

4 Überwachungsergebnisse 1996/97

4.1 Landesweite Überwachung

aus natürlichen Quellen: K-40 sowie die Zerfallsreihen des Thorium und des Uran.

4.1.1 Boden

Der Boden ist das zentrale Medium aller landwirtschaftlichen Produktion. Im Boden enthaltene Stoffe können, z. T. über Zwischenstufen, auch in unsere Nahrung gelangen. Die in Böden nachweisbare Radioaktivität stammt überwiegend

Künstliche Radioaktivität wurde in die Böden im wesentlichen aus zwei Quellen eingetragen:

- Tschernobylunfall Mai 1986: innerhalb weniger Tage.
- Fallout der oberirdischen Kernwaffenversuche:

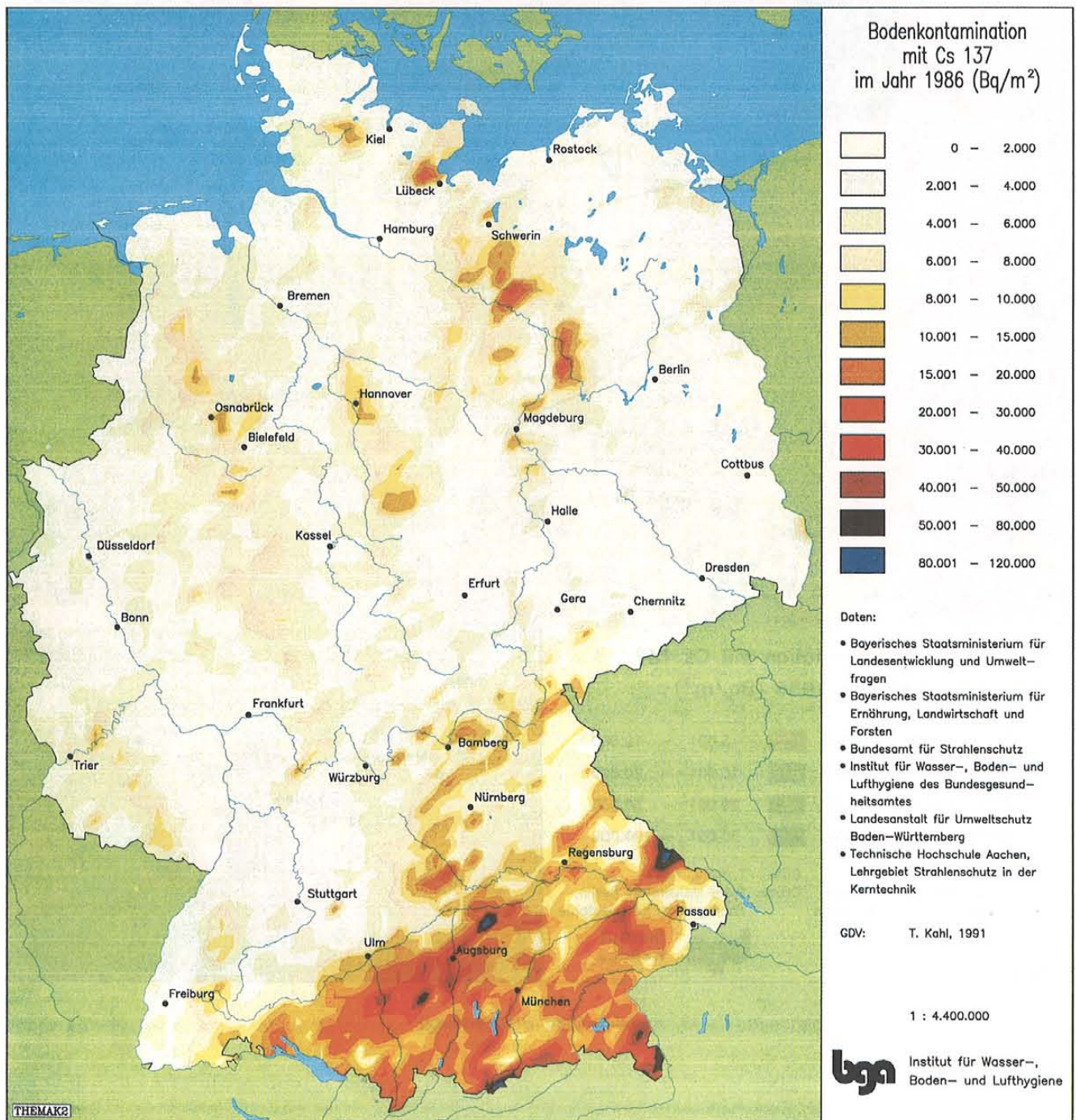


Abb. 12: Bodenkontamination mit Cs-137 im Jahre 1986 (BRD)

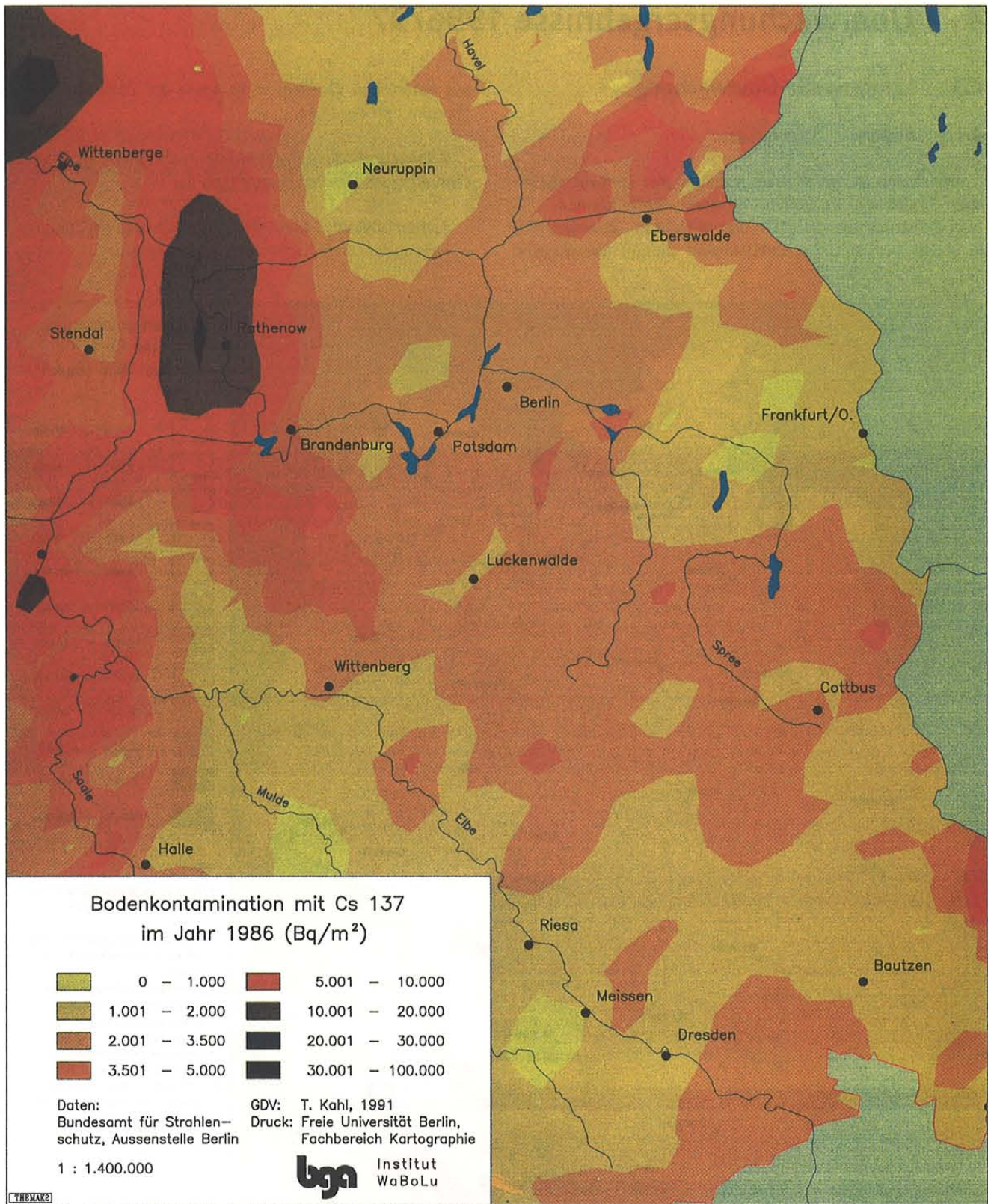


Abb. 13: Bodenkontamination mit Cs-137 im Jahre 1986 (Brandenburg)

über mehrere Jahre andauernd, Höhepunkt Anfang der 60er Jahre,

Die Aktivität des Kernwaffenfallout ist heute noch in Form der langlebigen Nuklide Sr-90 und Cs-137 (je etwa 30 Jahre Halbwertszeit) nachweisbar. Ihre flächenhafte Verteilung hängt vor allem von der mittleren Niederschlagsmenge ab und kann für das Brandenburger Gebiet deshalb als annähernd gleichmäßig angenommen werden.

Anders beim Eintrag aus Tschernobyl: Die Aktivitätsverteilung über die Fläche ist hier durchaus inhomogen. Das hat seinen Grund in der lokal unterschiedlichen Wettersituation während des Durchzugs der radioaktiven Wolken; Regen führte zu erhöhten Ablagerungen. Ferner war der Radioaktivitätsgehalt in der Luft auch regional verschieden. Der Eintrag von Sr-90 aus Tschernobyl ist gegenüber der Fallout-Vorbelastung vernachlässigbar gering. Die verbliebene längerlebige Aktivität besteht hier aus Cäsium-134 (Cs-134) (2 Jahre Halbwertszeit), welches bereits häufig nicht mehr nachgewiesen wird, und wiederum aus Cs-137.

Somit besteht der dominierende Anteil künstlicher Radioaktivität in Böden aus Cs-137, und man kann eine Aussage über dessen anteilige Herkunft aus den beiden o. g. Quellen machen. Dies wird ermöglicht durch die Tatsache, daß Cs-134 im Kernwaffenfallout nicht vorhanden war (es entsteht in Kernreaktoren, nicht aber bei Kernwaffenexplosionen). Da das Verhältnis von Cs-137 zu Cs-134 in der Tschernobylwolke bekannt ist, läßt sich über die unterschiedlichen Halbwertszeiten auch für einen späteren Zeitpunkt ein „Soll“-Verhältnis berechnen. Tatsächlich findet man stets einen Überschuß von Cs-137 über dieses „Soll“-Verhältnis hinaus – das ist der Anteil aus dem Kernwaffenfallout.

Den auf diese Weise zurückgerechneten Cäsium-Eintrag aus Tschernobyl zeigen die Abbildungen 12 und 13 (Seite 13 und 14). Deutlich sind zwei lokal begrenzte Gebiete mit erhöhten Cäsiumablagerungen im westlichen Havelland und in der Westprignitz erkennbar. Den Karten liegen Daten des Bundesamtes für Strahlenschutz zugrunde.

4.1.1.1 Weide- und Ackerböden

In ungestörten, d. h. nicht umgebrochenen Böden findet eine Verlagerung des eingetragenen radioaktiven Cäsiums in die Tiefe nur sehr langsam – meist weniger als 1 cm/Jahr – statt. Die Beprobung von Weideböden erfolgt in der oberen Bodenschicht von 0-15 cm, in der sich der überwiegende Teil der künstlichen Radioaktivität befindet. Bei Ackerböden spielt die Beprobungstiefe wegen der Vermischung durch Umpflügen keine wesentliche Rolle. Die Beprobung findet einmal jährlich an 90 Ackerbodenstandorten und 47 Dauergrünlandflächen statt. Die Meßergebnisse für ausgewählte Beprobungspunkte sind in den Abbildungen 14 und 15 dargestellt.

Es zeigt sich zum einen der überwiegende Anteil natürlicher Radioaktivität in den Böden; zum anderen zeichnen sich

die stärker mit Cäsium beaufschlagten Gebiete deutlich ab. Das Nuklid Cs-134 wird nur noch in wenigen Proben nachgewiesen, da der Tschernobylunfall bereits mehr als fünf Halbwertszeiten zurückliegt. Sr-90-Analysen wurden nicht an allen Orten vorgenommen, es zeigt sich eine gleichmäßig geringe Belastung. An natürlich radioaktiven Stoffen sind neben K-40 auch Radionuklide aus der Uran-Radium-Zerfallsreihe, z. B. Blei-214 (Pb-214) sowie aus der Thorium-Zerfallsreihe, z. B. Blei-212 (Pb-212), nachweisbar.

Die Pflanzenverfügbarkeit vor allem des radioaktiven Cäsium ist auf landwirtschaftlichen Böden nur sehr gering, da Cäsium stark an Bodenmineralien fixiert wird. Dies wird an den entsprechenden Meßergebnissen von Nahrungs- und Futterpflanzen (Kap. 4.1.2 und 4.1.4) deutlich.

4.1.1.2 in-situ-Gammaspektrometrie

Neben der Aufnahme über Pflanzenwurzeln spielen die im Boden vorhandenen radioaktiven Stoffe eine Rolle als Ursache der vom Erdreich ausgehenden sog. terrestrischen Gammastrahlung. Diese läßt sich mit entsprechender Meßtechnik (s. Abb. 11) an Ort und Stelle (in situ) bestimmen und hinsichtlich der Anteile der einzelnen Radionuklide differenzieren. Die in-situ-Gammaspektrometrie ist auch eine sehr wichtige Schnellmeßmethode zur Ermittlung von Art und Menge der am Erdboden und dem Bewuchs abgelagerten Radioaktivität im Fall eines nuklearen Ereignisses. Die Daten können deshalb direkt vom Meßort über Funktelefon an die Leitstelle abgesetzt werden.

Jährlich einmal erfolgen „Nullpegelmessungen“ auf solchen Standorten, von denen auch Weidebodenproben für das Labor entnommen werden, insgesamt an 47 Orten. Entsprechend dem Einsatzzweck sind die Meßsysteme auf die Erfassung von unfallbedingt an der Bodenoberfläche frisch abgelagerter Radioaktivität ausgerichtet. Die Darstellung der derzeit erhobenen „Hintergrundwerte“ ist ohne aufwendige Umrechnung nicht sinnvoll, weswegen an dieser Stelle darauf verzichtet wird.

4.1.2 Weide- und Wiesenbewuchs, Futter, Indikatorpflanzen

Zu einer vollständigen Überwachung der menschlichen Nahrungskette ist auch die Einbeziehung von Futterpflanzen erforderlich. Eine besonders wichtige Rolle spielt hier das Weidengras. Es ist fast das ganze Jahr flächendeckend verfügbar, und man kann mit seiner Untersuchung die Menge der auf dem Bewuchs abgelagerten Radioaktivität im Fall eines nuklearen Ereignisses abschätzen. Beprobung wird auf den gleichen Flächen, auf denen auch in-situ-gammaspektrometrische Messungen erfolgen.

Weitere untersuchte Futterarten sind Mais, spezielle Futtergetreide, wie z. B. Triticale, sowie je nach Aufkommen diverse Grünfütter, Futterkartoffeln und -rüben.

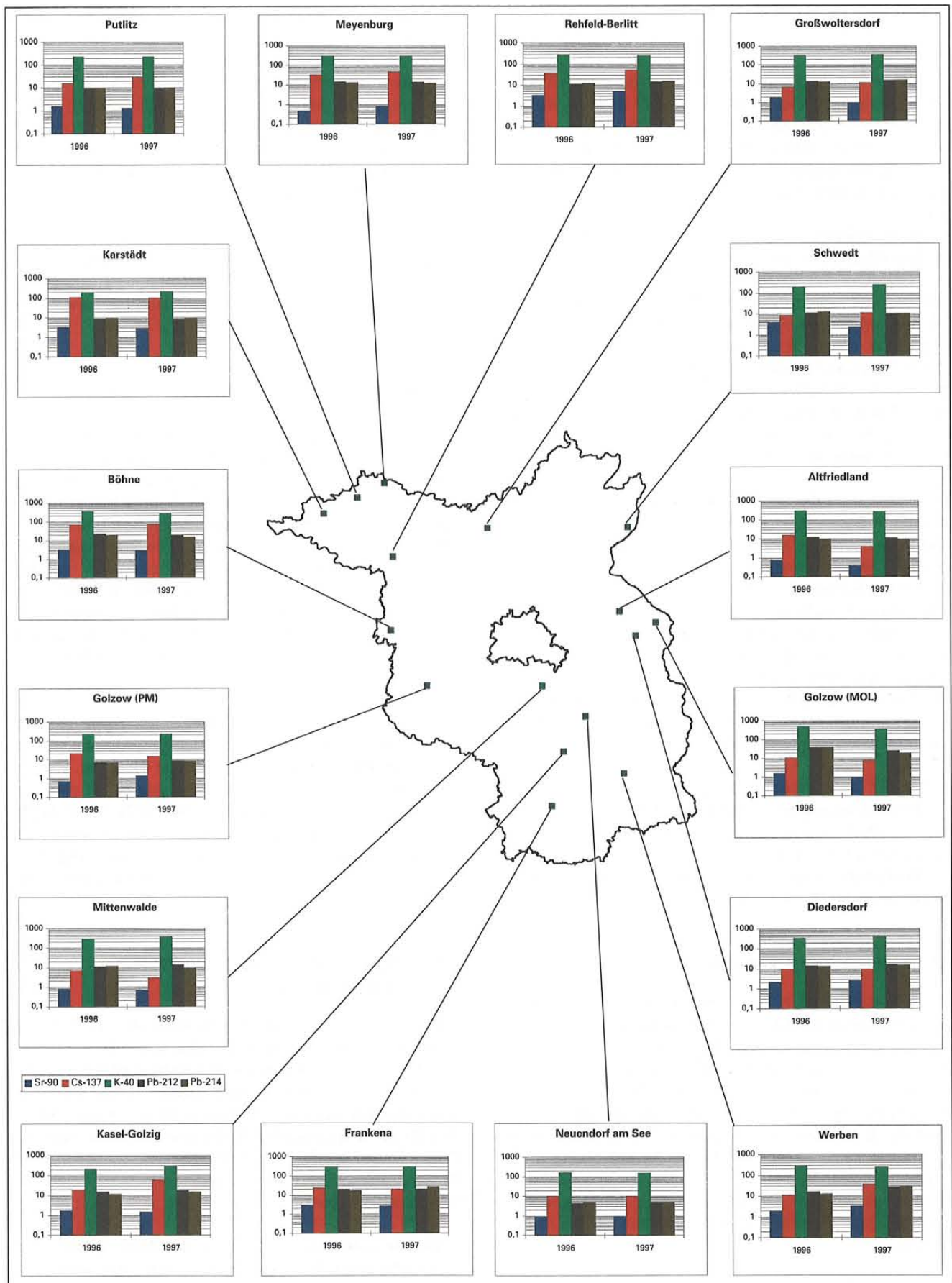


Abb. 14: Radioaktivität in Grünlandböden (Bq/kg TM)

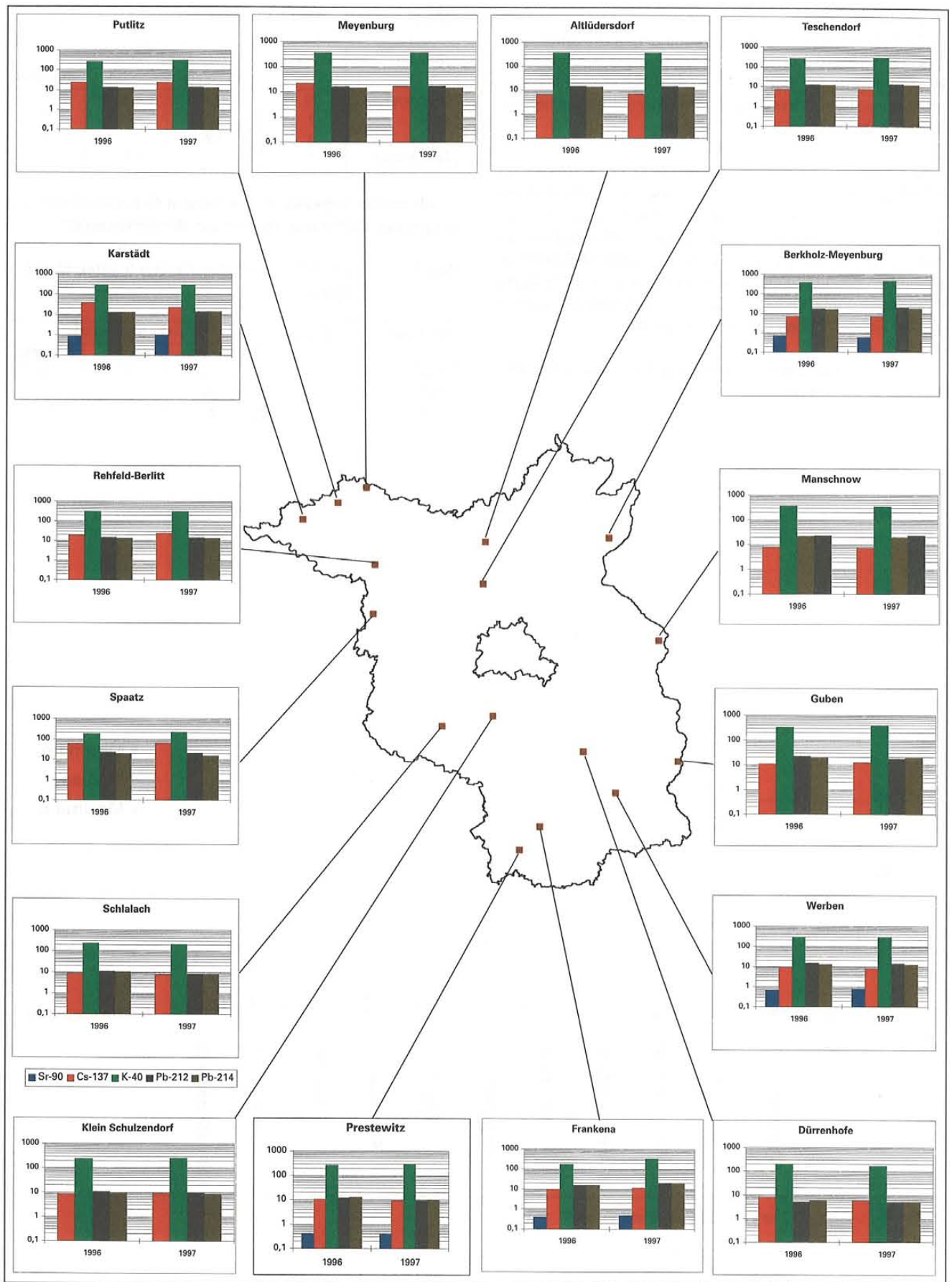


Abb. 15: Radioaktivität in Ackerböden (Bq/kg TM)

Im Unterschied zu Lebensmitteln werden die Meßergebnisse für Futterpflanzen nicht auf Frischmasse (FM) sondern auf Trockenmasse (TM) bezogen und liegen deshalb aufgrund des Wasserverlustes bei Trocknung relativ höher. Hinsichtlich einer möglichen Strahlenbelastung sind die derzeit ermittelten Radioaktivitätsgehalte zu vernachlässigen.

