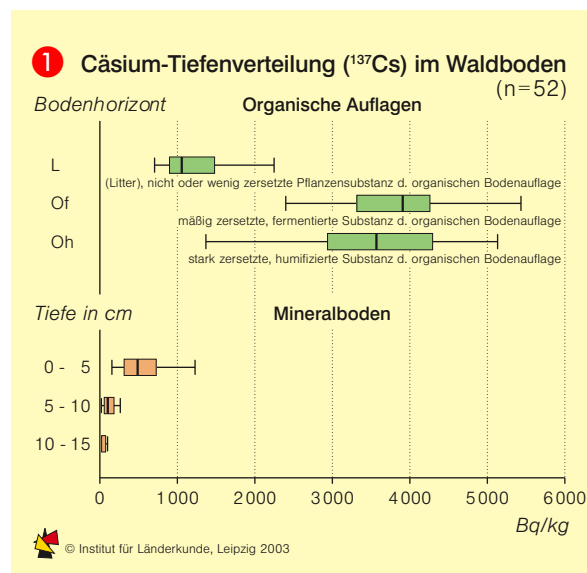


Bodenbelastung durch Radionuklide

Jörg Völkel



Bq, Becquerel – Maßeinheit für die Aktivität einer radioaktiven Substanz; 1 Bq = ein radioaktiver Zerfall pro Sekunde

Fallout – Eintrag radioaktiver Substanzen auf die Erdoberfläche sowie auf Pflanzen etc.

Halbwertszeit (HZ) – die Zeit, nach der die Hälfte einer bestimmten Zahl von radioaktiven Atomkernen zerfallen ist (physikalische HZ)

konvektiv – an vertikale Luftbewegungen gebundener Niederschlag

Sorbenten – Träger, die einen Stoff oder eine Strahlung aufnehmen

Washout – beschleunigter Eintrag radioaktiver Substanzen auf die Erdoberfläche sowie auf Pflanzen etc. durch Niederschlag

Radionuklide unterliegen als instabile Isotope dem radioaktiven Zerfall und treten als natürliche Bestandteile der **Lithosphäre** und der **Atmosphäre** in die **Pedosphäre** ein. Neben dem Kalium-Isotop ⁴⁰K, dem Rubidium-Isotop ⁸⁷Rb und beispielsweise auch dem radioaktiven Kohlenstoff ¹⁴C sind anhand messbarer Strahlung Isotope der Uranzerfallsreihe (²³⁸U) sowie der Thoriumzerfallsreihe (²³²Th) nachweisbar.

Künstliche Radionuklide werden von Atomwaffen und insbesondere in Störfällen von kerntechnischen Anlagen freigesetzt. Sie gelangen über atmosphärischen **Fallout** oder im Umfeld kerntechnischer Anlagen über die Gewässer in die Umwelt. Atomwaffentests haben an längerlebigen künstlichen Radionukliden unter anderem Strontium (⁹⁰Sr) und Cäsium (¹³⁷Cs) in größeren Mengen in die Böden eingetragen. Der Reaktorunfall im ukrainischen Kernkraftwerk Tschernobyl vom 26. April 1986 hat den Böden in Deutschland an längerlebigen Beta- beziehungsweise Gamma-

strahlern vor allem Cäsium-Isotope (¹³⁴Cs, ¹³⁷Cs) in regional unterschiedlichem Maß zugeführt. Größere Mengen an Alphastrahlern wie Plutonium (²³⁸Pu, ²³⁹⁺²⁴⁰Pu) sind in der natürlichen Umwelt kraft ihres geringen Durchdringungsvermögens radioökologisch unbedeutend. Andere künstliche Radionuklide treten nur in geringeren Mengen im Boden auf oder sind aufgrund geringer **Halbwertszeiten** (HZ) heute in den Böden nicht mehr nachweisbar.

