungen auf der nächsten Abbildung)

Es ist ein Netz von bundeseigenen und landeseigenen Messstellen, privaten (z.B. der Kernkraftwerke) und von öffentlich rechtlichen Organisationen wie Forschungseinrichtungen.

Die Landesmessstellen sind selbständig agierende Partner in dem im Jahr 2005 beschlossenen Kompetenzzentrum Strahlenschutz und dort mit anderen Fachbehörden zusammengeschlossen.

γ - spektrometrische Messmöglichkeiten in Baden Württemberg

Erläuterungen

Messinstitution/Messort und Medium

- ▲ Bundesamt für Strahlenschutz/ IAR: Luft und Bodenkontamination
- CVUA: Lebensmittel- Düngemittel- und Futtermittelproben
- ▲ Deutscher Wetterdienst: Luft und Bodenkontamination
- Freie Messstellen: Wildbret
- ▲ Kernkraftwerke, sonstige kerntechnische Einrichtungen:
Betriebs- und Umweltproben
- LUBW: Luft an ortsfesten Messstationen
- LUBW-Dienststelle: Messlabor für verschiedenartigste Proben
- LUBW: Luft bei ortsfesten Messstationen mit Alarmierungsfunktion
- LUBW: Luft mit mobiler Station, incl. Alarmierungsfunktion
- ▲ TÜV: Betriebs-, Produkt- und Umweltproben
- Universitäten / Fachhochschulen: Einzelproben

außerdem **mobil**: KHG und LUBW: Luft und Bodenkontamination