Der Streubereich der Cäsiumgehalte ist im Weidegras am höchsten; eine Korrelation mit den lokal unterschiedlich hohen Cäsiumablagerungen aus Tschernobyl (Kap. 4.1.1) ist jedoch nicht zu erkennen. Möglicherweise spielen statt dessen Bodenartunterschiede eine Rolle. Etwa 1/4 der Meßwerte liegen unter der geforderten Nachweisgrenze von 0,5 Bq/kg (TM). Beim ähnlich häufig beprobten Grünmais war sogar in nur ca. 1/3 der Proben Cs-137 nachweisbar.

Neben der Cäsiumbestimmung wurden ausgewählte Proben auf Sr-90 untersucht:

Tab. 3: Sr-90 in Futterpflanzen

Medium	Proben	Sr-90 Bq/kg (TM)		
		Minimum	Median	Maximum
Weidegras	13	0,8	2,1	5,1
Mais	3	1		1,4
Lupine	2	1,9		2,0
Futtererbsen	1		2,1	

Als weitere Indikatormedien werden Gras ohne Futternutzung sowie Blätter bzw. Nadeln von Bäumen beprobt:

Tab. 4: Cs-137 in Indikatorpflanzen (Blätter, Nadeln, Gras)

Medium	Proben	Cs-137 Bq/kg (TM)		
		Minimum	Median	Maximum
Gras	16	< 0,33	2,7	20
Blätter	15	5,6	14	32
Nadeln	8	2	14	114

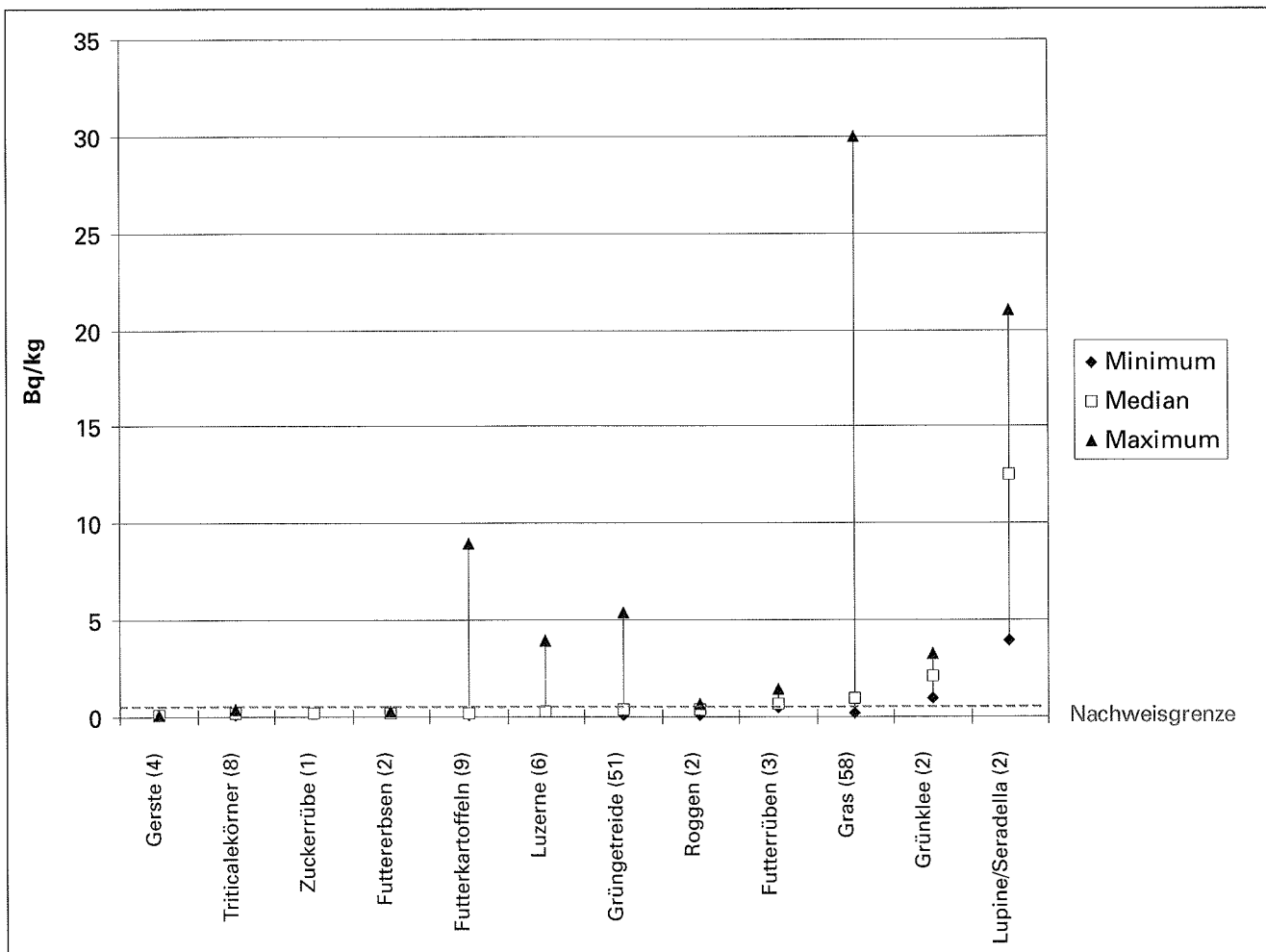


Abb. 16: Cs-137 in Gras und anderem Futter

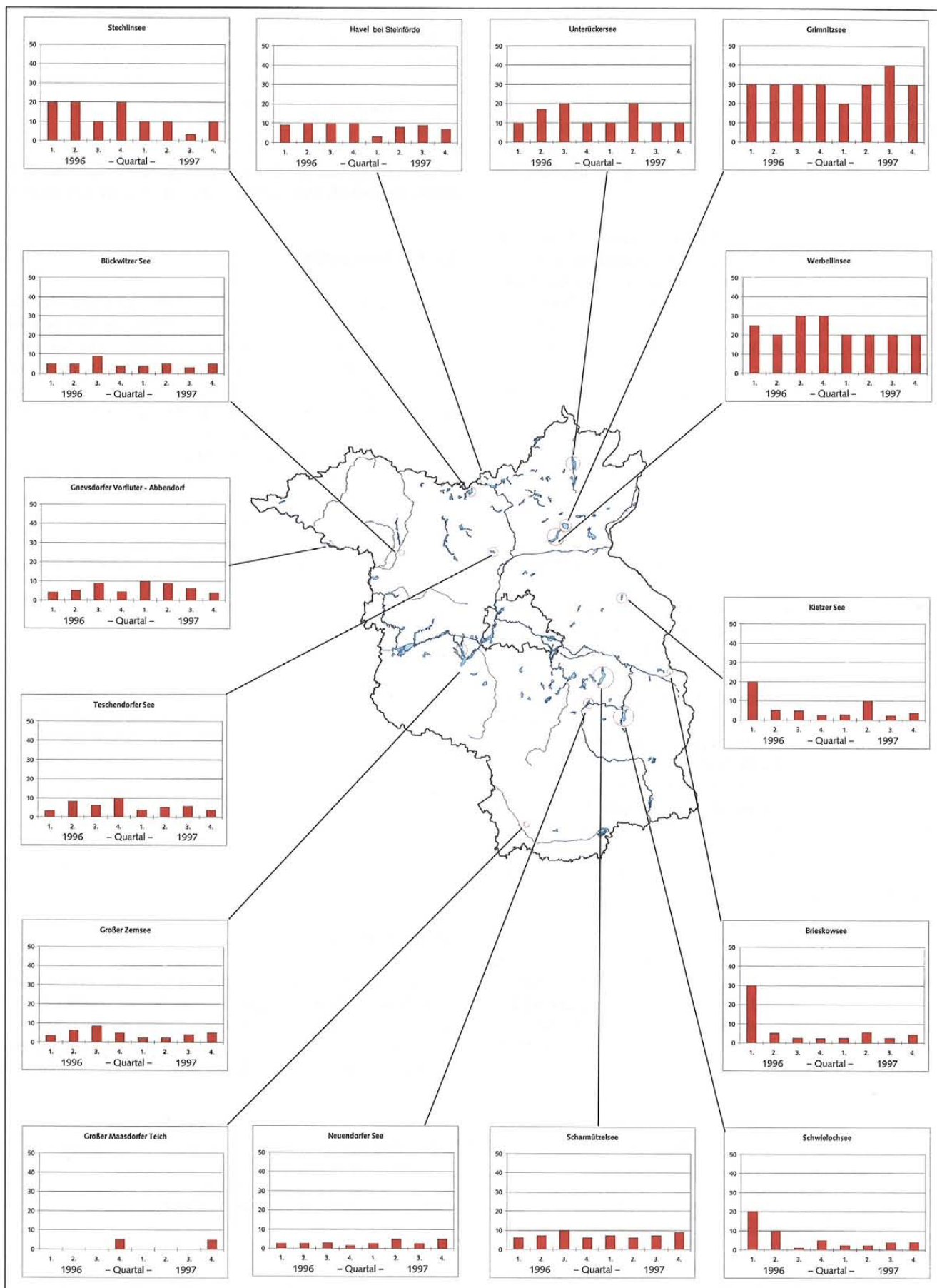


Abb. 17: Cs-137 in Gewässern (mBq/l)

4.1.3 Gewässer

Radioaktive Stoffe in Gewässern können potentiell auf verschiedenen Wegen zur Strahlenbelastung des Menschen beitragen. Neben dem Verzehr von Fischen zählen dazu die Nutzung des Wassers zur Trinkwassergewinnung oder zur Bewässerung landwirtschaftlicher Flächen, die Nutzung bzw. Verbringung von Gewässersediment sowie der Aufenthalt am und im Wasser.

Dementprechend sieht das Routinemeßprogramm die Untersuchung verschiedener Medien aus aquatischen Ökosystemen vor. Brandenburg ist ein gewässerreiches Land. Neben reinen Fließgewässern und Gewässern ohne oberflächige Zu- und Abflüsse finden sich eine Vielzahl von Seen, die einerseits Bestandteil von Fließgewässern (z. B. Spree und Havel) sind, andererseits aber wegen ihrer großen Ausdehnung auch Merkmale stehender Gewässer aufweisen. Beprobte werden durch die Strahlenmeßstellen insgesamt 17 verschiedene Gewässer.

4.1.3.1 Wasser

Wasserproben werden als unfiltrierte Schöpfproben von der Oberfläche entnommen. Das Beprobungsintervall ist etwa 1/4-jährlich; in den Peitzer Fischteichen 1 x jährlich vor dem Entleeren im Herbst. Alle Proben werden auf Gammastrahler und Tritium untersucht. Von einigen Gewässern werden auch die Gehalte an Sr-90 sowie Uran und Plutonium untersucht.

Die Cäsiumkonzentrationen in den Wasserproben sind derart gering, daß sie nur noch nach einem erheblichen Aufwand bei der Probenaufbereitung nachgewiesen werden können. Die Nachweisgrenze des Verfahrens liegt bei ca. 8 Millibecquerel pro Liter (mBq/l). In durchflossenen Gewässern (Gr. Zernsee; Havel; Neuendorfer See; Spree) liegen die Werte zumeist darunter. Für eine Strahlenbelastung sind die gemessenen Konzentrationen nicht von Relevanz. Interessant sind jedoch die trotzdem signifikanten Unterschiede zwischen einzelnen Gewässern.

Neben der regional verschiedenen Höhe des Cäsiumeintrags durch den Tschernobylunfall (vgl. Abb. 13) dürften auch physikalische Faktoren wie Wasseraustauschrate, Verhältnis Volumen/Oberfläche und biologische Faktoren wie Nährstoffgehalt (Eutrophierungsgrad) und damit zusammenhängend Schwebstoffgehalt und Sedimentationsrate eine Rolle spielen.

Tab. 5: Sr-90, Uran, Plutonium in Oberflächengewässern

Gewässer	Sr-90 (mBq/l)			U-238 (mBq/l)		
	Minimum	Maximum	Mittel	Minimum	Maximum	Mittel
Neuendorfer See	1,0	8,0	5,8	2	<10	2,6
Stechlin	22	27	24	6	9	8
Havel bei Steinförde	6,3	9,3	7,9	4	7	5
Peitzer Hälterteich	7,0	8,0		4	5	

Tritium konnte im Berichtszeitraum in keiner Wasserprobe nachgewiesen werden (Nachweisgrenze ca. 6 Bq/l). Plutoniumisotope wurden gleichfalls nicht nachgewiesen.

Die Gehalte an Sr-90, U-238 (mBq/l) sind in der Tabelle 5 aufgeführt.

Die meisten Meßwerte liegen bereits unter der geforderten Mindestempfindlichkeit von 10 mBq/l für das Meßverfahren.

4.1.3.2 Schwebstoff

Schwebstoffe treten in Gewässern als organische Materie (lebend oder abgestorben) oder als anorganische Bestandteile (Tonminerale, im Gewässer gebildete Calcitkristalle) auf. Aufgrund des Bindungsvermögens der Schwebstoffe reichert sich eingetragenes Cäsium an und findet in dieser Form seinen weiteren Weg letztlich entweder in die Nahrung für höhere Lebewesen oder ins Gewässersediment. Die im Schwebstoff angereicherte Radioaktivität läßt sich im Vergleich zu der im Wasser einfacher meßtechnisch bestimmen. Sehr aufwendig ist jedoch die Probenahme; in wenig produktiven, nährstoffarmen (oligotrophen) Gewässern läßt sich die erforderliche Probenmasse mit vertretbarem Aufwand meist gar nicht sammeln. Deshalb wurden Schwebstoffe nur aus drei Gewässern beprobt.

Tab. 6: Cs-137 in Schwebstoffen

Gewässer	Probenahme	Cs-137 (Bq/kg TM)
Brieskower See	08.04.97	45
Gr. Zernsee	02.04.97	32
Gr. Zernsee	25.06.97	20
Gr. Zernsee	19.09.97	30
Gr. Zernsee	05.11.97	26
Scharmützelsee	22.05.97	10
Scharmützelsee	11.09.97	6,5
Scharmützelsee	22.10.97	22

4.1.3.3 Sediment

Am Gewässergrund lagern sich im Laufe der Zeit die aus dem Gewässerkörper abgesunkenen Schwebstoffe ab. Je nach Schwebstoffreichtum des Gewässers und Strömungsverhältnissen am fraglichen Punkt kann die Sedimentationsrate von Werten unter 1 mm/Jahr bis zum mehr als Zehnfachen

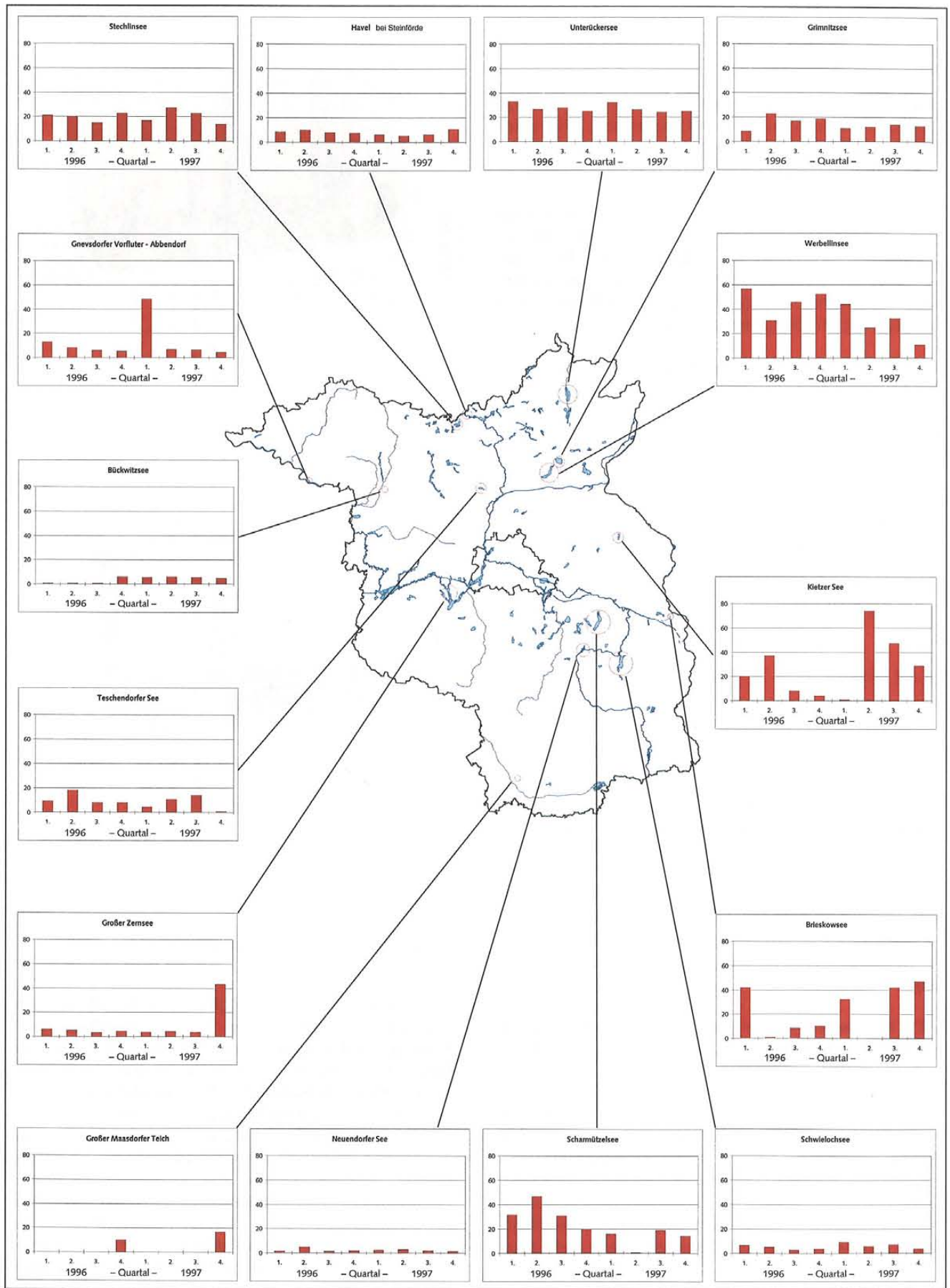


Abb. 18: Cs-137 in Sedimenten (Bq/kg TM)

variieren. In ein Gewässer eingetragenes Cäsium findet sich bereits nach wenigen Jahren relativ vollständig im Sediment wieder [Sä 1991].

Anhand der bekannten Zeiten der verschiedenen Einträge (Kernwaffenfallout Maximum 1963, Tschernobyl 1986) lassen sich durch aufwendige schichtweise Beprobung Alter der Sedimente bzw. Sedimentationsraten bestimmen [Ca 1994].

Die im Routinemeßprogramm vorgenommene Beprobung geschieht dagegen integral, d. h. ohne Bestimmung der beprobten Schicht, mit Hilfe von Sedimentgreifern. Die so gewonnenen Meßergebnisse gestatten zumindest die Abschätzung radiologischer Konsequenzen bei einer evtl. Verbringung oder Nutzung von Gewässersedimenten.