Natürliche Radionuklide in Böden

Das in Böden häufigste natürliche Radionuklid ist ⁴⁰K. Es stammt aus dem stabilen Kalium, das in fast allen silikatischen Mineralen in größeren Mengen vorhanden ist. Vor allem Granite enthalten viel ⁴⁰K. Als Makronährelement ist der Kaliumgehalt der Böden ein Indiz für den Nährstoffgehalt. In nährstoffreichen Böden mit guter Kaliumversorgung bestehen 0,012% des Gehaltes an stabilem Kalium aus radioaktivem ⁴⁰K. In der Landwirtschaft werden zudem Kalidünger eingesetzt, die den ⁴⁰K-Gehalt der Böden erheblich über den ursprünglichen Gehalt steigern lassen können. Über Phosphatdünger, die aus phosphatreichen Gesteinen mit naturgegeben hohen Urangelhalten erzeugt werden, gelangt zudem Uran in die Ackerböden.

Ebenfalls in Böden sowie in allen Organismen vorhanden ist das natürliche Radionuklid ¹⁴C, welches in der Atmosphäre über kosmische Strahlung aus dem Stickstoff-Isotop ¹⁴N entsteht. Aufgrund seiner vergleichsweise kurzen Halbwertszeit von 5700 Jahren reichert sich radioaktiver Kohlenstoff in der Litho- und Pedosphäre nur in geringem Maße an und ist für die Darstellung der Umgebungsstrahlung weniger erheblich. Eine bedeutende Rolle kommt Kohlenstoff-Isotopen im Rahmen von Altersdatierungen im Rahmen quartärgeowissenschaftlicher und archäologischer Fragestellungen zu. Organismen reichern über den Stoffwechsel ¹⁴C zum Beispiel in Knochen oder im Holz an. Mit ihrem Absterben wird kein weiteres ¹⁴C eingelagert und über den radioaktiven Zerfall tickt die ¹⁴C-Datierungsuhr.

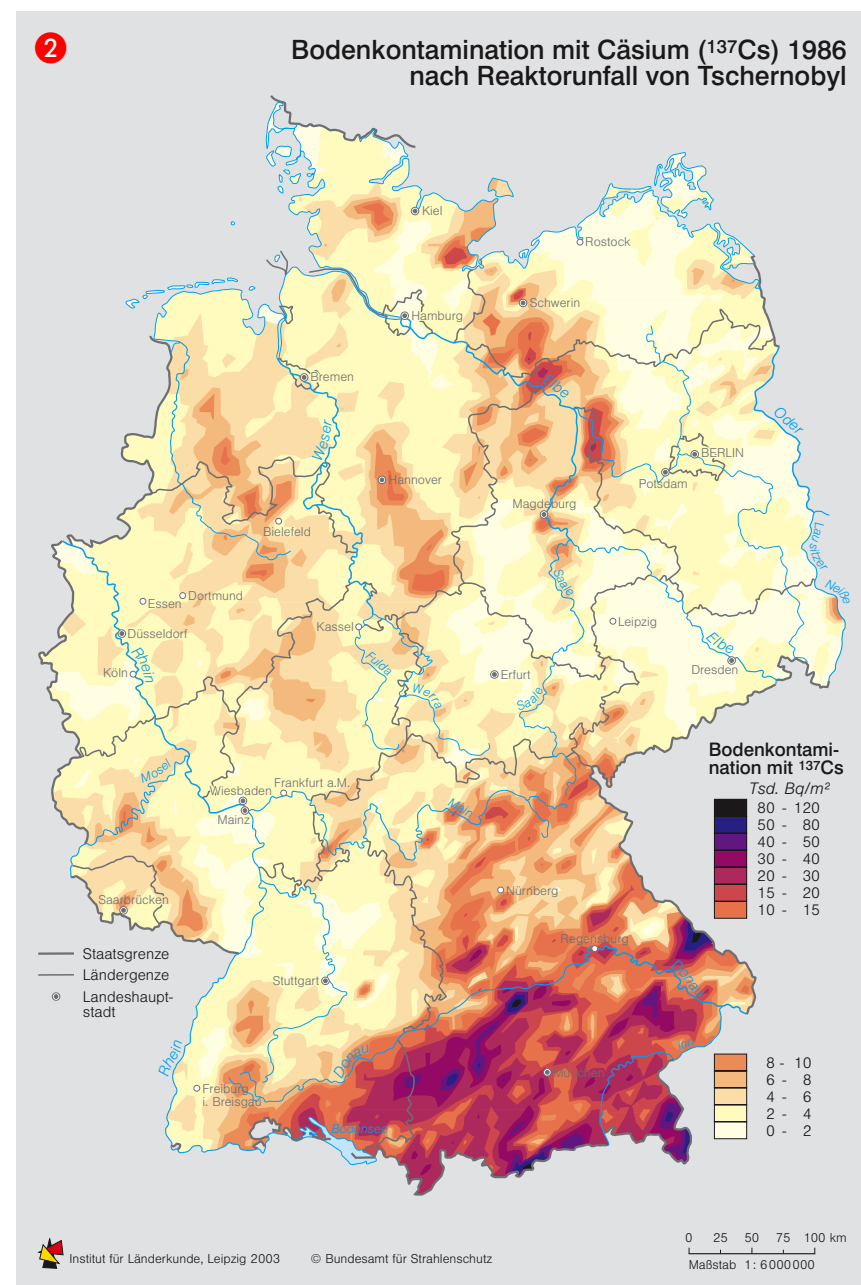
Die Zerfallsreihen von Actinium, Thorium und Uran setzen das Edelgas Radon frei. Alle Isotope des Radons sind radioaktiv. Von ihnen hat das aus der Uranzerfallsreihe vom Radium (²²⁶Ra) freigesetzte Isotop ²²²Rn mit 3,824 Tagen die längste Halbwertszeit. Kristalline Massengesteine und hier vor allem Granite, wie sie in zahlreichen Mittelgebirgen auftreten, enthalten die größten Mengen dieses Isotops. Radioökologisch relevant ist Radon vor allem

auch im Umfeld uranhaltiger Erzlagerstätten wie in den ehemaligen Uran-Bergbaugebieten Sachsens und Ostthüringens. Das kurzlebige Radon gelangt in den Boden und zerfällt wiederum in längerlebige radioaktive Tochteratome wie das Blei-Isotop ²¹⁰Pb und das Polonium-Isotop ²¹⁰Po. Diese lagern sich im Bodenbereich unter anderem an **Aerosole** an und treten in die bodennahe Atmosphäre über. Ein radioökologisches Problem erwächst daraus zunächst nicht. In Granitgebieten Ostbayerns und andernorts kann sich Radon jedoch vor allem in Wohnhäusern mit unzulänglich fundamentierten Kellerräumen anreichern. Das gilt auch generell für geschlossene Gebäude, in denen zum Beispiel ein Granitpflaster verbaut wurde. Die natürliche **geogene** Strahlenbelastung, welche vom Radon ausgehen kann, wurde bundesweit er-

fasst und in einer Karte zur potenziellen Radonkonzentration in der Bodenluft dargestellt **3**. Entsprechende Vorschriften zum Schutz von Altbauten und zum Neubau von Gebäuden in radonreichen Gebieten wurden erlassen.

Künstliche Radionuklide in Böden

Natürliche Radionuklide verursachen eine ständige Hintergrundstrahlung, die zusammen mit der Strahlung aus dem Weltall die Pedo- und Biosphäre beeinflusst. Hinzu kommen künstliche Radionuklide, die seit dem Einsatz von Atomwaffen und kerntechnischen Anlagen global in steigenden Mengen in den Böden zu finden sind. Der Fallout der Atomwaffentests vor dem Sperrvertrag zwischen den USA, der UdSSR und Großbritannien von 1963 ist heute noch weltweit in den Böden nachweis-