Aus Gründen der Darstellbarkeit wurden die Sedimentproben der Teichwirtschaft Peitz nicht in die Grafik aufgenommen. Es handelt sich um jeweils eine Probe aus den Jahren 1996 und 1997 mit den Meßwerten 129 Bq/kg bzw. 140 Bq/kg (TM).

Die Aktivitätskonzentration von Cs-137 in den untersuchten Sedimenten liegt nicht wesentlich über der z. B. in Grünlandböden. Die Radioaktivität der Gewässersedimente ist somit aus der Sicht des Strahlenschutzes derzeit unbedenklich. Sie wird vom natürlich radioaktiven K-40 mit teilweise über 400 Bq/kg (TM) um ein Mehrfaches übertroffen.

4.1.3.4 Fisch

Die Cäsiumaufnahme durch Fische aus dem Gewässer wird durch eine Vielzahl von Faktoren bestimmt. Neben der Gewässerart (Cäsiumangebot, Eutrophierungsgrad) ist vor allem die Lebensweise (Raub- oder Friedfisch; freilebend oder Intensivhaltung) maßgebend. Allgemein gilt, daß die am Ende der Nahrungskette stehenden Raubfische tendenziell höhere Cäsiumgehalte aufweisen als Friedfische.

Die Beprobung von Fischen findet in solchen Gewässern statt, von denen auch Wasserproben entnommen werden. Zumeist handelt es sich um konventionellen Fischfang; bei Seeforellen, z. T. auch bei Karpfen um Fische aus Intensivhaltung.

Die Meßwerte (teilweise gemittelt über mehrere Proben im Berichtszeitraum) sind in den nachfolgenden Grafiken dargestellt.

Man erkennt die z. T. deutlich höheren Cäsiumgehalte in Raubfischen. Ein weiteres interessantes Ergebnis sind die insgesamt relativ hohen Meßwerte bei Fischen aus dem Stechlinsee. Dieser sehr tiefe See ist berühmt für sein klares Wasser, das von dem sehr nährstoffarmen Gewässerzustand herrührt. Damit ist das Wasser des Stechlin auch weniger kaliumhaltig als die anderen untersuchten Gewässer. Kalium und Cäsium sind chemisch verwandt und können sich demzufolge auch beim Einbau in den Organismus gegenseitig ersetzen.

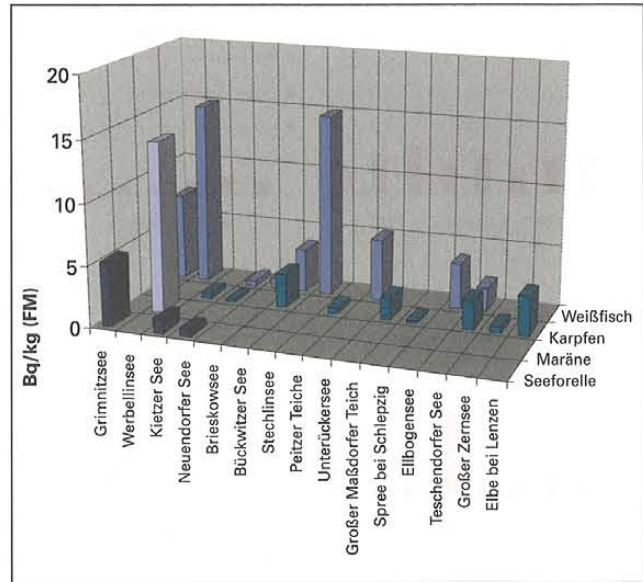


Abb. 19: Cs-137 in Friedfischen

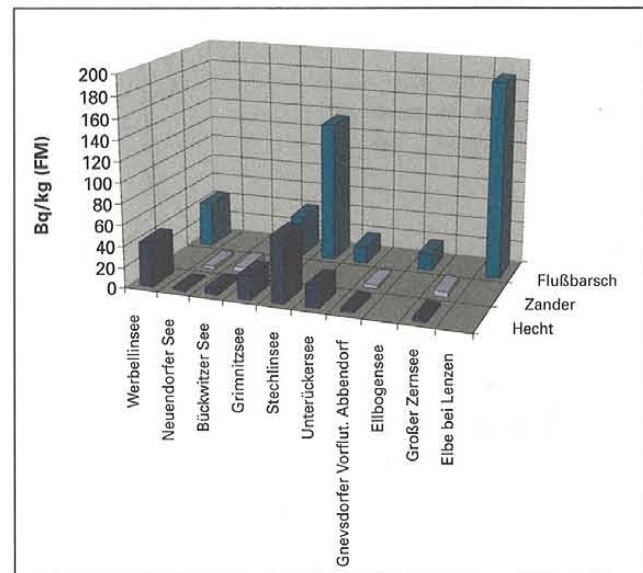


Abb. 20: Cs-137 in Raubfischen

Wie bereits lange bekannt [Fel 1978, Ett 1975], ist der Grad der Cäsiumanreicherung aus dem Gewässer in den Fischkörper (Akkumulationsfaktor) umso höher, je weniger Kalium im Gewässer enthalten ist. Unsere eigenen Messungen bestätigen dies ebenfalls. Besonders augenfällig wird der Zusammenhang beim Vergleich des Stechlin mit dem Grimnitzsee. Der Grimnitzsee ist ein flaches und nährstoffreiches Gewässer; sein Wasser ist deutlich kaliumhaltiger als das des Stechlin. Trotz der Tatsache, daß der Grimnitzsee zugleich auch einen recht hohen Cäsiumgehalt im Wasser aufweist (zu den Ursachen siehe Kap. 4.1.3.1), sind die Fische aus diesem See geringer mit Cäsium belastet, als etwa die aus dem Stechlin. Für den Barsch als eine in beiden Gewässern je 7x beprobte Fischart ergibt sich folgendes Bild (Meßwerte gemittelt über den Berichtszeitraum):

Tab. 7: Akkumulation von Cäsium im Barsch aus Grimnitzsee und Stechlin

Gewässer	Cs-137 im Wasser (mBq/l)	Cs-137 im Barsch (Bq/kg)	Akkumulationsfaktor Cs-137 (l/kg) ¹⁾	K-40 im Wasser (mBq/l) ²⁾
Stechlin	8	126	16.000	< 30
Grimnitzsee	30	39,8	1.300	400

¹⁾ Verhältnis der Cäsiumkonzentrationen in Fischfleisch und Wasser
²⁾ 100 mBq/l K-40 entsprechen ca. 3,3 mg/l Kalium; siehe Kap. 6.2

Das Ergebnis einer entsprechenden Untersuchung aus den Jahren 1994 bis 1996, in die eine Anzahl weiterer Gewässer mit zwischen diesen Extremen liegenden Kaliumgehalten einbezogen war, zeigt die folgende Abbildung 21.

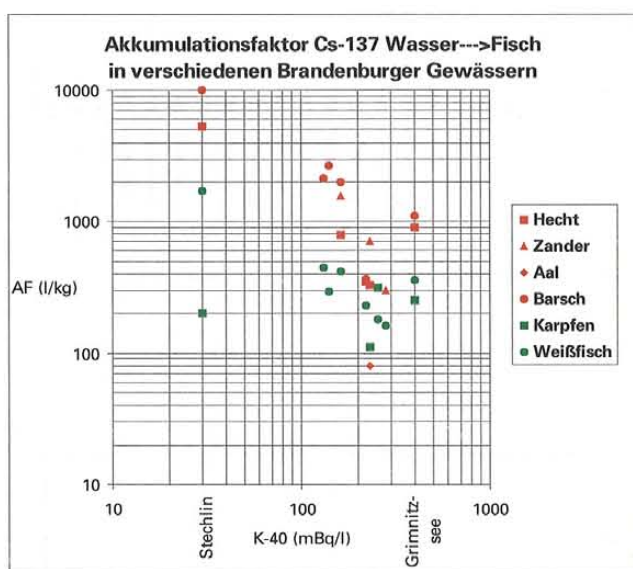


Abb. 21: Cäsium-Akkumulationsfaktoren Wasser/Fisch zu Kaliumgehalt im Wasser

Deutlich erkennbar ist die geringere Anreicherung von Cäsium in Friedfischen (grün) sowie generell die Abhängigkeit des Cäsium-Akkumulationsfaktors vom Kaliumgehalt des Wassers.

4.1.4 Pflanzliche Nahrungsmittel

4.1.4.1 Obst, Gemüse, Feldfrüchte

Ackerbaulich oder gärtnerisch erzeugte Produkte liefern in roher oder verarbeiteter Form den wesentlichen Beitrag zur Palette unserer Nahrungsmittel. Entsprechend der Zielstellung des Meßprogramms, eine flächenrepräsentative Lagerdarstellung zu liefern, findet die Beprobung erzeugernah statt.

Künstliche radioaktive Stoffe in pflanzlichen Nahrungsmitteln liefern derzeit in Brandenburg praktisch keinen Beitrag zur Strahlenbelastung des Menschen. Weit überwiegend ist die

natürliche Radioaktivität in Form von K-40. Deren Konzentration liegt etwa im Bereich von 50 – 250 Bq/kg, wobei Obst allgemein kaliumärmer als Gemüse und Kartoffeln ist. Bisweilen findet man in Ernährungsratgebern Angaben zum Kaliumgehalt von Lebensmitteln. Anhand der Beziehung: 1 g Kalium ≈ 30 Bq K-40 (s. Kap. 6.2) läßt sich der Gehalt dieses natürlichen Radionuklids abschätzen.

4.1.4.2 Wildpilze

Wildpilze zählen zu den wenigen Nahrungsmitteln, in denen der Gehalt an künstlicher Radioaktivität (im wesentlichen Cs-137) den natürlicher Radionuklide (im wesentlichen K-40) noch bisweilen überwiegt. Besonders bekannt als „Cäsiumsammler“ ist der weitverbreitete Maronenröhrling (*Xerocomus badius*). Aber auch andere Pilzarten sind in der Lage, Cäsium im Fruchtkörper anzureichern. Hierzu zählen zum Beispiel der Sandröhrling (*Suillus variegatus*), der Butterpilz (*Suillus luteus*), von den weniger bekannten Speisepilzen z. B. der Reifpilz (*Rozites caperatus*) und der Frostschnäckling (*Hygrophorus hypothejus*).

Ein großes Speichervermögen für Cäsium zeigt auch der Rotbraune Milchling (*Lactarius rufus*) – eine nach entsprechender Vorbehandlung zwar allenfalls „genießbare“ Pilzart, die wegen ihres massenhaften Auftretens aber gut als Zeigerpflanze für regionale Unterschiede im Cäsiumangebot des Waldbodens geeignet ist.

Auf das Thema der Radioaktivität in Pilzen aus Brandenburg wurde bereits an anderer Stelle ausführlicher eingegangen [LUA 1994]. Deshalb sollen hier nur die Ergebnisse für Maronenröhrlinge vorgestellt werden, die seit 1992 in der vergleichsweise größten Stückzahl untersucht wurden. Die Abbildung 24 (Seite 25) zeigt die Fundorte der seit 1992 aufgesammelten 87 Proben dieser Spezies. Die Gehalte an Cs-137 bezogen auf Frischmasse wurden grob in 4 Klassen eingeteilt. Bei Fundorten mit mehreren Proben in diesem Zeitraum wurde der arithmetische Mittelwert zugrundegelegt. Deutlich zeigt sich der Zusammenhang mit den unterschiedlich starken Ablagerungen aus der Tschernobylwolke (s. Abb. 13). Die unterste Klassengrenze (600 Bq/kg) entspricht dem geltenden EU-Importhöchstwert für radioaktives Cäsium in Lebensmitteln.

Auch innerhalb Brandenburgs ist das gewerbliche Inverkehrbringen von Pilzen mit Cäsiumgehalten über diesem Wert lebensmittelrechtlich verboten. Das Aufsammeln zum Eigenverzehr ist davon aber nicht betroffen. Eine Gesundheitsgefährdung durch gelegentlichen Verzehr, auch von Pilzen mit über 600 Bq/kg Cäsium, ist nicht zu befürchten. Ein Pilzgericht (200 g) mit einer Belastung von 2.000 Bq/kg Cs-137 hat eine Strahlendosis von ca. 6 Mikrosievert (µSv) zur Folge – eine im Vergleich zur gesamten natürlichen Strahlenbelastung geringe Dosis (siehe Kap. 1.1). Erwähnt sei noch, daß Pilze relativ kaliumreich sind. Die spezifische Aktivität an K-40 beträgt nicht selten über 300 Bq/kg, was im obigen Beispiel einer natürlichen Strahlenbelastung durch Pilzverzehr von 0,3 µSv entspricht.

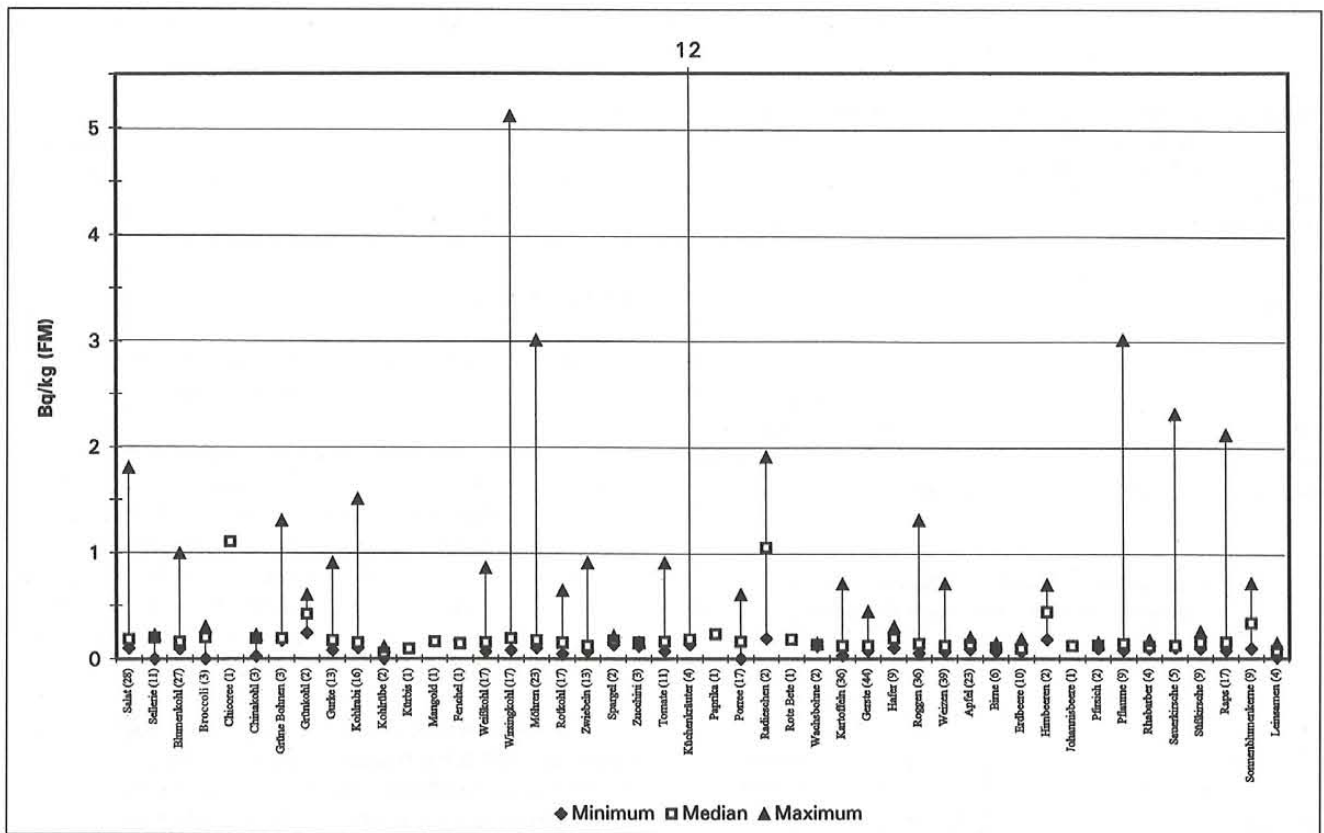


Abb. 22: Cs-137 in pflanzlicher Nahrung

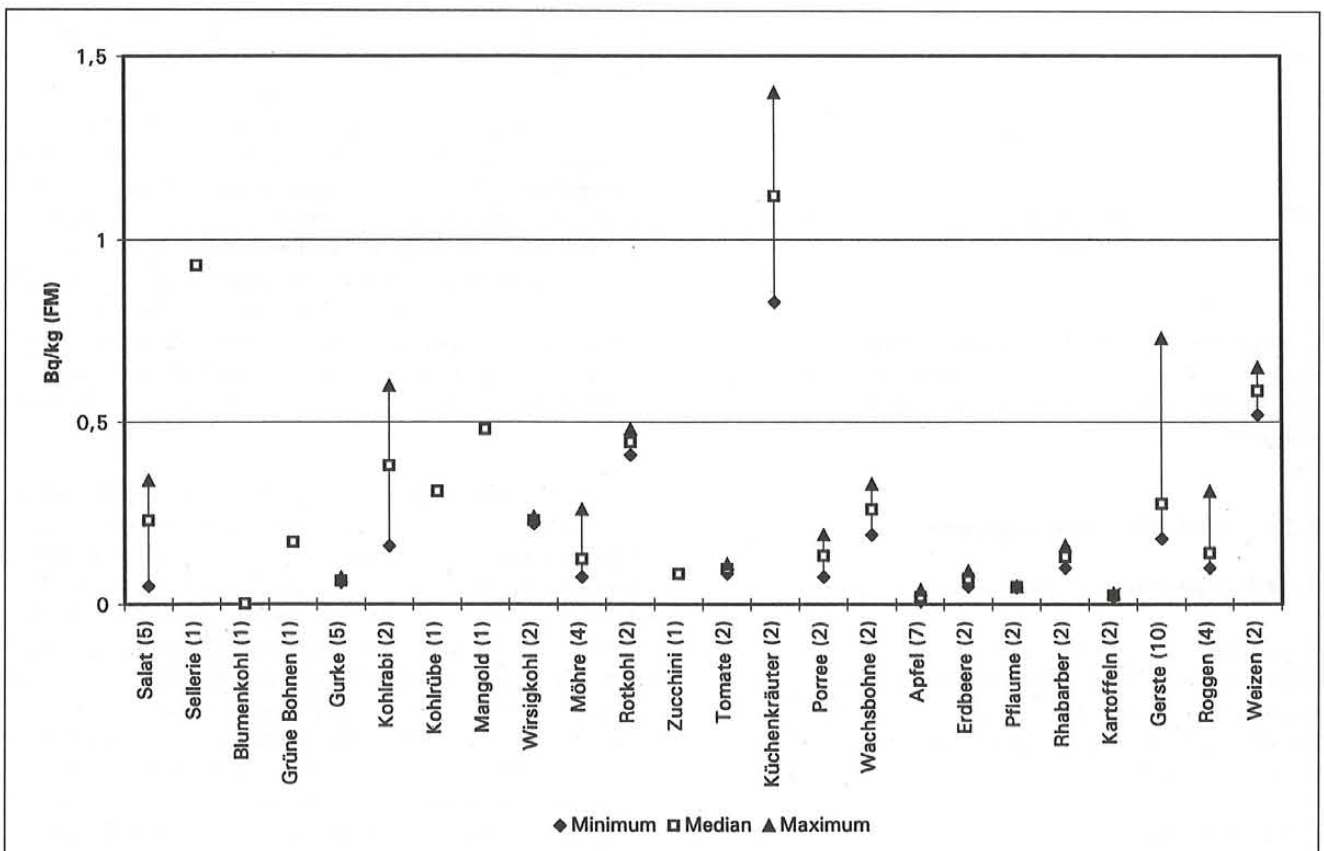


Abb. 23: Sr-90 in pflanzlicher Nahrung

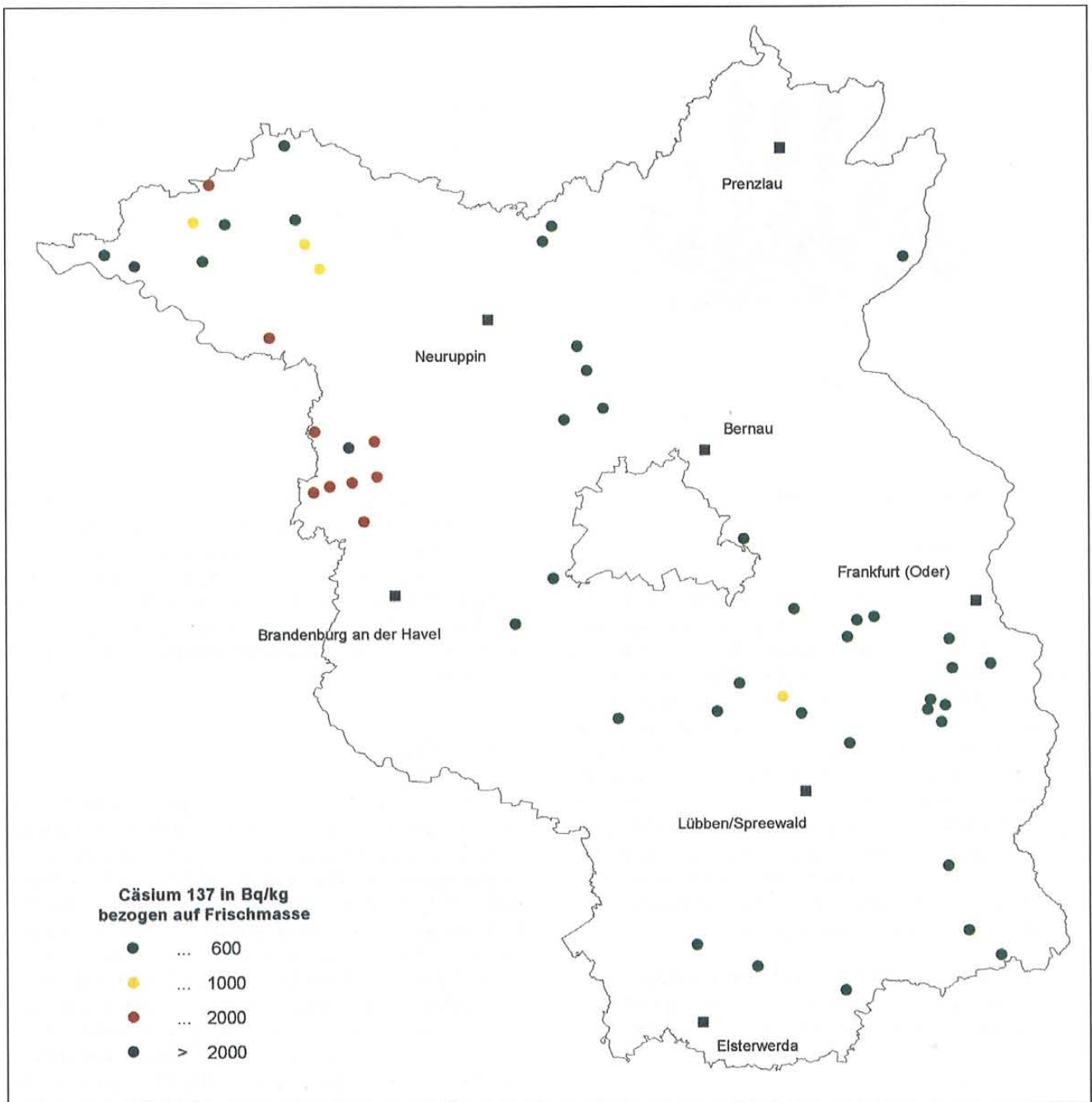


Abb. 24: Fundorte und Cäsiumgehalte in Maronenhörlingen 1992 bis 1997

Die Abbildung 25 dokumentiert die Aufschlüsselung auf die sechs Jahre 1992 bis 1997.

Es zeigt sich zumindest beim Median erwartungsgemäß (Halbwertszeit 30 Jahre) keine signifikante Tendenz. Die vergleichsweise geringe Zahl von Proben, die zudem nur aus gering beeinflussten Gebieten stammt, ist wahrscheinlich für den Rückgang im Median für 1997 verantwortlich. Überhaupt bleibt festzuhalten, daß die kleinen, stärker durch Tschernobyl beeinflussten Gebiete bei den Probenorten überrepräsentiert sind: Allein ein Drittel der Proben stammt aus dem Westhavel-land und der Prignitz.

Die Aufsammlung der Proben geschieht größtenteils durch ehrenamtlich tätige Pilzsachverständige. Die Strahlenmeßstellen des Landesumweltamtes (Adressen siehe Kap. 6.4) nehmen aber auch Proben aus der Bevölkerung zur kostenlosen Untersuchung an, sofern diese gewissen Mindestanforderungen genügen:

- sortenrein,
- mindestens 250 g Frischmasse,
- Herkunft auf etwa 10 km genau beschrieben.

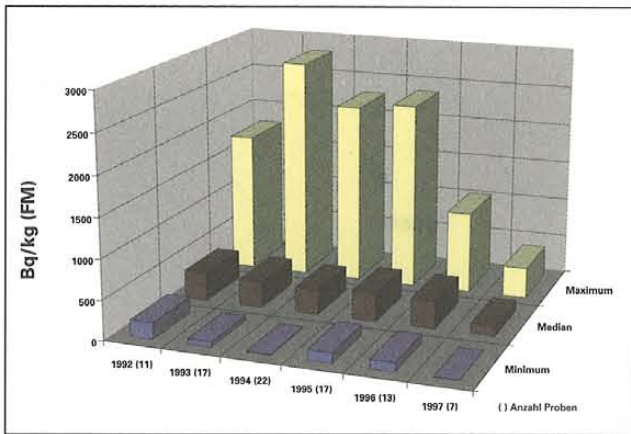


Abb. 25: Cs-137 in Maronen 1992 bis 1997

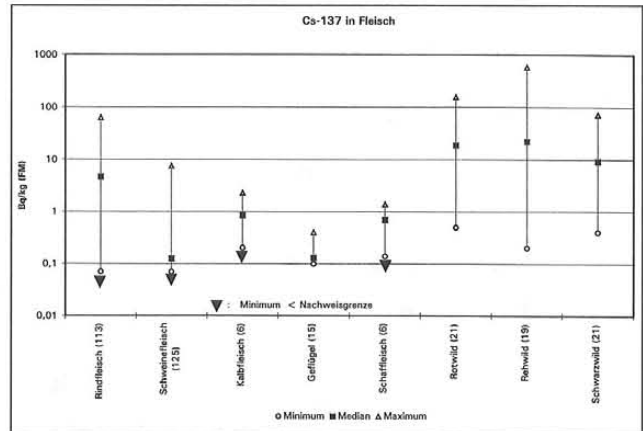


Abb. 26: Cs-137 in Fleisch

4.1.5 Tierische Nahrungsmittel

4.1.5.1 Fleisch von Zuchtvieh

Fleisch und Fleischprodukte stellen einen bedeutenden Anteil an unserer Ernährung dar. Dementsprechend umfangreich ist die Zahl der jährlichen Beprobungen. Wie bei den übrigen landwirtschaftlichen Produkten werden auch hier keine verarbeiteten Produkte, wie z. B. Wurst untersucht, da die Abreicherungsprozesse der Radioaktivität bei der Verarbeitung hinreichend bekannt sind. Beprobte wird rohes und knochenfreies Muskelfleisch verschiedener Tierarten an 13 verschiedenen Schlachtorten. Auf eine Untersuchung von Strontium kann im Gegensatz zu den übrigen Hauptlebensmitteln verzichtet werden, da sich dieses Element auf Grund seiner chemischen Verwandtschaft zum Kalzium vorwiegend in den Knochen ablagert. Cäsium zeigt dagegen keine derart ausgeprägte Anreicherungstendenz in bestimmten Organen.

Die Gehalte an Cs-137 in Fleisch von Zuchtvieh liegen deutlich unter denen in Wildfleisch, haben aber trotzdem einen gewissen Streubereich. Auffällig ist das besonders beim

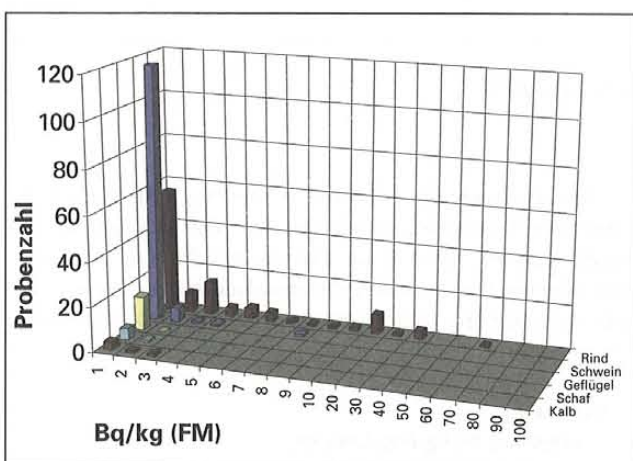


Abb. 27: Häufigkeitsverteilung Cs-137 in Zuchtvieh (beachte Maßstabswechsel)

Rind. Vermutlich liegt eine Ursache im hohen Grünfütteranteil; da Weidegras abhängig vom Boden gewisse Unterschiede in der Cäsiumaufnahme zeigt. Eine ähnliche Tendenz ist beim Schafffleisch nicht zu erkennen – möglicherweise wegen der geringen Probenzahl. Der höchste Medianwert wurde beim Rindfleisch mit 4,7 Bq/kg gefunden. Bei einem angenommenen Jahresverzehr von 150 kg [StrlSchV] entspräche das einer Strahlendosis von 2,1 μ Sv.

4.1.5.2 Wildfleisch

Wildfleisch gehört z.Z. zu den wenigen Lebensmitteln, in denen radioaktives Cäsium häufiger in erhöhten Konzentrationen nachgewiesen wird. Das hat seine Ursache in der Ernährungsweise des Wildes, dessen Nahrungskette zu einem großen Teil im Lebensraum Wald angesiedelt ist. Bedingt durch ökologische Besonderheiten des Waldbodens ist Cäsium für dort lebende Pflanzen besser über die Wurzelaufnahme verfügbar. Zudem wachsen im Wald Pflanzen, die selbst die Fähigkeit zur Cäsiumanreicherung besitzen – etwa bestimmte Pilze im Fruchtkörper. Die in den verschiedenen Wildarten gefundenen Cäsiumgehalte streuen erwartungsgemäß recht stark, was ergänzend zu Abbildung 26 in der Abbildung 28 (Seite 27) dargestellt ist.

Deutlich wird, daß die höchsten Cäsiumbelastungen sich im Fleisch des Rehwilds finden. In vielen Proben konnte aufgrund der erhöhten Konzentrationen sogar noch das Nuklid Cs-134 nachgewiesen werden (siehe auch Abschnitt 4.1.1), dessen Aktivität wegen der kürzeren Halbwertszeit bereits nur noch ca. 1/100 von der des Cs-137 beträgt. In einigen Proben wird der EU-Höchstwert für Lebensmittelimporte von 600 Bq/kg, bezogen auf die Summe beider Nuklide, fast erreicht.

4.1.5.3 Milch

Milch und Milchprodukte gehören zu unseren grundlegenden Nahrungsmitteln; allein deshalb kommt ihrer Untersuchung ein besonderer Stellenwert zu. Ein weiterer Grund ist

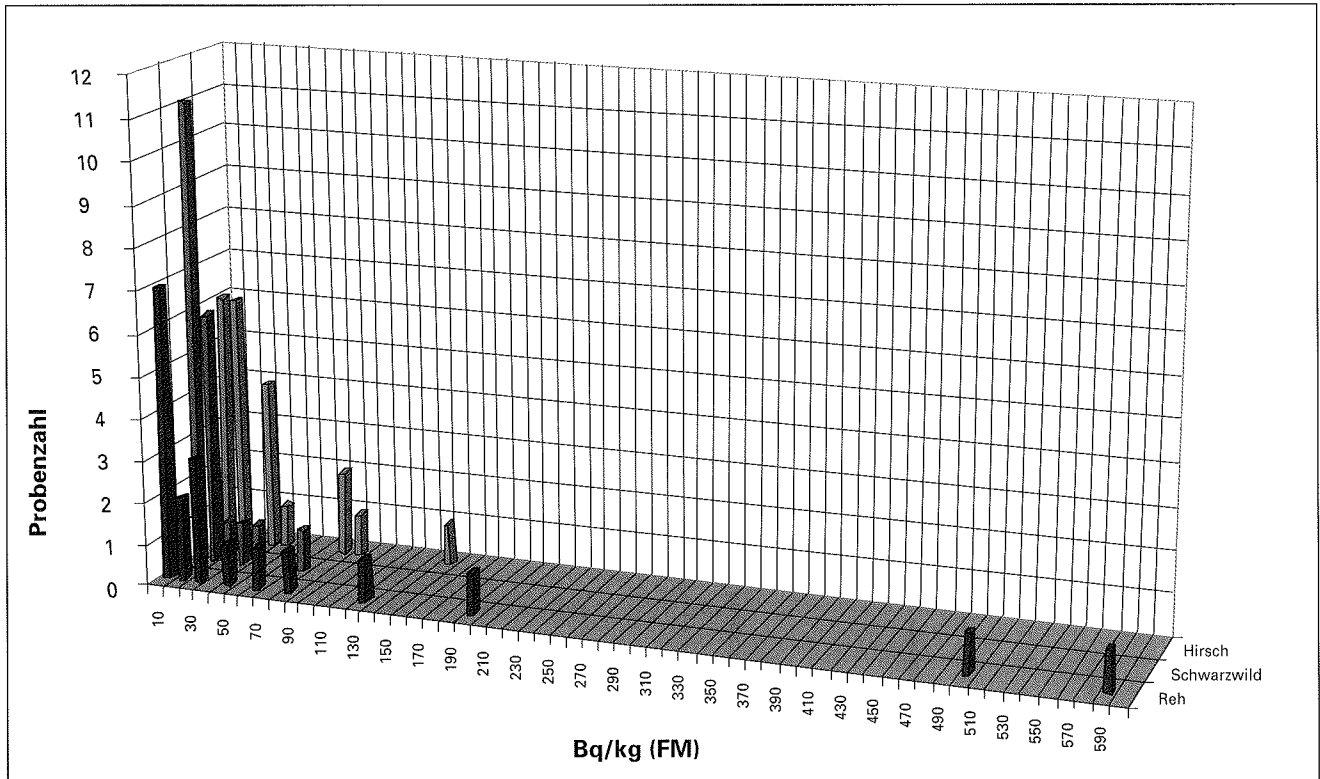


Abb. 28: Häufigkeitsverteilung Cs-137 je Wildart

die Tatsache, daß die nach einem nuklearen Ereignis freigesetzte Radioaktivität, über den Pfad Weidegras-Kuh-Milch sehr schnell in die Nahrungskette eingetragen wird. Da die Verteilungsprozesse radioaktiver Stoffe bei der Verarbeitung zu Milchprodukten bekannt sind, wird lediglich das Ausgangsprodukt untersucht. Beprobte wird monatlich die sogenannte Sammelmilch aus den Tanks der Molkereien. Die Analytik erstreckt sich auf Gammastrahler, insbesondere Cs-137; bei ausgewählten Molkereien wird zusätzlich auf Sr-90 untersucht.

Die Gehalte an Cs-137 liegen im Mittel über alle Proben aus dem Berichtszeitraum bei 0,39 Bq/l. Bei ca. 25 % der Proben lag der Gehalt unter der vorgeschriebenen Nachweisgrenze von 0,2 Bq/l. Der höchste nachgewiesene Wert betrug 2,2 Bq/l (Abb. 29, Seite 28).

Die Strontiumgehalte in den untersuchten Milchproben liegen noch um eine Größenordnung unter denen für Cäsium: Mittelwert 0,05 Bq/l, Maximum: 0,09 Bq/l (Abb. 29).

Der Gesamtgehalt an Radioaktivität in Milch wird praktisch ausschließlich durch das natürlich radioaktive K-40 bestimmt. In jedem Gramm Kalium sind zugleich 30 Bq K-40 enthalten. In Milch liegt die K-40-Konzentration recht konstant bei ca. 50 Bq/l, was also einem Kaliumgehalt in Milch von ca. 1,7 g/l entspricht. Die daraus ableitbare natürliche Strahlenbelastung durch Milchverzehr liegt übrigens bei 0,25 Mikrosievert je Liter.

Zum Vergleich: Die Dosis durch die o. g. Mittelwerte für Cäsium und Strontium liegt dagegen nur bei insgesamt 0,009 µSv/l.

Da Kalium ein in praktisch allen Lebensmitteln enthaltenes Element ist – häufig noch mit höheren Gehalten als in Milch – läßt sich diese Aussage analog übertragen.

4.1.6 Gesamtnahrung, Kindernahrung

Unter Gesamtnahrung wird in diesem Zusammenhang die gesamte durch eine Person an einem Tag verzehrte Nahrungsmenge, einschließlich aller Getränke verstanden. Beprobte wird die Gemeinschaftsverpflegung in einem Krankenhaus (Normalkost) einmal wöchentlich als Stichprobe. Die Bestimmung von Sr-90 erfolgt monatlich an einer aus den Wochenstichproben hergestellten Mischprobe. Wegen der Orientierung an der täglichen Gesamtnahrungsaufnahme werden die Meßergebnisse in Becquerel pro Tag und Person (Bq/d * p) ausgewiesen (Abb. 30).

Kindernahrung wird in Form fertiger Menüs wechselnder Zusammensetzung (Gläschenkost) für Kleinstkinder monatlich in einem Herstellerbetrieb beprobte. Zwei Proben pro Jahr werden auf Sr-90 untersucht (Abb. 31).

Die Meßergebnisse für Gesamtnahrung zeigen, daß die tägliche Aufnahme von Cs-137 in den allermeisten Fällen unter der Nachweisgrenze liegt. Lediglich in 4 von 104 untersuchten Proben konnte eine Aktivität entsprechend einer Tagesaufnahme von maximal 0,4 Bq Cs-137 nachgewiesen werden – eine aus der Sicht des Strahlenschutzes völlig unbedeutende Menge (Abb. 32). „Ausreißer“, etwa durch Wildpilze auf dem Speiseplan blieben bei der

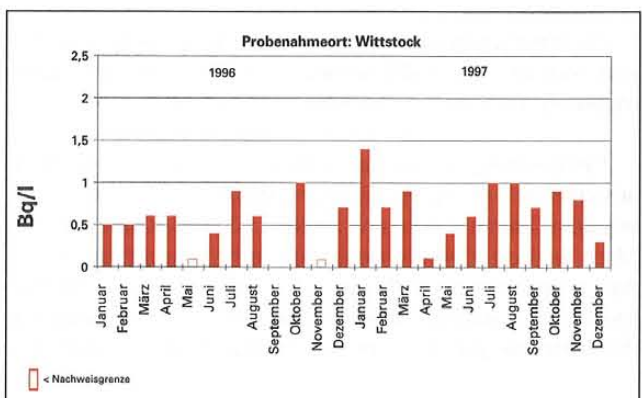
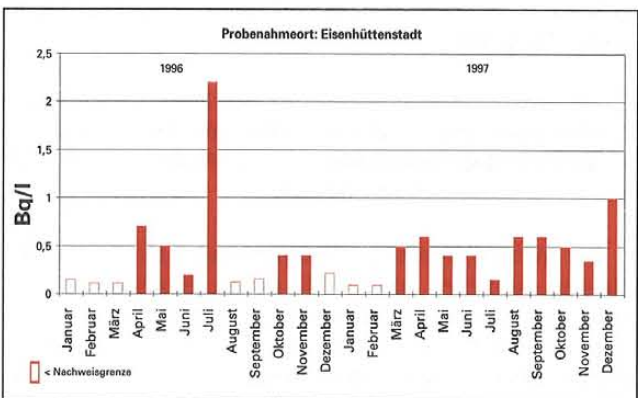
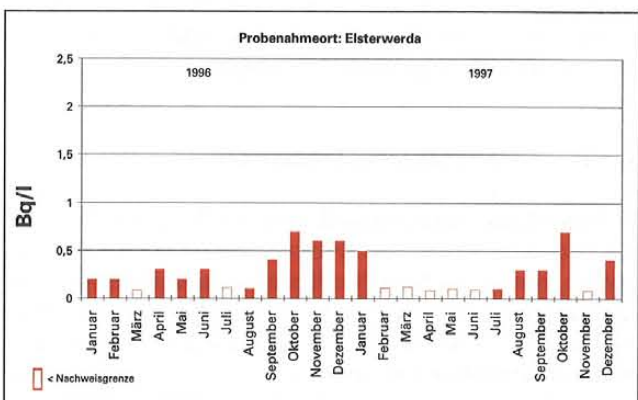
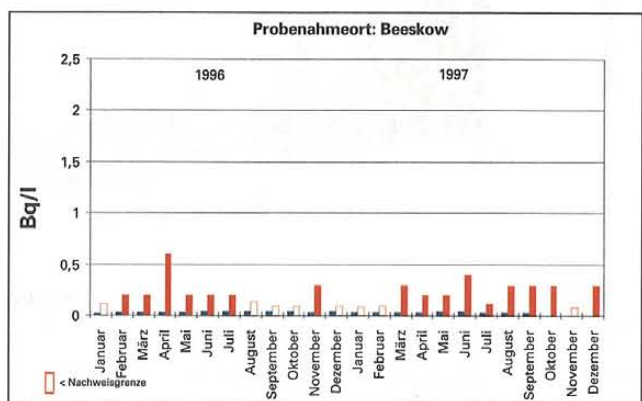
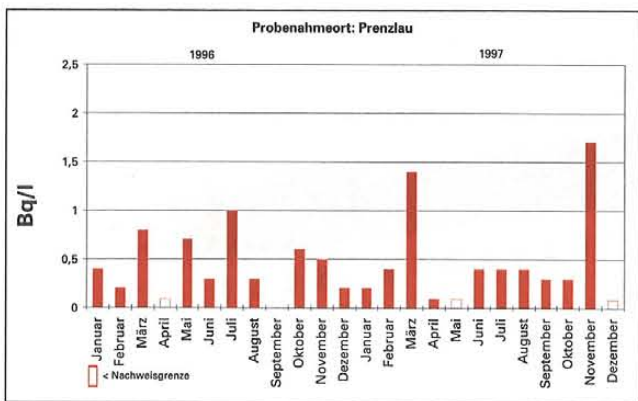
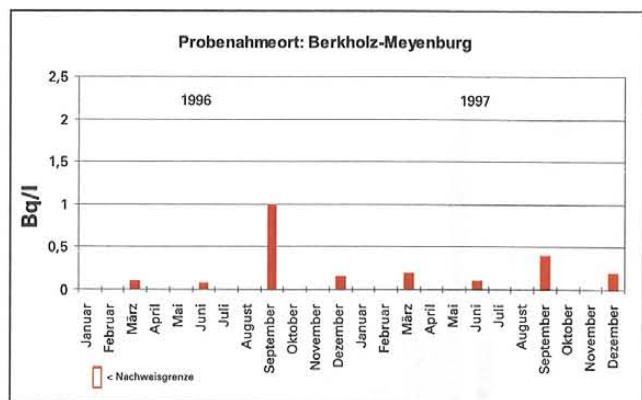
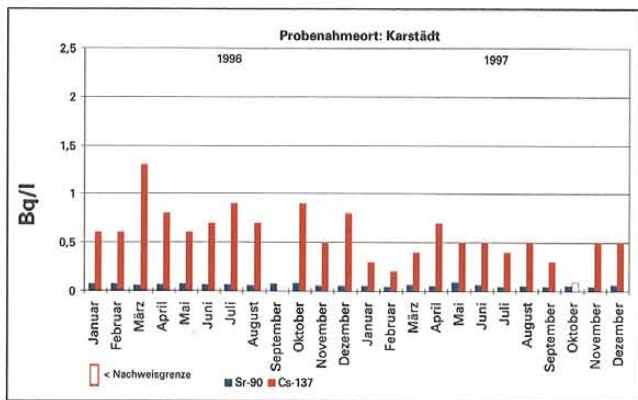