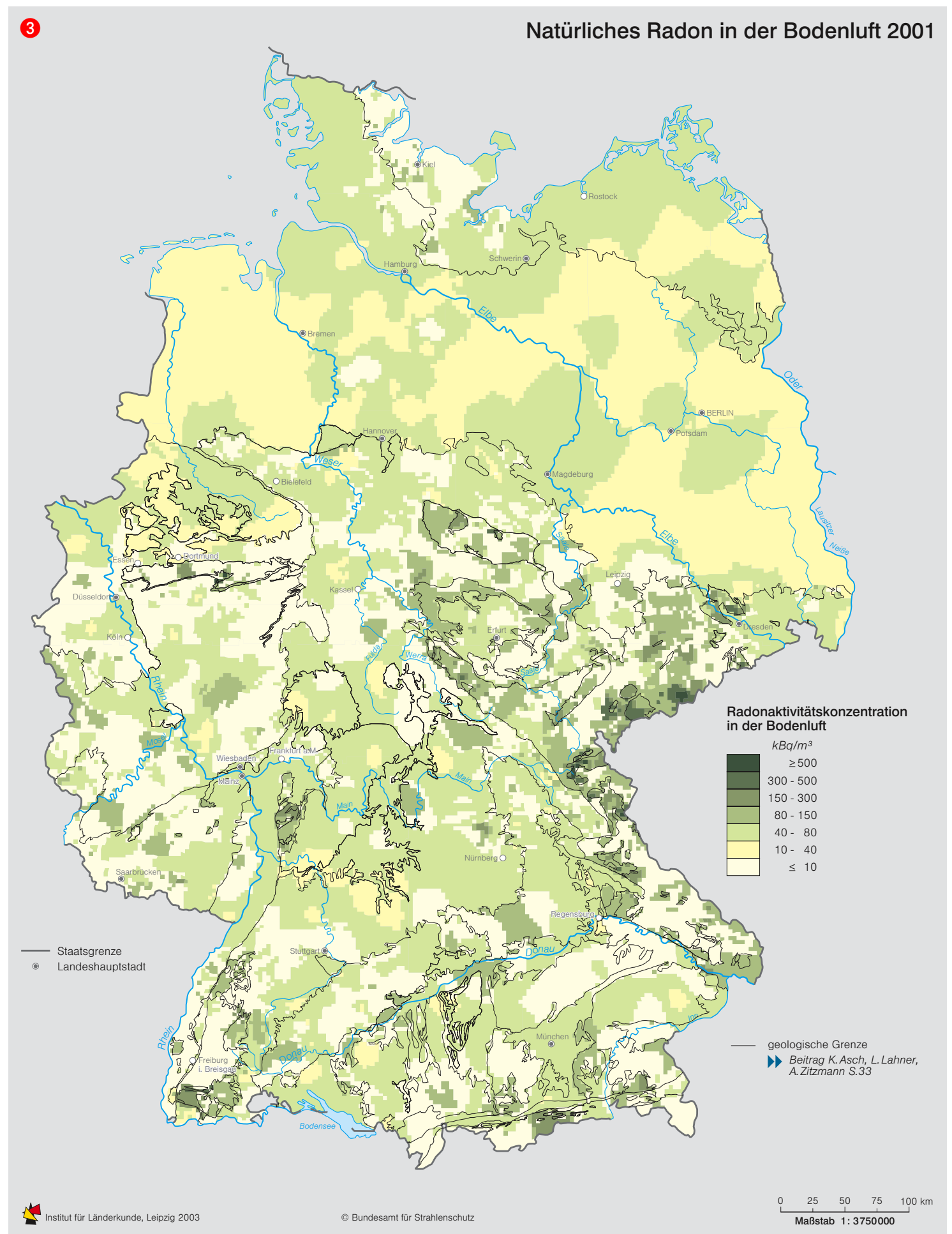


bar. Während sich das vergleichsweise langlebige künstliche Radionuklid Tritium (^3H , HZ 12,3 Jahre) im Grund- und Trinkwasser nachweisen lässt, reichert es sich in Böden nicht an. Es sind vor allem Cäsium-Isotope (^{134}Cs , HZ 2,1 Jahre, ausschließlich aus Tschernobyl-Fallout, und ^{137}Cs , HZ 30,2 Jahre, aus Kernwaffentests, kerntechnischen Anlagen, Tschernobyl-Fallout), die ein bodenökologisches Problem darstellen können.

In Deutschland hat der Reaktorunfall von Tschernobyl zu einer erhöhten Kontamination der Böden mit künstlichen Radionukliden geführt. Neben der Zugbahn der radioaktiven Wolke, die in unmittelbarer Folge des Reaktorbrandes entstand, steuerten über den atmosphärischen **Washout** vor allem die Witterungsverhältnisse und das überwiegend **konvektive Niederschlagsgeschehen** die Depositionsmengen tschernobylbüriger Radionuklide. Gebiete höherer Belastung liegen insbesondere in Süddeutschland. Konvektive Niederschlagszellen waren auch für die Verteilungsmuster in Norddeutschland verantwortlich **2**.

Radioaktives Cäsium in Böden Deutschlands kann ein radioökologisches Problem darstellen, denn Cäsium ist dem Kalium chemisch analog. Kalium wiederum ist ein wichtiges Hauptnährelement, das in Böden naturbelasener Ökosysteme wie Wäldern bereits aufgrund der natürlichen Bodenversauerung ein Mangelfaktor ist. Im Zuge der Nährstoffaufnahme nehmen die Pflanzenwurzeln auch Cäsium auf. Als vermeintliches Nährelement wird es unter anderem in den Speicherorganen eingelagert und angereichert. Mit Absterben der Biomasse wie bereits in Form des jährlichen Laubfalls werden dem Boden alle Nährstoffe und auch die angereicherten künstlichen Radionuklide zurückgegeben. Im Boden erfolgt eine Bindung an reaktionsfreudige **Sorbenten** wie an die organische Substanz der humusreichen Oberböden. Hier liegen die Nährstoffe und auch das radioaktive Cäsium in pflanzenverfügbarer Form systembedingt wieder zur Neuaufnahme durch die Vegetation vor. Während ^{134}Cs aufgrund seiner Halbwertszeit in den Böden heute nunmehr kaum noch nachweisbar ist, wird das längerlebige ^{137}Cs sowohl von den Böden als auch von den Ökosystemen aktiv vor einer Auswaschung geschützt und zurückgehalten.

Auch 15 Jahre nach Deposition infolge des Tschernobyl-Fallouts findet keine nennenswerte Tiefenverlagerung von Cäsium statt. ^{137}Cs des Tschernobyl-Fallouts hat die für die Nährstoffversorgung der Forstökosysteme relevanten



Oberböden nicht verlassen **1**. Sogar das von den oberirdischen Atomwaffentests vor 1963 freigesetzte ^{137}Cs ist mehr als 40 Jahre nach seiner Deposition nach wie vor in den Hauptwurzelhorizonten der Böden nachweisbar (Tiefenstufe >15 cm), allerdings in insgesamt sehr geringen Anteilen von etwa 2% an den Gesamtaktivitäten. In naturbelas-

enen Ökosystemen erhalten sich künstliche Radionuklide wie ^{137}Cs über viele Jahrzehnte nach ihrer Deposition. Auf Ackerflächen hingegen haben im Falle des Tschernobyl-Fallouts bereits wenige Jahre später Ernteentzug, mechanische Bodenbearbeitung und nicht zuletzt auch Bodendüngung zu Verlust, Verdünnung und Tiefenverlagerung des länger-

lebigen ^{137}Cs geführt. Ein bodenökologisches Problem besteht dort nicht mehr. Auch in den Waldböden sind die hier diskutierten Radionuklidkonzentrationen zu gering, um im Falle einer Verlagerung aus den Oberböden tiefere Bodenschichten oder sogar Sicker- und Grundwasser aus radiohygienischer Sicht zu kontaminieren. ♦