Abb. 29: Cs-137 und Sr-90 in Milch

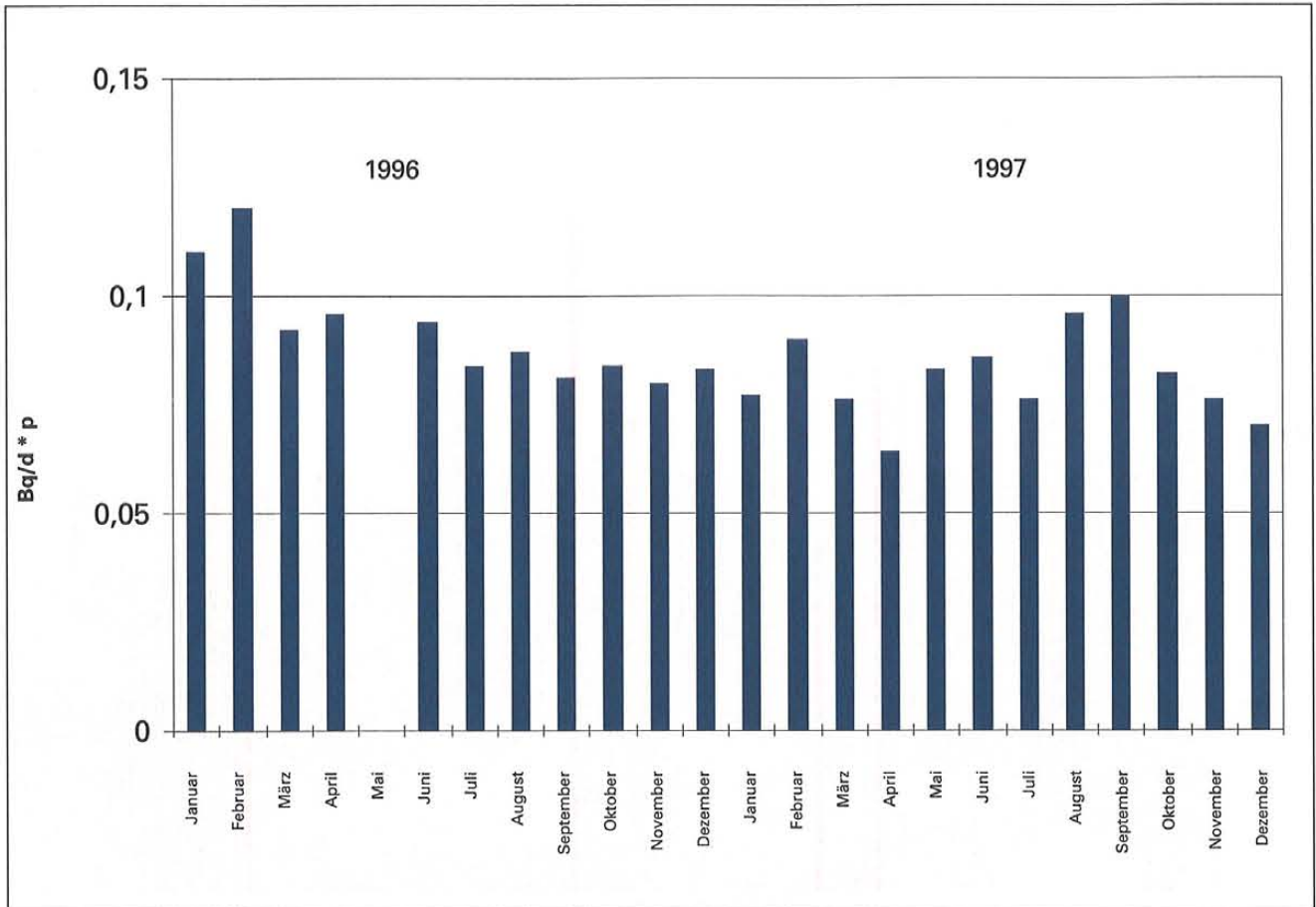


Abb. 30: Sr-90 in Gesamtnahrung

untersuchten Gemeinschaftsverpflegung erwartungsgemäß aus.

Die Ergebnisse für Sr-90 liegen recht gleichmäßig bei ca. 0,1 Bq pro Tag und Person. Dem entspricht eine tägliche Strahlendosis von 0,0035 μ Sv pro Tag. Zum Vergleich: Die gesamte tägliche Strahlendosis aus natürlichen Quellen liegt in Deutschland im Mittel bei ca. 6,6 μ Sv pro Tag; das ist das 2.000-fache!

Für die untersuchte Kindernahrung – hier wieder in Bq/kg angegeben – zeigt sich ein vergleichbares Ergebnis (Abb. 33).

4.1.7 Trinkwasser

Trinkwasser ist der für die menschliche Ernährung wichtigste Stoff. Zudem wird Trinkwasser bei der Erzeugung fast aller Lebensmittel verwendet. Dem Schutz des Trinkwassers vor radioaktiver Kontamination kommt deswegen eine besondere Bedeutung zu. Vor allem die Nutzung offener Reservoirs (z. B. Talsperren) kann Radioaktivitätseinträge bei einem nuklearen Ereignis ermöglichen. In Brandenburg wird jedoch kein Oberflächenwasser direkt zur Trinkwassergewinnung herangezogen. Überwiegend wird reines Grundwasser verwendet, zumeist aus geschützten Grundwasserleitern. Daneben spielen noch angereicherte Grundwässer (Zufuhr von Fremdwasser durch Versickerung) und Uferfiltrate eine gewisse Rolle.

Regelmäßig beprobt werden acht Wasserwerke, und zwar quartalsweise das aufbereitete sog. Reinwasser und zusätzlich jährlich einmal das Rohwasser. Untersucht wird auf gammastrahlende Radionuklide, bei den Wässern aus zwei Betrieben, deren Meßdaten hier exemplarisch dargestellt sind, zusätzlich auch auf Sr-90, Uran und Plutonium.

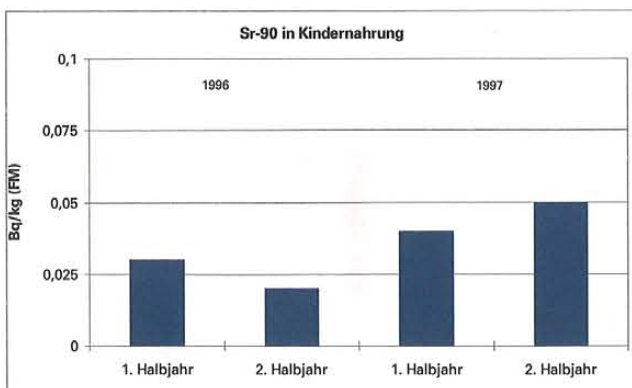


Abb. 31: Sr-90 in Kindernahrung

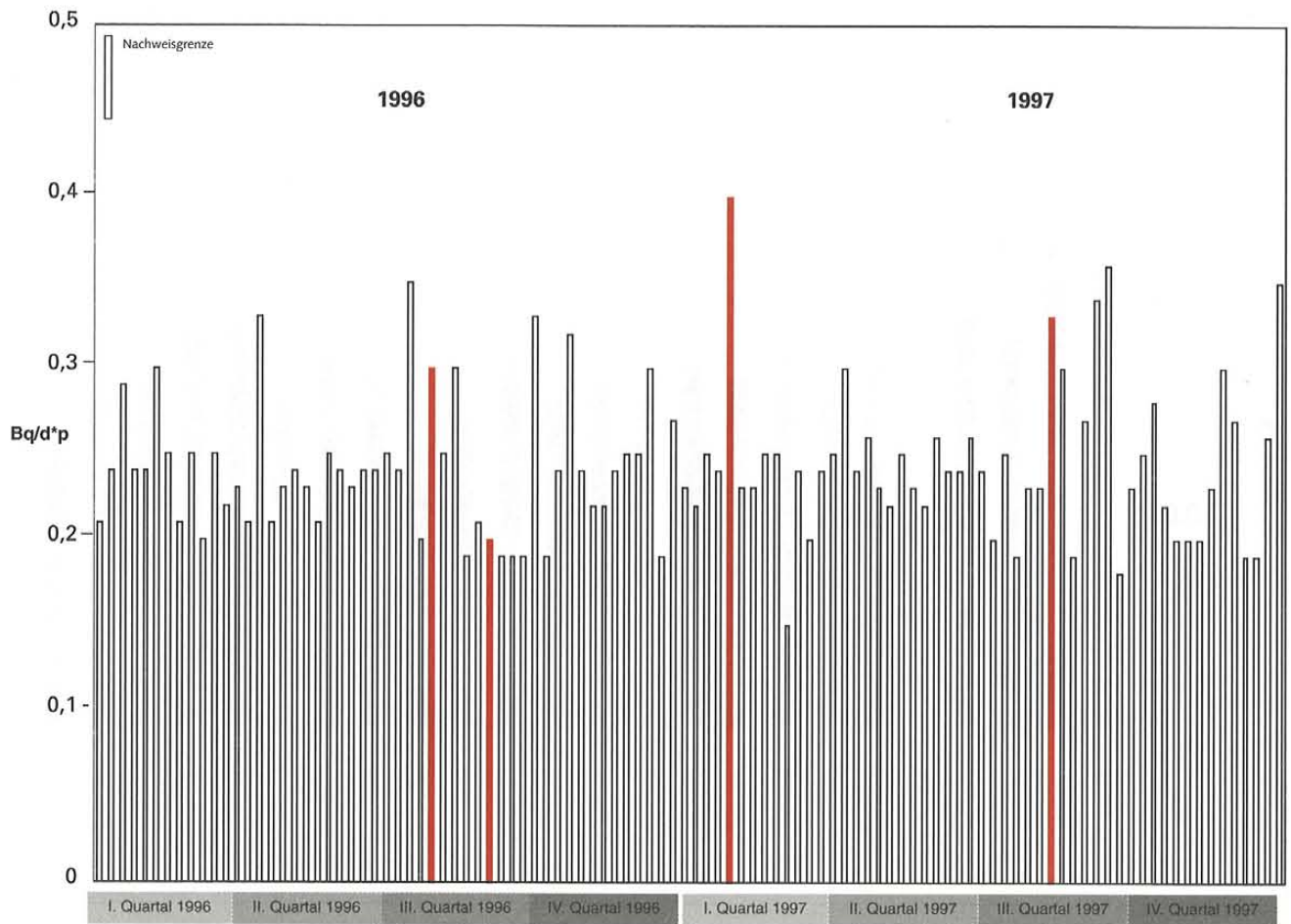


Abb. 32: Cs-137 in Gesamtnahrung

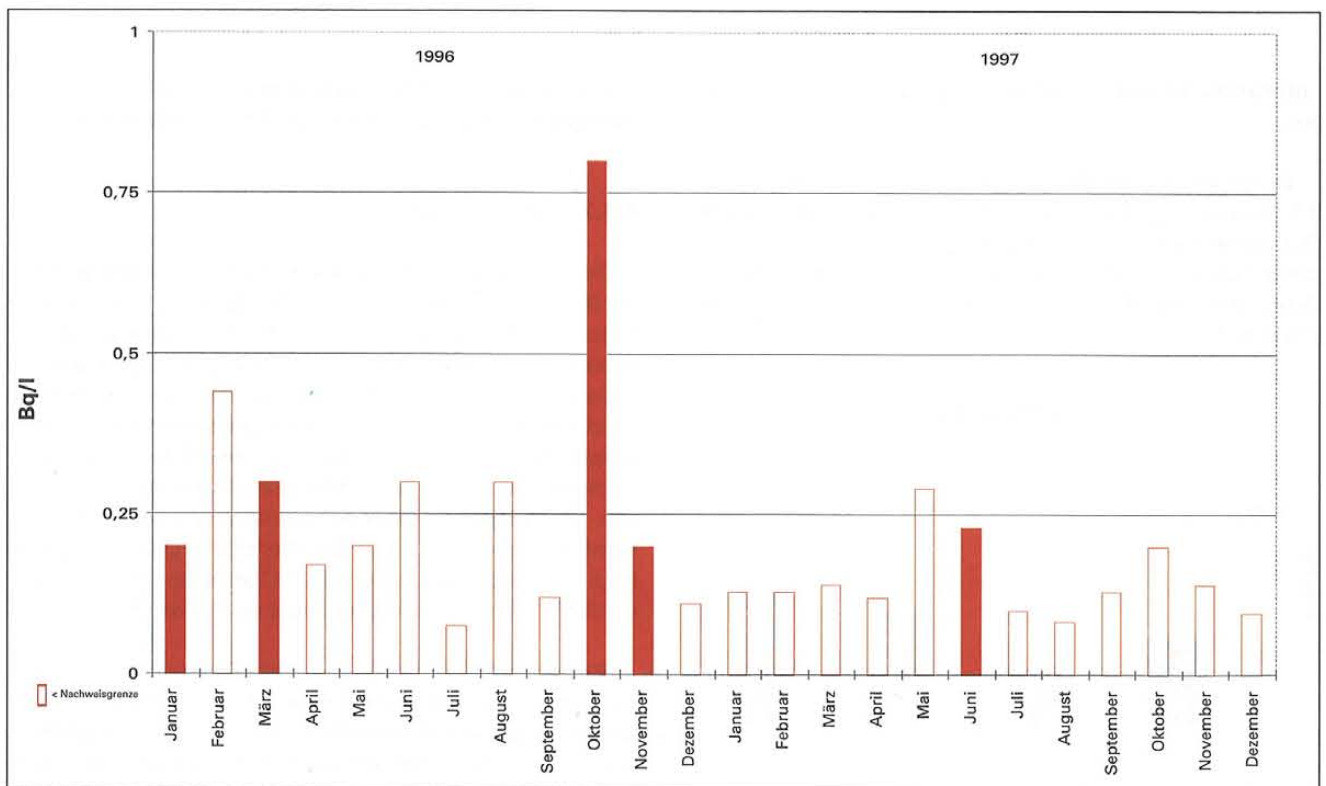


Abb. 33: Cs-137 in Kindernahrung

Die Meßergebnisse zeigen, daß Trinkwasser praktisch frei ist von künstlicher Radioaktivität. Die über dem Grundwasser liegenden Bodenschichten stellen eine sehr effektive Barriere für die oberflächlich eingetragenen radioaktiven Stoffe dar (s. auch Kapitel 4.1.1.1). Cs-137 und Plutoniumisotope wurden in keinem Fall nachgewiesen. Die Werte für Sr-90 liegen fast durchgängig unter der geforderten Mindestempfindlichkeit von 10 mBq/l für das Meßverfahren. Die nachweisbaren Uranspuren im Trinkwasser sind geologisch bedingt; zur natürlichen Strahlenbelastung tragen sie praktisch nichts bei.

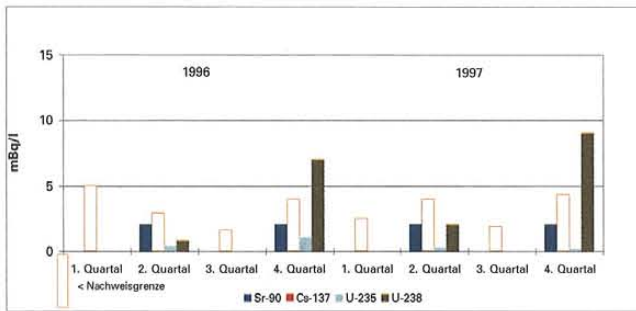


Abb. 34: Radioaktivität in Trinkwasser – Bergholz-Rehbrücke –

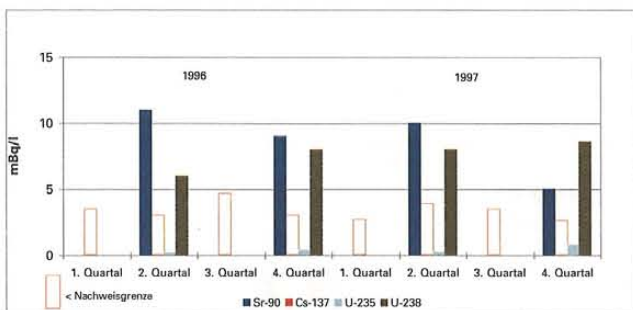


Abb. 35: Radioaktivität in Trinkwasser – Briesen

4.1.8 Grundwasser

Entsprechend den Vorgaben des Strahlenschutzvorsorgegesetzes sind zusätzlich zur Beprobung der Wasserwerke auch solche Grundwässer zu untersuchen, die nicht zur Trinkwassergewinnung herangezogen werden. Es werden hierfür vier Grundwasserbeobachtungsbrunnen jeweils halbjährlich beprobt. Zur Interpretation gelten die Ausführungen zum Trinkwasser sinngemäß.

Tab. 8: Radioaktivität in Grundwasser

Ort	Cs-137 (mBq/l)	Sr-90 (mBq/l)		U-238 (mBq/l)	
	Maximum	Minimum	Maximum	Minimum	Maximum
Altglietzen	< 5,7	< 0,31	3,0	10	10
Müllrose	< 7,2				
Schwedt	< 5,2	0,6	0,8	60	79
Sietzing	< 7,1				

4.1.9 Kläranlagen

Die Überwachung von Kläranlagen umfaßt das gereinigte Abwasser, das die Anlage in den Vorfluter abgibt, sowie den Klärschlamm. Die Aktivitätskonzentrationen sind in den Schlämmen generell höher als im Abwasser. Das ist bedingt durch die Anreicherung im Zuge des Abwasserreinigungsverfahrens; zudem sind die Konzentrationen im Klärschlamm auf Trockenmasse bezogen.

Die Werte für Cs-137 und Sr-90 liegen in Klärschlamm unter denen, die etwa in Bodenproben gefunden werden. Auch im Klärabwasser sind diese künstlichen Nuklide in geringen Konzentrationen nachweisbar. Ebenso wie das natürlich vorkommende Uran gelangen die Nuklide vermutlich vorwiegend über mit Regenwasser eingeschwemmte Staub- und Bodenteilchen in die Kläranlagen. Plutonium wurde nicht nachgewiesen.

Charakteristisch ist das Auftreten des kurzlebigen Iod-Nuklids I-131 (Halbwertszeit 8 Tage), das in der Nuklearmedizin verwendet wird. Durch Ausscheidungen der Patienten gelangt es in die Kläranlagen. Für Einleitungen aus nuklearmedizinischen Einrichtungen sind in der Strahlenschutzverordnung Konzentrationswerte für Abwässer festgelegt, die im Jahresmittel nicht überschritten werden dürfen. Insbesondere für die Anwendung von I-131 in der stationären Schilddrüsenthherapie, bei der recht hohe Aktivitäten verabreicht werden, sind in den Kliniken Rückhaltebehälter (sog. Abklinganlagen) für die Fäkalien installiert. Eine Alternative sind Trocken-WCs ohne Anschluß an die Kanalisation.

Eine Einleitung in die Kanalisation darf erst stattfinden, nachdem die Konzentration aufgrund des radioaktiven Zerfalls einen festgelegten Wert unterschreitet. Das I-131 findet sich in unterschiedlichen Konzentrationen auch in den Klärschlämmen. Wegen der kurzen Halbwertszeit hat neben dem Eintrag in die Anlage das Alter der Schlämme einen wesentlichen Einfluß auf die Höhe der Meßwerte.

Für zwei der beprobten Anlagen sind die vollständigen Meßergebnisse grafisch dargestellt. Sie sind bis auf das Nuklid I-131 vergleichbar mit denen der übrigen Klärwerke. Die Meßwerte für I-131 sind nochmals separat für alle Anlagen dargestellt; sie tragen deutlich Stichprobencharakter.

Die gefundenen Radioaktivitätsgehalte sind aus der Sicht des Strahlenschutzes unbedenklich.

4.1.10 Reststoffe und Abfälle

Deponien, Müllverbrennungsanlagen und Kompostierungsanlagen sind nicht nur (vorläufige) Endstation einer Vielzahl von Reststoffen und Abfällen, sondern sie setzen wiederum auch Stoffe frei die – teils als Schadstoffimmissionen, teils als Recyclingprodukt – in biologische Kreisläufe gelangen können. Aufgrund dieser Tatsache erstreckt sich die Umweltüberwachung nach dem Strahlenschutzvorsorgegesetz auch auf derartige Anlagen.

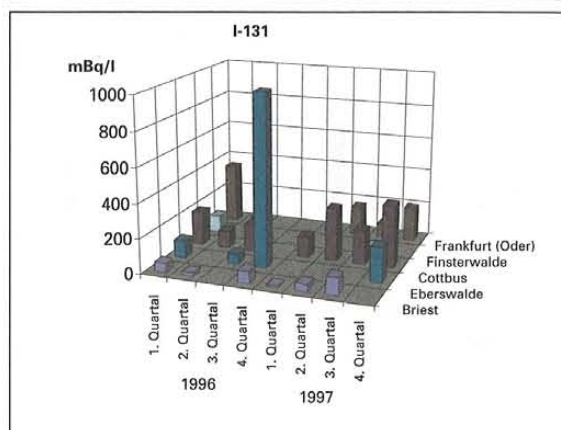
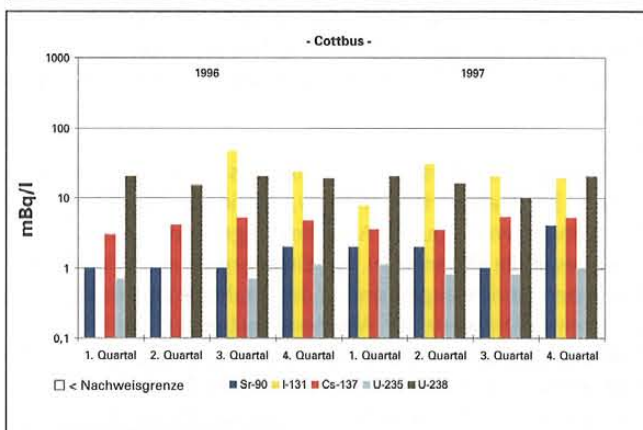
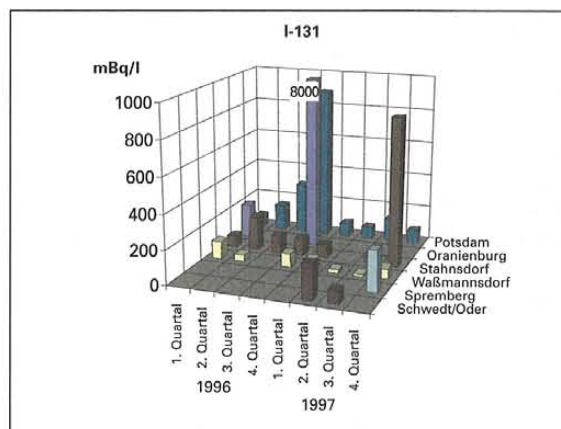
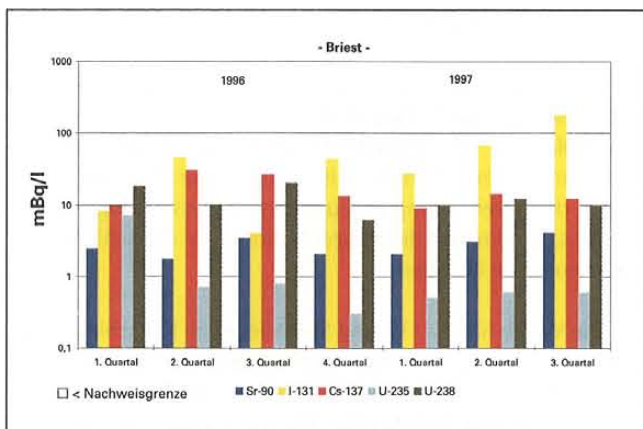


Abb. 36: Radioaktivität in Klärbwasser

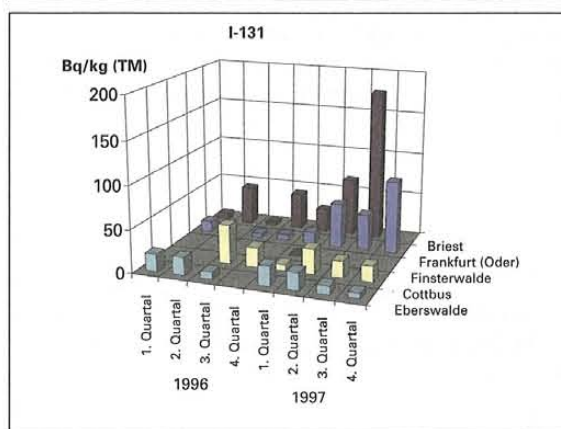
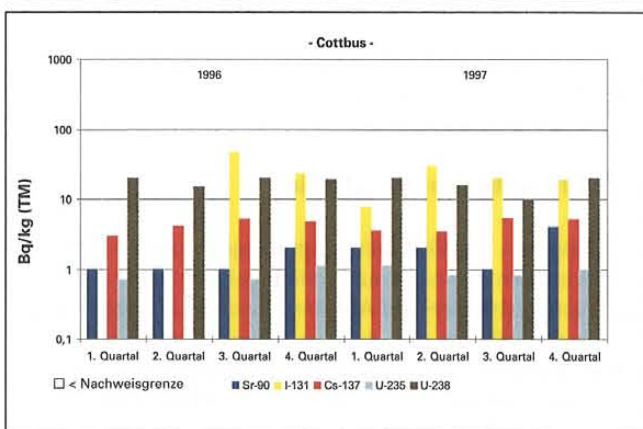
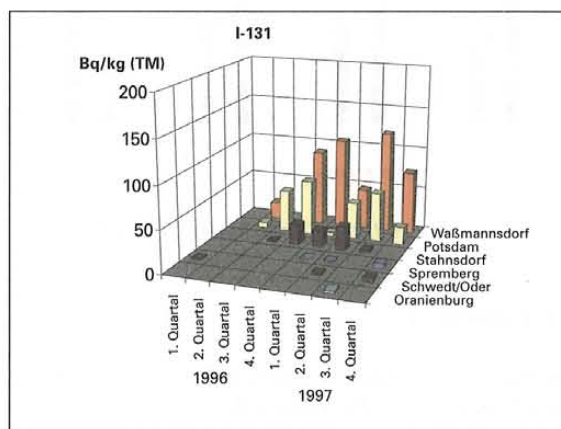
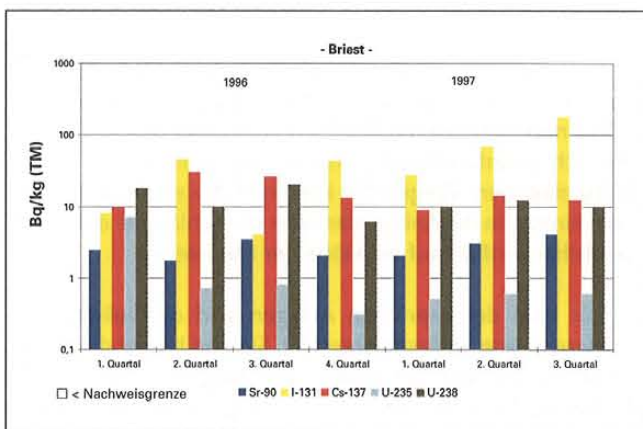


Abb 37: Radioaktivität in Klärschlamm

4.1.10.1 Hausmülldeponien

Aufgrund der in Deponien ablaufenden chemischen und biologischen Abbauprozesse können im Deponiekörper befindliche Schadstoffe durch eindringendes Niederschlagswasser mobilisiert werden und in das Grund- oder Sickerwasser gelangen. Aus Vorsorgegründen werden an vier ausgewählten Deponiestandorten diese Wässer halbjährlich auch auf Radioaktivität (Gammastrahler sowie das leicht mobilisierbare Tritium) untersucht. Die Messungen ergeben, daß die Cäsiumkonzentrationen durchgängig unter der Nachweisgrenze von max. 10 mBq/l liegen. Auch Tritium wurde nur in drei Proben in der radiologisch unbedeutenden Konzentration von 20 Bq/l nachgewiesen.

4.1.10.2 Müllverbrennungsanlagen

Entsprechend den Vorgaben des Routinemeßprogrammes sind Verbrennungsanlagen für Hausmüll und Klärschlamm zu beproben. Derartige Anlagen werden in Brandenburg nicht betrieben. Stattdessen wird eine Sondermüllverbrennungsanlage beprobt (Schlacke, Flugasche, Rückstände der Trockengasreinigung jeweils halbjährlich). An künstlichen Gammastrahlern wurde lediglich Cs-137 in den Abprodukten gefunden. Dessen Aktivitäten sind trotz der prozeßbedingten Aufkonzentration nur gering und hinsichtlich möglicher Strahlenbelastung unerheblich. Wie zu erwarten, findet man die höchsten Cäsiumgehalte in der Flugasche. Cäsium ist bei den Ofentemperaturen von über 1.000 °C flüchtig und lagert sich im nachgeschalteten Wärmetauscher bei Temperaturen um 250 °C an die Flugasche an.

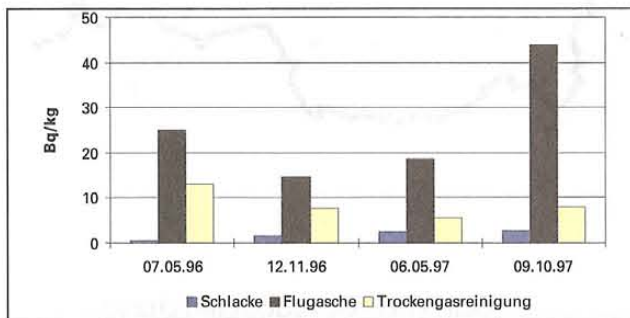


Abb. 38: Cs-137 in Rückständen der Müllverbrennung (SMVA Schöneiche)

4.1.10.3 Kompostierungsanlagen

Die Behandlung dafür geeigneter Abfälle durch Kompostierung ist eine zunehmend genutzte Alternative zur reinen Deponierung oder Verbrennung. Das wiederverwertbare Endprodukt zweier Kompostierungsanlagen wird jeweils halbjährlich untersucht. Die Aktivitätskonzentrationen für Cs-137 liegen zwischen 2,0 und 21 Bq/kg (Median: 6,6 Bq/kg) und damit noch unterhalb des für Kulturböden typischen Bereichs. Deswegen ist ein nachteiliger Einfluß durch die Verwendung

der untersuchten Komposte zur Bodenverbesserung aus der Sicht des Strahlenschutzes nicht gegeben.

4.1.11 Tabak

Je nach persönlicher Einstellung mag mancher die Zigarette als Bedarfsgegenstand oder gar als Lebensmittel einschätzen. Im Sinne des Gesetzes ist ein Tabakerzeugnis weder das eine noch das andere. Gleichwohl ist die Untersuchung von Tabak auf Radioaktivität naheliegend, da mit einer Inhalation von Radioaktivität stets eine Strahlenbelastung verbunden ist. Im Nordosten von Brandenburg gibt es traditionelle Tabakanbaugebiete. Von dort werden jährlich zwei Proben erntereifer Blätter untersucht.

Tab. 9: Cs-137 und Sr-90 im Tabak

Cs-137 (Bq/kg)		Sr-90 (Bq/kg)	
Minimum	Maximum	Minimum	Maximum
< 0,35	1	6,5	8

Die nachgewiesenen Gehalte an künstlicher Radioaktivität sind unbedeutend im Hinblick auf eine Strahlenbelastung beim Rauchen. Unterstellt man, daß z. B. in 10 g rauchfertigen Tabaks 0,007 Bq Cs-137 und 0,07 Bq Sr-90 enthalten seien und vollständig in den inhalierten Rauch übergehen, so hätte das eine Strahlendosis von 0,04 µSv zur Folge.

Demgegenüber ist die Strahlendosis beim Rauchen durch die im Tabak enthaltene natürliche Radioaktivität bereits höher. Für einen Raucher mit einem Verbrauch von täglich 20 Zigaretten ergibt sich eine rechnerische Dosis von ca. 0,17 µSv pro Tag durch das im Rauch enthaltene natürliche Radionuklid Polonium-210 [Sta74].

Diesen kleinen Zahlen gegenüberzustellen ist das erhebliche und statistisch gesicherte Krebsrisiko durch die chemischen Schadstoffe im Tabakrauch. Enthielten Zigaretten Radioaktivität in einer Menge, die ein derartiges Risiko bedingte, wäre der Verkauf verboten und vermutlich schon die Entsorgung ein Problem.

4.1.12 Importe

Neben den Produkten aus dem jeweils eigenen Bundesland untersuchen die Meßstellen der Länder im Rahmen des IMIS jährlich auch eine gewisse Anzahl aus dem Ausland stammender Nahrungs- und Futtermittel. Die Proben werden vorwiegend von an Grenzübergangsstellen ansässigen Untersuchungsbehörden genommen; Futtermittelrohstoffe werden im Verarbeitungsbetrieb beprobt. Die Meßergebnisse zeigen keine Auffälligkeiten im Vergleich mit entsprechenden inländischen Produkten, weswegen sie hier nicht gesondert dargestellt werden. Dies gilt gleichermaßen für Importuntersuchungen im Auftrag Ministeriums für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten (MELF). Diese lebensmittelrechtlichen Messun-

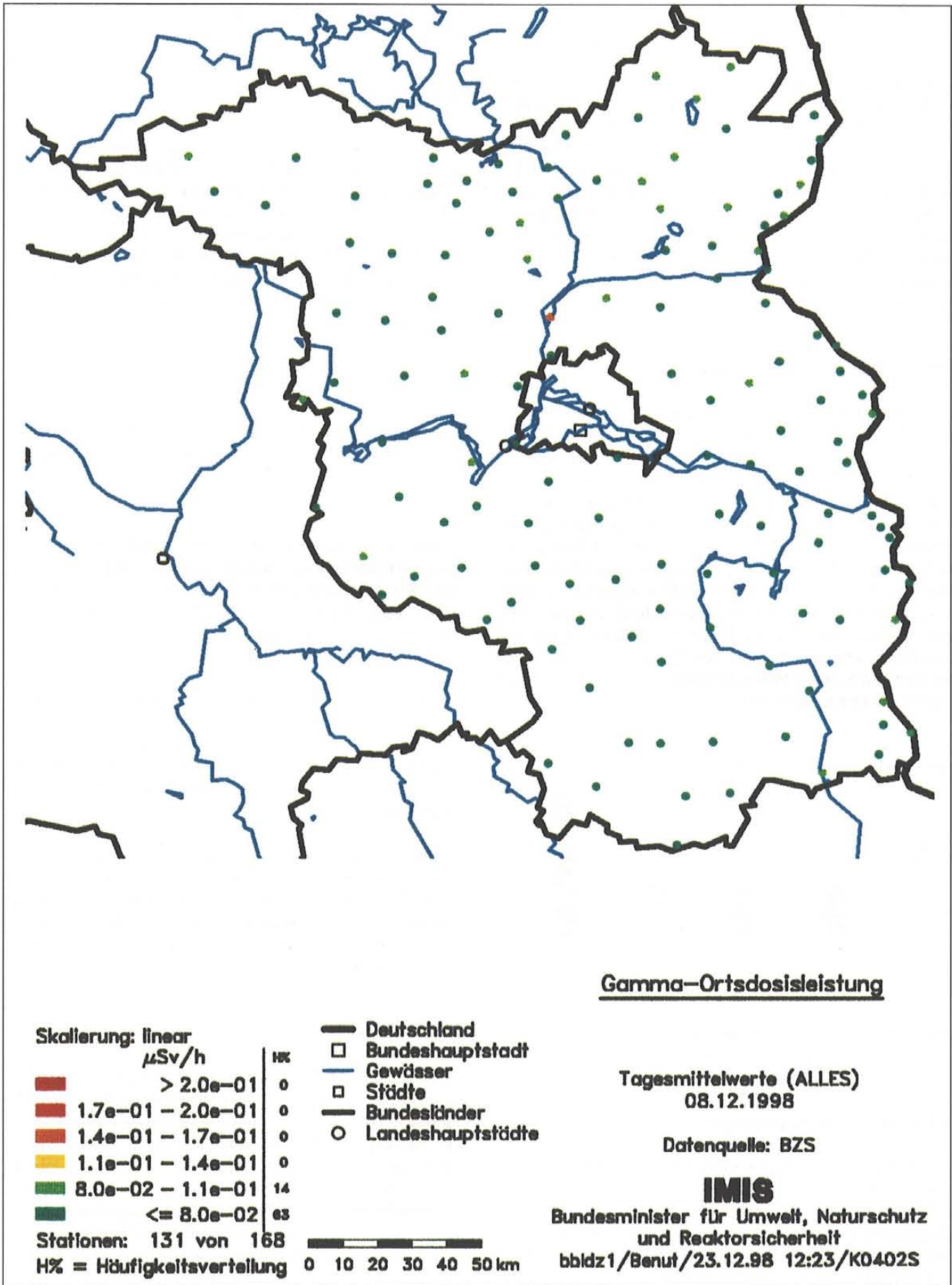


Abb. 39: Gamma-ODL in Brandenburg (BfS-Meßnetz, Tagesmittel vom 08.12.1998)

gen führen die Strahlenmeßstellen des LUA außerhalb des Meßprogramms nach § 3 StrVG an solchen Waren durch, die der EU-Höchstmengenverordnung für Radioaktivität in Lebensmittel aus Drittländern [EG 1990] unterliegen.

4.2 Ausgewählte Überwachungsergebnisse des Bundes in Brandenburg

Wie bereits in Kapitel 2.2 erwähnt, betreibt der Bund verschiedene automatische Meßnetze für Umweltradioaktivität. Ergänzend zu den Ergebnissen der Strahlenmeßstellen des LUA sollen an dieser Stelle die zwei wichtigsten Meßnetze und die Meßergebnisse auf Brandenburger Gebiet kurz dargestellt werden.

4.2.1 Gammaortsdosisleistung (ODL)

Das Meßnetz wird vom Bundesamt für Strahlenschutz betrieben und umfaßt ca. 2.000 Sonden im Abstand von ca. 15 km, davon ca. 140 in Brandenburg. Erfast wird die vom Erdreich ausgehende (terrestrische) und die kosmische Strahlung – im Ereignisfall auch die Gammastrahlung aus der umgebenden Luft. Die Sonden ermitteln kontinuierlich Meßwerte und verarbeiten diese zu 2-Stunden-Mittelwerten. Das ODL-Meßnetz ist in der Lage, anhand festgelegter Prüfkriterien eine automatische Warnung abzugeben. Im Routinebetrieb werden täglich einmal Tagesmittelwerte, im Intensivbetrieb alle 2 Stunden, Werte ins System IMIS eingespeist. Die Abbildung 39 (Seite 34) zeigt ein Beispiel für Tagesmittelwerte der Sonden im Land Brandenburg. Wegen des erfaßten Anteils kosmischer Strahlung [STÖ 1993] sind die Werte mehr als doppelt so hoch wie der Anteil der rein terrestrischen Strahlung. Die Komponente der terrestrischen Strahlung liegt in Brandenburg im Mittel bei 0,028 µSv/h [WIL 1997]. Sie wird im wesentlichen verursacht durch K-40, daneben durch Nuklide der Uran- und Thorium-Zerfallsreihen. Die ODL durch Tschernobyl-Cäsium im Boden beträgt zumeist unter 0,005 µSv/h und liegt damit im Streubereich des natürlichen Anteils [WIL 1997].

4.2.2 Radioaktivität in der Luft

Der Deutsche Wetterdienst (DWD) betreibt ein automatisches Meßnetz für Radioaktivität in der Luft, das 25 Stationen in Deutschland umfaßt, davon zwei in Brandenburg: Angermünde und Cottbus. Die Meßwerte liefern quantitative Aussagen über die einzelnen Bestandteile der luftgetragenen Radioaktivität und ergänzen so die vom ODL-Meßnetz gelieferten integralen Werte. Auch hier werden Daten routinemäßig 1x am Tag, im Ereignisfall zweistündlich eingespeist.

Der Gehalt an künstlicher Radioaktivität in der Luft ist derzeit so gering (ca. 0,001 mBq/m³ Cs-137), daß er von den automatischen Meßstationen nicht mehr nachgewiesen wird. Um auch noch diesen „Grundpegel“ bestimmen zu können, betreibt der Bund einige hochempfindliche Spurenmeßstellen – das sind großflächige Luftfilter, die nach jeweils einwöchigem Betrieb gewechselt und ausgemessen werden.

Natürliche Radionuklide sind dagegen auch mit dem automatischen Meßnetz ständig in der Luft nachweisbar, insbesondere die Bleinuklide Pb-212 (ca. 10-100 mBq/m³) und Pb-214 (einige 1000 mBq/m³). Bei starken Regenfällen werden diese an Luftschwebstoffe (Aerosole) gebundenen Radionuklide auf den Erdboden ausgewaschen und können den terrestrischen Gammastrahlungspegel entsprechend ihrer Halbwertszeit (s. Abb. 1) kurzzeitig meßbar erhöhen.

4.3 Ergebnisse der Überwachung des KKW Rheinsberg

4.3.1 Emissionsüberwachung

Die vom Berichtszeitraum 1996/97 vorliegenden Meßergebnisse belegen, daß durch das KKW keine grenzwertüberschreitenden radioaktiven Ableitungen mit der Abluft und dem Abwasser erfolgten. Die genehmigten Grenzwerte wurden vielmehr weit unterschritten bzw. radioaktive Ableitungen waren z. T. nicht nachweisbar. Tabelle 10 zeigt in einer Übersicht die Jahresabgaben und die prozentualen Anteile der

Tab. 10: Abgaben radioaktiver Stoffe aus dem KKW Rheinsberg

	Genehmigungswert in Bq/a		Abgabe in Bq, Anteil der Jahresabgaben am Genehmigungswert			
	bis 1994	ab 1995	1994	1995	1996	1997
Abluft						
radioaktive Edelgase	5,0 x 10 ¹⁶	entfällt	< EG	< EG	< EG	< EG
radioaktive β-Aerosole	6,0 x 10 ⁹	8,5 x 10 ⁸	11,9 x 10 ³ 0,0002 %	63,7 x 10 ³ 0,007 %	164,2 x 10 ³ 0,02 %	2,2 x 10 ⁶ 0,3 %
radioaktive α-Aerosole	2,5 x 10 ⁷	7,5 x 10 ⁶	< EG	< EG	< EG	< EG
I-131	5,0 x 10 ¹⁰	entfällt	< EG	< EG	< EG	< EG
Abwasser						
γ-β-Strahler	2,0 x 10 ⁹	1,0 x 10 ⁹	6,0 x 10 ⁶ 0,3 %	3,3 x 10 ⁶ 0,3 %	4,4 x 10 ⁶ 0,4 %	15,4 x 10 ⁶ 1,5 %
α-Strahler	keiner	2,8 x 10 ⁷	< EG	26,9 x 10 ³ 0,1 %	28,1 x 10 ³ 0,1 %	47,7 x 10 ³ 0,2 %
Tritium	2,0 x 10 ¹²	1,0 x 10 ¹²	< EG	< EG	< EG	< EG

abgeleiteten radioaktiven Stoffe gegenüber den genehmigten Jahresabgaberraten. Dabei wurden zusätzlich auch die Jahre 1994 und 1995 dokumentiert. Die Genehmigungswerte veränderten sich 1995, nachdem die Genehmigung zur Stilllegung und zum Teilabbau erteilt wurde.

4.3.1.1 Ableitungen mit Luft

Die äußerst geringen Beta-Aerosolaktivitäten von 164,2 kBq im Jahre 1996 bzw. 2,2 MBq im Jahre 1997 bedeuten nur jeweils den Bruchteil eines Prozentes des genehmigten Jahresgrenzwertes. Die Zunahme der Ableitungen steht im Zusammenhang mit im Jahre 1997 begonnenen Demontearbeiten im Kontrollbereich des KKR. Abgaben radioaktiver Edelgase, von Alpha-Aerosolen und I-131 wurden nicht nachgewiesen. Die Werte lagen durchweg unterhalb der Erkennungsgrenze (<EG) für die untersuchten Medien.

4.3.1.2 Ableitungen mit Wasser

Beim Abwasser ist ebenfalls eine geringe Zunahme der Gesamtaktivität zu verzeichnen. Die Erhöhung ist vor allem rechnerisch auf Anteile der Nuklide Eisen-55 (Fe-55) und Nickel-63 (Ni-63), die ab 1996 zusätzlich bestimmt wurden und auf

eine etwas größere radioaktive Belastung der Abwässer der Speziellen Wäscherei im Jahre 1997 zurückzuführen. Die Abgaben an Beta-Gamma-Strahlern lagen 1996 mit $4,4 \times 10^6$ Bq und mit $15,4 \times 10^6$ Bq 1997 trotzdem nur bei 0,4 bzw. 1,5 % des Jahresgenehmigungswertes. Die unbedeutenden Abgaben an Alpha-Strahlern von $28,1 \times 10^3$ Bq im Jahre 1996 und $47,7 \times 10^3$ Bq 1997 lagen unter einem Prozent des Jahresgenehmigungswertes. Tritium wurde im Berichtszeitraum nicht nachgewiesen (<EG).

4.3.2 Immissionsüberwachung

In der Abbildung 40 sind die Meß- und Beprobungsorte der unabhängigen Meßstelle für die Umgebungsüberwachung des KKR dargestellt.

Aus den Meßwerten der Immissionsüberwachung des KKR ist ersichtlich, daß die durch das KKR verursachte Belastung der Umgebung und der Bevölkerung gegenüber anderen Quellen (natürliche Radioaktivität, Tschernobyl-Katastrophe, frühere Kernwaffentests) vernachlässigbar ist. Die in der Umgebung des KKR gemessenen Werte in den verschiedenen Umweltmedien lagen im Größenbereich derer, wie sie auch im Rahmen der allgemeinen Umweltüberwachung in den meisten übrigen Teilen des Landes Brandenburg gefunden wer-

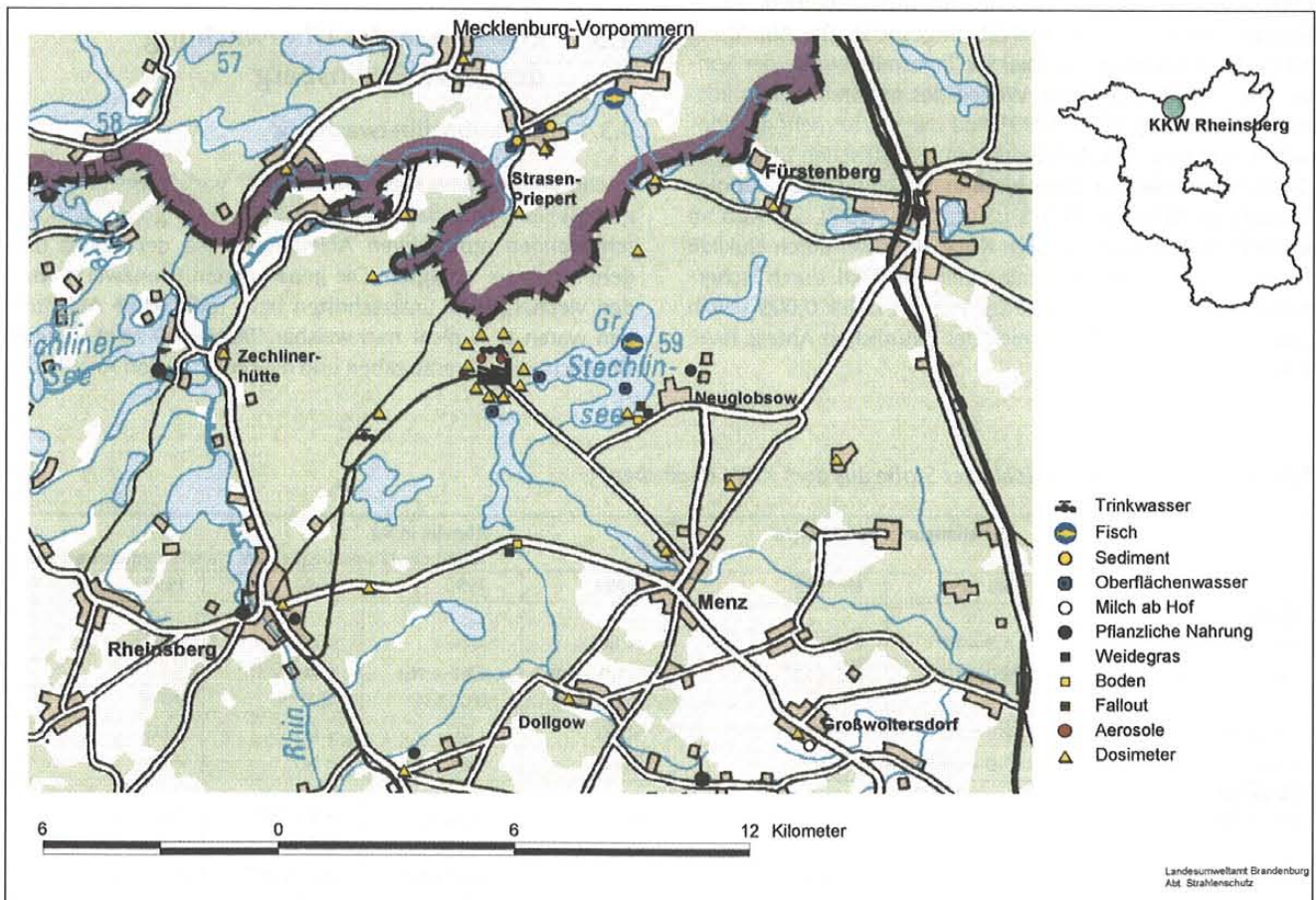


Abb. 40: Probenahmeorte zur Umgebungsüberwachung des KKW Rheinsberg

den. Damit wird belegt, daß im Berichtszeitraum keine nennenswerten durch das KKR verursachte radiologische Belastung der Umgebung auftrat. Nachfolgend werden die Überwachungsergebnisse der einzelnen Umweltbereiche und Medien dargestellt.

4.3.2.1 Umweltbereich Luft

Die kontinuierliche Überwachung der Gammaortsdosisleistung der äußeren Gammastrahlung erfolgt durch den Betreiber an vier Meßorten auf dem Gelände des KKR nahe des Außenzaunes.

An allen Standorten entsprachen die mittleren Werte zwischen 0,09 und 0,14 $\mu\text{Sv/h}$ annähernd dem Pegel in den Vorjahren und im unteren Bereich auch den Werten des Pegels der Gammaortsdosisleistung im Land Brandenburg. Die Werte im oberen Bereich sind auf Erhöhungen durch betriebsbedingte Ursachen zurückzuführen (Lagerung und Entsorgung von radioaktiven Abfällen im Aktiven Lager für radioaktive Rückstände). Der leicht erhöhte Strahlenpegel der Gammaortsdosisleistung hat keinen Einfluß auf die Umgebung des KKR außerhalb des betrieblichen Überwachungsbereiches.

Die Bestimmung der Ortsdosis (Jahresdosis) der äußeren Gammastrahlung erfolgt mit Thermolumineszenzdosimetern an 50 Standorten (10 am Innenzaun des KKR, 40 in der Umgebung) durch den Betreiber und an 30 Standorten (10 am Innenzaun des KKR, 20 in der Umgebung) durch die unabhängige Meßstelle. Der Vergleich der Dosimeterergebnisse ergab keine signifikante Änderung zu den Vorjahren (Mittelwerte um 0,6 mSv). Der Maximalwert von 1,9 mSv wurde ebenfalls, wie oben beschrieben, an einem Standort im betrieblichen Überwachungsbereich des KKR in der Nähe des Aktiven Lagers für radioaktive Rückstände ermittelt.

Die Beprobung von Aerosolen erfolgt an zwei Standorten im betrieblichen Überwachungsbereich des KKR nahe des Außenzaunes mittels 14tägiger Filtersammlung und anschließender gammaspektrometrischer Auswertung durch den Betreiber und an Quartalsmischproben durch die unabhängige Meßstelle. Es wurden keine künstlichen Radionuklide nachgewiesen.

An vier Standorten in der Umgebung des KKR wurde in Behältern mit ca. 0,2 m^2 Auffangfläche trockener Fallout und Niederschlag gesammelt und als Monatsproben durch das KKR gammaspektrometrisch ausgewertet. Für zwei Standorte in unmittelbarer Nähe des KKR wurden diese Monatsproben durch die unabhängige Meßstelle gammaspektrometrisch nachgemessen.

Es wurden vereinzelt geringe Flächenbelegungen von Cs-137 mit maximal 0,6 Bq/m^2 festgestellt. Diese stammen wahrscheinlich aus Ablagerungen der Tschernobyl-Katastrophe und z. T. noch vom Kernwaffenfallout. Durch Resuspension gelangt das Cs-137 vom Boden erneut in die bodennahe Luft und damit in die Falloutbehälter. Weitere künstliche Radionuklide wurden nicht nachgewiesen.

4.3.2.2 Boden, Bewuchs

Boden- und Bewuchsproben werden vom KKR und der unabhängigen Meßstelle jeweils zweimal im Kalenderjahr im II. und III. Quartal an zwei Standorten in der Umgebung entnommen und als Trockenmasse gammaspektrometrisch ausgewertet.

Im Boden (unbearbeiteter Boden) sowie im Bewuchs wurde Cs-137 (Boden: 5,5 bis 19,6 Bq/kg , Bewuchs: 0,7 bis 8,4 Bq/kg) nachgewiesen. An einer Bodenprobe aus dem Jahre 1996 wurden auch noch 0,5 Bq/kg Cs-134 bestimmt.

Diese Meßergebnisse ordnen sich in Ihrer Größenordnung in die allgemeine Überwachung des Landes Brandenburg ein (siehe auch Kap. 4.1). Das Cäsium stammt aus dem Fallout der Reaktorkatastrophe in Tschernobyl und zum geringen Teil auch noch vom Kernwaffenfallout. Weitere künstliche Radionuklide, die dem KKR zuzuordnen wären, wurden nicht ermittelt.

4.3.2.3 Pflanzliche Nahrungsmittel

Im Berichtszeitraum führte die unabhängige Meßstelle an 28 Proben pflanzlicher Nahrungsmittel (Gemüse und Obst) von Beprobungsorten in der Umgebung des KKR jeweils im II. und III. Quartal Gammaspektrometrie durch und bestimmte an 26 Proben Sr-90. Außerdem erfolgten an fünf Waldpilzproben aus der Umgebung ebenfalls gammaspektrometrische Messungen.

Cs-137 konnte lediglich in einer Probe (0,6 Bq/kg) in der Frischmasse von Kohlrüben nachgewiesen werden. In der Frischmasse aller untersuchten Proben wurde jedoch Sr-90 zwischen 0,03 und 1,4 Bq/kg nachgewiesen. In Waldpilzen, vor allem in Maronenröhrlingen wurde bis zu 120 Bq/kg Cs-137 und bis zu 1,6 Bq/kg Cs-134 jeweils in der Frischmasse ermittelt.

Es kann davon ausgegangen werden, daß diese künstliche Radionuklide nicht aus den Radioaktivitätsabgaben des KKR herrühren, da in übrigen Landesteilen vergleichbare Werte, bei Maronenröhrlingen z. T. sogar deutlich höhere Werte, ermittelt wurden.

4.3.2.4 Kuhmilch

Zweimal im Kalenderjahr im II. und III. Quartal werden jeweils Milchproben eines Milcherzeugers aus der KKR-Umgebung sowie einer Milchsammelstelle gammaspektrometrisch ausgewertet und Sr-90 bestimmt. Bei der Gammaspektrometrie wurden keine künstlichen Radionuklide nachgewiesen. Die Sr-90-Bestimmung ergab Werte zwischen 0,02 und 0,04 Bq/l , die nur geringfügig über der geforderten Nachweisgrenze lagen. Die Aufnahme des Sr-90 erfolgt über die Futterpflanzen, die wie pflanzliche Nahrungsmittel ebenfalls noch durch den Kernwaffenfallout bedingt, sehr geringe spezifische Sr-90-Aktivitäten aufweisen.

4.3.2.5 Gewässer

Die Beprobung von Oberflächenwasser durch den Betreiber erfolgt an zwei Stellen in der Havelwasserstraße (vor und hinter der Einleitstelle schwach radioaktiv kontaminierter Abwässer), im Einlaufkanal (Kühlwasser aus dem Nehmitzsee) und im Auslaufbauwerk sowie im Stechlinsee wöchentlich. Bei Abgabe von Wässern in die Havelwasserstraße wird eine Sofortbeprobung durchgeführt. Aus den Einzelproben werden Monatsmischproben erstellt, die gammaspektrometrisch ausgewertet werden und Quartalsmischproben, an denen Tritium bestimmt wird. Die unabhängige Meßstelle führt analoge Messungen an Quartalsmischproben durch, die anteilig aus Monatsmischproben des Betreibers erstellt werden. Die in Abb. 42 dargestellten Ergebnisse der unabhängigen Meßstelle sind im Rahmen der Meßunsicherheit mit den Ergebnissen des Betreibers vergleichbar. Daher wird auf die Darstellung der Betreibermeßwerte verzichtet.

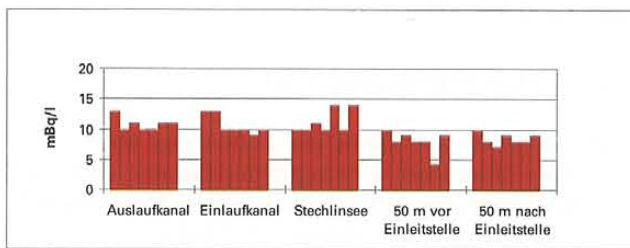


Abb. 41: Cs-137 im Oberflächenwasser (KKR-Überwachung, Ergebnisse der unabhängigen Meßstelle)

In allen Proben wurde Cs-137 in der in Brandenburg üblichen Größenordnung nachgewiesen. Lediglich jeweils in einer Mischprobe aus Wässern hinter der Einleitungsstelle der Abwässer in die Havelwasserstraße wurden durch das KKR und auch durch die unabhängige Meßstelle unbedeutende Aktivitätskonzentrationen von 0,01 bzw. 0,02 Bq/l Co-60 und durch die unabhängige Meßstelle 0,01 Bq/l Eu-152 bestimmt, die eindeutig dem KKR zuzuordnen sind. Die Nachweisgrenze für Tritium von ca. 5-7 Bq/l wurde in keiner Probe überschritten.

Neben der Beprobung des Oberflächenwassers wird auch im Routineprogramm der unabhängigen Meßstelle zweimal jährlich Schlamm (Sediment) vom Grund der Havelwasserstraße vor und hinter der Einleitungsstelle der schwach radioaktiven Abwässer mittels Schlammgreifer entnommen und die Trockenmasse gammaspektrometrisch ausgewertet. Damit werden überwiegend akkumulierte Radionuklide vom Untergrund bestimmt.

Cs-137 in Konzentrationen zwischen 9,1 und 33,0 Bq/kg wurde an allen acht Proben ermittelt, an vier Proben auch Cs-134 (0,3 bis 0,5 Bq/kg). Außerdem wurde in sieben Proben Co-60 (0,2 bis 0,9 Bq/kg) und an einer Probe auch Eu-152 (0,5 Bq/kg) und Eu-154 (0,3 Bq/kg) gefunden. Die geringen Co-60- und Europium-Kontaminationen sind eindeutig dem

KKR zuzuordnen, die Cs-Kontaminationen jedoch überwiegend den bereits obengenannten Ereignissen (Tschernobylkatastrophe, Kernwaffentests).

Das teilweise auch vor der Einleitstelle gefundene Co-60 wird bei den geringen Strömungsgeschwindigkeiten in der Wasserstraße durch Verwirbelungen des Wassers in der Nähe zur Schleuse bei Strasen durch die Schifffahrt von der Einleitstelle gegen die Strömungsrichtung transportiert.

4.3.2.6 Fisch

Von der unabhängigen Meßstelle wurden im Berichtszeitraum neun Fischproben (vier aus dem Ellbogensee hinter der Einleitstelle der schwach radioaktiven Abwässer, fünf aus dem Stechlinsee) gammaspektrometrisch ausgewertet. Tabelle 11 zeigt die Ergebnisse der Überwachung.

Es wurde in allen Proben in der Frischmasse Cs-137 zwischen 3,7 und 140 Bq/kg und in sechs Proben auch Cs-134 bis 1,7 Bq/kg bestimmt. Generell war zu verzeichnen, daß überwiegend in Fischen aus dem Stechlinsee ein höherer Cs-Gehalt als in Fischen aus dem Ellbogensee auftrat. Der Maximalwert für Cs-137 bei Fischen aus dem Stechlinsee lag bei 140 Bq/kg, der aus dem Ellbogensee bei 17 Bq/kg. Der im Vergleich zu anderen Brandenburger Gewässern höhere Cs-Gehalt in Fischen aus dem Stechlinsee (siehe auch Abschnitt 4.1.3.4) hat seine Ursache in der Kaliumarmut des Gewässers (Akkumulation von Cäsium statt Kalium), wurde also nicht durch das KKR verursacht. Sowohl im Wasser als auch in den Fischen wurden außerdem keine weiteren künstlichen Radionuklide nachgewiesen, die auf einen Eintrag durch des KKR schließen ließen.

Tab. 11: Cäsium in Fischen aus Ellbogensee und Stechlin (Überwachung KKW Rheinsberg)

Quartal	Fischart	Ellbogensee		Stechlinsee	
		Cs 137 (Bq/kg)	Cs 134 (Bq/kg)	Cs 137 ¹⁾ (Bq/kg)	Cs 134 (Bq/kg)
II/96	Blei	3,7	< NWG		
	Flußbarsch		140	1,7	
IV/96	Flußbarsch	17,0	0,2	130	1,4
II/97	Flußbarsch	16,0	0,2	140	1,5
IV/97	Hecht		12,0	< NWG	
	Flußbarsch	9,9	< NWG	31,0	0,3

¹⁾ Werte bereits im Kap. 4.1.3.4 grafisch dargestellt

4.3.2.7 Trinkwasser und Grundwasser

Die unabhängige Meßstelle beprobt quartalsweise Trinkwasser aus den Brunnen des KKR-eigenen Wasserwerkes in Beerenbusch.

Zwei Grundwasserbrunnen außerhalb des Außenzaunes des KKR werden für das Routineprogramm durch den Betreiber ebenfalls quartalsweise beprobt.

Gammaskpektrometrische Messungen und die Tritiumbestimmung aller Proben des Routinemeßprogramms ergaben keinen Hinweis auf künstliche Radionuklide.

Für weitere Beobachtungsbrunnen in Grundwasserabstromrichtung des KKR gibt es ein Sondermeßprogramm des Betreibers. Damit soll die Ausbreitung von am Standort vorhandenen Grundwasserkontaminationen verfolgt werden.

5 Zusammenfassung der Ergebnisse

Mit dem vorliegenden Bericht wird ein Überblick über den Stand der Umweltradioaktivität im Land Brandenburg anhand der Meßergebnisse aus den Untersuchungsprogrammen nach Strahlenschutzvorsorgegesetz (IMIS) und Atomgesetz (REI) gegeben. Datenbasis sind überwiegend Messungen aus den Jahren 1996 und 1997. Dem Auftrag der Meßprogramme gemäß liegt der Schwerpunkt auf künstlicher Radioaktivität.

Deutlich wird, daß die Strahlenbelastung in Brandenburg durch künstliche Radionuklide in der Umwelt heute – über 30 Jahre nach dem Ende der atmosphärischen Kernwaffentests und über 10 Jahre nach Tschernobyl – vernachlässigbar gering ist. Die speziell zur Überwachung des stillgelegten Kernkraftwerks Rheinsberg durchgeführten Messungen belegen, daß unzulässige Strahlenbelastungen weder aufgrund des früheren Betriebs noch aufgrund der aktuellen Rückbauarbeiten aufgetreten sind.

6 Anhang

6.1 Begriffserläuterungen, Größen und Einheiten

Aerosol	Luftschwebstoff in Form mikroskopisch kleiner Teilchen. Aerosole treten z. B. als (Schweb-)Staub, Rauch oder Nebel auf. Aerosole sind Träger der in Luft enthaltenen Radioaktivität, sofern diese nicht selbst gasförmig ist.
Aktivität	Zahl der radioaktiven Kernzerfälle pro Sekunde Maßeinheit: Becquerel (Bq). $1 \text{ Bq} = 1/\text{s}$ <i>Die veraltete Maßeinheit Curie (Ci) entspricht $3,7 \cdot 10^{10} \text{ Bq}$, das ist die Aktivität, die in einem Gramm Radium enthalten ist.</i>
Spezifische Aktivität (Aktivitätskonzentration)	Auf ein Volumen, eine Stoffmasse oder eine Fläche bezogene Aktivität, d.h. der „Radioaktivitätsgehalt“. Übliche Maßeinheiten: Bq/l, Bq/m ³ , Bq/kg, Bq/cm ³ . Die auf einer Oberfläche enthaltene Aktivität bezeichnet man auch als Kontamination (s. dort).
Alphastrahlung	Von schweren Atomkernen beim Zerfall ausgesandte Heliumkerne („Alphateilchen“, bestehend aus 2 Protonen und 2 Neutronen). Die Reichweite der Strahlung ist nur sehr gering. Kritisch ist jedoch die Inkorporation (s. dort) alphastrahlender Stoffe in den Körper, da das Gewebe lokal stark geschädigt werden kann.
Becquerel	Maßeinheit der Aktivität (s.dort)
Betastrahlung	Beim Kernzerfall ausgesandte negativ (Elektronen) oder positiv (Positronen) geladene Teilchen. Bereits durch leichte Materialien gut abschirmbar.
BfS	Bundesamt für Strahlenschutz
BMU	Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit
Dosis	Maß für die Wirkung von Strahlung in der bestrahlten Materie. Man unterscheidet u. a.: Energiedosis: Maß für die Energie, die durch Strahlung in die Materie abgegeben wird. Maßeinheit: Gray (Gy) $1 \text{ Gy} = \text{Joule/kg}$ Effektive Dosis: Maß für die Strahlenwirkung auf menschliches Gewebe unter Berücksichtigung der unterschiedlichen Strahlenarten sowie der unterschiedlichen Strahlenempfindlichkeit einzelner Organe. Maßeinheit: Sievert (Sv). Häufig wird die Maßeinheit Millisievert (mSv) gebraucht. $1 \text{ mSv} = 0,001 \text{ Sv}$. <i>Veraltete Maßeinheit: „rem“. $1 \text{ Millirem} = 0,01 \text{ mSv}$</i>
Dosisleistung	Dosis pro Zeiteinheit (s. auch ODL)
FM	Frischmasse. Bezugsgröße für Radioaktivität z.B. in Lebensmitteln.

Gammastrahlung	Im Zusammenhang mit Kernzerfällen ausgesandte energiereiche elektromagnetische Strahlung (Wellenstrahlung). Große Reichweite. Wirksame Abschirmung nur mit schweren Materialien (z. B. Blei).
Gleichgewicht, radioaktives	Zustand, in dem von einem radioaktiven Stoff („Tochternuklid“) pro Zeiteinheit genausoviel Atome zerfallen, wie aus dem radioaktiven Ausgangsstoff („Mutternuklid“) durch Zerfall wieder entstehen. D.h., die Aktivitäten von Mutter- und Tochternuklid sind gleich. Das Gleichgewicht kann sich nur einstellen, wenn das Zerfallsprodukt eine kürzere Halbwertszeit hat als sein Ausgangsstoff. Beispiel: Cäsium-137 (HWZ: 30 Jahre) zerfällt in Barium-137m (HWZ: 3 Minuten). Beide Radionuklide liegen stets als Gemisch mit jeweils gleicher Aktivität vor.
Halbwertszeit (HWZ)	Die Zeit, nach der von einem radioaktiven Stoff die Hälfte der ursprünglich vorhandenen Atome zerfallen ist, d.h. nach der seine Aktivität nur noch halb so groß ist (Maß für die Zerfallsgeschwindigkeit).
IMIS	Integriertes Meß- und Informationssystem zur Überwachung der Umweltradioaktivität nach dem Strahlenschutzvorsorgegesetz
Ingestion	Aufnahme (radioaktiver) Stoffe über den Magen-Darm-Trakt
Inkorporation	Aufnahme (radioaktiver) Stoffe in den Körper. Wesentliche Aufnahmewege sind über die Nahrung (Ingestion), die Atemluft (Inhalation) oder über offene Wunden.
Ionisierende Strahlung	Strahlung, die aufgrund ihrer hohen Energie in der Lage ist, elektrische Ladungen in der durchstrahlten Materie freizusetzen (Ionisation). Nicht nur radioaktive Stoffe können diese Strahlung erzeugen, auch z. B. mit Hilfe von Röntgenröhren ist das möglich.
Isotope	Verschiedene Nuklide (s. dort) des gleichen chemischen Elements, die sich durch die Zahl der Neutronen im Atomkern unterscheiden. Viele chemische Elemente treten in Form von Gemischen von Atomen verschiedener Massenzahl, d.h. als Isotopengemisch, auf. So ist z. B. natürliches Kalium ein Gemisch von 93,3 % Kalium-39, 6,7 % Kalium-41 und 0,01 % Kalium-40. Das letztgenannte Isotop ist radioaktiv.
Kontamination	Verunreinigung mit radioaktiven Stoffen. Im engeren Sinn ist Oberflächenverunreinigung gemeint; bisweilen wird auch die Verunreinigung im Sinne einer Beimischung als Kontamination bezeichnet (s. Aktivitätskonzentration).
Kosmische Strahlung	Aus dem Weltall in die Atmosphäre dringende Teilchenstrahlung (kosmische Primärstrahlung – vor allem Protonen), die durch Wechselwirkung mit Luftmolekülen

	die kosmische Sekundärstrahlung (verschiedene Teilchen) erzeugt. Die Sekundärstrahlung ist am Erdboden meßbar, ihre Intensität nimmt mit zunehmender Höhenlage deutlich zu.
Median	Aus einer Menge von Meßwerten derjenige Wert, oberhalb dessen genausoviel Werte liegen wie unterhalb (Zentralwert). Für Datenmengen, die nicht statistisch normalverteilt sind (z. B. Meßwerte von verschiedenen Orten) sinnvollere Mittelwertangabe als das arithmetische Mittel.
Neutronenstrahlung	Teilchenstrahlung in Form elektrisch neutraler Kernbausteine, der Neutronen. Entsteht z. B. bei Kernspaltungsprozessen oder in speziellen Strahlenquellen (Gemisch leichter Atome mit Alphastrahlern; z. B. Beryllium mit Radium). N. ist auch Bestandteil der kosmischen Strahlung (s. dort).
Nuklid	Nähere Bezeichnung für eine Atomart unter Angabe des chemischen Elements und der Zahl der Teilchen im Atomkern (Massenzahl). Siehe auch „Isotope“.
ODL	Ortsdosisleistung. Gibt an, wie groß die Dosis an einem Ort im Verlauf einer bestimmten Zeit ist. Die am Erdboden meßbare ODL rührt her von Strahlung des Erdreichs (terrestrische Gammastrahlung) sowie von kosmischer Strahlung (s. dort). Übliche Maßeinheit: Mikrosievert pro Stunde ($\mu\text{Sv/h}$).
Radioaktivität	Eigenschaft bestimmter Stoffe, ihre Atome unter Aussendung von Strahlung umzuwandeln. Nichtradioaktive Stoffe nennt man stabil.
Radionuklid	Ein Nuklid (s. dort) mit der Eigenschaft der Radioaktivität.
SAAS	Staatliches Amt für Atomicherheit und Strahlenschutz der DDR
Sievert, Millisievert, Mikrosievert	Einheiten der Strahlendosis (s. Dosis). Abgekürzte Schreibweise: Sv, mSv ($=10^{-3}$ Sv), μSv ($=10^{-6}$ Sv)
TM	Trockenmasse. Bezugsgröße für Radioaktivität z. B. in Bodenproben und Futtermitteln.
Verstrahlung	Ein nicht exakter Begriff. Wird umgangssprachlich gleichermaßen auf Menschen (anstelle von Dosis) als auch auf radioaktive Stoffe (anstelle von Kontamination) angewendet.
Zerfallsreihe	Die Gesamtheit der Radionuklide, in die sich ein radioaktiver Ausgangsstoff nacheinander unter Aussendung von Strahlung umwandelt, einschließlich des Ausgangsstoffs und des nichtradioaktiven Endprodukts. Ein ursprünglich reines Radionuklid liegt nach einer gewissen Zeit im Gemisch mit seinen Zerfallsprodukten (Tochternukliden) vor.

6.2 Wichtige radioaktive Stoffe (Eigenschaften, Verwendung)

Cäsium-137 (Cs-137)

Künstliches Radionuklid, das bei der Urankernspaltung in Reaktoren oder Kernwaffen entsteht. Beim Zerfall (HWZ: 30 Jahre) wird nur Betastrahlung ausgesendet. Das Zerfallsprodukt Barium-137m (das m bedeutet metastabil, d. h. kurzlebige Zwischenstufe) wandelt sich jedoch seinerseits sehr schnell unter Aussendung von Gammastrahlung weiter um (Abb. 4 und 6). Deswegen wird Cs-137 selbst auch als Gammastrahler bezeichnet. Einsatz als Strahlenquelle in technischen Anwendungen.

Cäsium-134 (Cs-134)

Künstliches Radionuklid, das als Folgeprodukt der Urankernspaltung in Reaktoren aber nicht bei Kernwaffenexplosionen entsteht. Gammastrahler mit einer Halbwertszeit von zwei Jahren.

Iod-131 (I-131)

Künstliches Radionuklid, das bei der Urankernspaltung in Reaktoren oder Kernwaffen entsteht. Technische Erzeugung durch Neutronenbestrahlung von Tellurverbindungen [ANG 1987]. Gammastrahler mit einer Halbwertszeit von acht Tagen. Einsatz in der Nuklearmedizin vor allem zur Schilddrüsenthherapie.

Strontium-90 (Sr-90)

Künstliches Radionuklid, das bei der Urankernspaltung in Reaktoren oder Kernwaffen entsteht. Betastrahler mit einer Halbwertszeit von 28 Jahren. Einsatz als Strahlenquelle in technischen Anwendungen.

Tritium (H-3)

Wasserstoff mit einem Proton und zwei Neutronen im Atomkern. Radionuklid, das sowohl natürlich infolge kosmischer Strahlung, als auch als Folgeprodukt von Kernspaltungsprozessen entsteht. Betastrahler mit einer Halbwertszeit von 12 Jahren. Einsatz in der Forschung als Markierungsstoff (Einbau in wasserstoffhaltige Moleküle, die dadurch radioaktiv werden). Produkt im Kernfusionprozeß (Fusionsreaktor, Wasserstoffbombe). Tritiumhaltige Leuchtfarben wurden früher zur Skalenmarkierung in Anzeigegeräten und Uhren sowie in optischen Geräten (Nachtferngläser) eingesetzt.

Kalium-40 (K-40)

Radionuklid, das zu 0,01 Masse-% im natürlichen Kalium enthalten ist und dieses Element deshalb schwach radioaktiv macht. Gammastrahler mit einer Halbwertszeit von 1,3 Mrd. Jahren, der wesentlichen Anteil an der vom Erdreich ausgehenden Strahlung hat. Ein Gramm natürliches Kalium hat eine Radioaktivität von ca. 30 Becquerel K-40.

Cobalt-60 (Co-60)

Künstliches Radionuklid, daß durch Neutronenbestrahlung des stabilen Nuklids Cobalt-59 erzeugt wird. Gammastrahler mit einer Halbwertszeit von fünf Jahren. Einsatz als Strahlenquelle in technischen und medizinischen Anwendungen.

Uran (U)

Natürlich radioaktives Schwermetall, das aus Uranhaltigen Erzen (z. B. Pechblende) gewonnen werden kann. In der Natur vorkommendes Uran ist ein Isotopengemisch aus U-238, U-234 und U-235, die sämtlich Alphastrahler sind. U-235 ist spaltbar und deswegen als Brennstoff für Reaktoren geeignet. In einem aufwendigen Verfahren (Isotopentrennung) kann es über seinen natürlichen Anteil von 0,7 Masse-% hinaus angereichert werden. U-238 (Halbwertszeit 4,5 Mrd. Jahre) und U-235 (Halbwertszeit 700 Mio. Jahre) sind jeweils Ausgangsstoffe radioaktiver Zerfallsreihen. Uran wurde früher in der Herstellung von Farben und Glasuren verwendet.

Thorium (Th)

Natürlich radioaktives Schwermetall, das aus Thoriumhaltigen Erzen (z. B. Monazit) gewonnen werden kann. In der Natur vorkommendes Thorium ist ein Isotopengemisch. Das Nuklid Th-232 hat eine Halbwertszeit von 14

Mrd. Jahren und ist Ausgangsstoff einer radioaktiven Zerfallsreihe, die auch das Nuklid Th-228 enthält. Weitere Thoriumnuklide treten als Zerfallsprodukte der Zerfallsreihen von U-238 und U-235 auf. Technische Verwendung u. a. in Schweißelektroden, Glühstrümpfen für Gaslampen und als Legierungsmetall, früher auch in der Medizin als Kontrastmittel bei Röntgenuntersuchungen (Thorotrast).

Radon (Rn)

Radioaktives Edelgas (Alphastrahler), das als Bestandteil der Zerfallsreihen von Uran und Thorium auftritt. Von besonderer Bedeutung ist das Rn-222. Seine Halbwertszeit von 3,8 Tagen ist ausreichend, um es aus dem Erdreich als Gas in die Atmosphäre gelangen zu lassen. Eingeatmetes Radon, vor allem aber seine radioaktiven Zerfallsprodukte tragen wesentlich zur natürlichen Strahlenbelastung des Menschen bei.

Plutonium (Pu)

Als natürlicher Stoff praktisch nicht vorkommendes radioaktives Element. Plutoniumisotope entstehen im Prozeß der Kernspaltung in Reaktoren, die meisten von ihnen sind Alphastrahler. Aufgrund seiner Spaltbarkeit hat vor allem das Isotop Pu-239 (Halbwertszeit: 24.000 Jahre) Bedeutung erlangt (Kernwaffen, Reaktoren). Verwendung auch in nuklearen Energiequellen für Satelliten und in Rauchgasmeldern älterer Bauart. Durch die oberirdischen Kernwaffentests der 50er und 60er Jahre sind nennenswerte Mengen in die Umwelt freigesetzt worden [KÖL 1989].

6.3 Literatur

6.3.1 Im Bericht zitierte Literatur

- [StrVG] Gesetz zum vorsorgenden Schutz der Bevölkerung gegen Strahlenbelastung (Strahlenschutzvorsorgegesetz – StrVG) vom 19.12.1986, BGBl. I, S. 2610
- [AtG] Gesetz über die friedliche Verwendung der Kernenergie und den Schutz gegen ihre Gefahren (Atomgesetz – AtG) vom 15.07.1985, BGBl. I, S. 1565
- [StrlSchV] Verordnung über den Schutz vor Schäden durch ionisierende Strahlen (Strahlenschutzverordnung – StrVG) vom 30.06.1989, BGBl. I, S. 1321
- [BMU 1997] Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (Hrsg.) Umweltradioaktivität und Strahlenbelastung Jahresbericht 1997
- [IMM 1998] Ministerium für Umwelt, Naturschutz und Raumordnung des Landes Brandenburg: Immissionsschutzbericht 1998
- [WGT 1996] Radioaktive Altlasten auf WGT-Flächen. (Hrsg.): Landesumweltamt Brandenburg, Studien und Tagesberichte Band 12 (1996), Schriftenreihe ISSN 0948-0838
- [AVV 1995] Allgemeine Verwaltungsvorschrift zum Integrierten Meß- und Informationssystem nach dem Strahlenschutzvorsorgegesetz (AVV-IMIS) vom 27.09.1995
BAnz. Nr. 200a vom 24.10.1995
- [REI 1993] Richtlinie zur Emissions- und Immissionsüberwachung kerntechnischer Anlagen vom 30.06.1993; GMBI. Nr. 29 vom 19.08.1993, S.501 ff.
- [EG 1987] Verordnung des Rates 87/3954/EURATOM vom 22. Dezember 1987 zur Festlegung von Höchstwerten an Radioaktivität in Nahrungsmitteln und Futtermitteln im Falle eines nuklearen Unfalls oder einer anderen radiologischen Notstandssituation. (Abl. L-371 vom 30.12.1987, S. 11)
- [Wil 1997] W. WILL u. a.: Ortsdosisleistung der terrestrischen Gammastrahlung in den östlichen Bundesländern Deutschlands. Bericht des Bundesamtes für Strahlenschutz BfS-ST-13/97
- [Ett 1975] E. ETTENHUBER; P. CLAJUS; W. RÖHNSCH: Bestimmung der Akkumulationsfaktoren Fisch/Wasser einiger für die Strahlenbelastung des Menschen wichtiger Radionuklide. SAAS-Report 175 (1975)
- [Fel 1978] W. FELDT u. a.: Konzentrationsfaktoren für Fische. 12. Jahrestagung des Fachverbandes für Strahlenschutz 1978. Tagungsberichte Bd. II, S. 584 ff.
- [LUA 1994] M. HAHN: Radioaktive Belastung von Wildpilzen (Hrsg.): Lan-

desumweltamt Brandenburg in Berichte aus der Arbeit 1994 (1995) S. 100 ff.

- [Sta 1974] W. STAHLHOFEN; E. L. SATTLER; B. GLÖBEL: Interne Strahlenexposition durch ²¹⁰Pb und ²¹⁰Po. In: „Die natürliche Strahlenexposition des Menschen“, G.Thieme Verlag Stuttgart 1974
- [EG 1990] Verordnung des Rates 737/90/EWG vom 22. März 1990 über die Einfuhrbedingungen für landwirtschaftliche Erzeugnisse in Drittländern nach dem Unfall in Tschernobyl (ABl. L-82 vom 29.03.1990, S. 1)
- [Sä 1991] W. SÄNGER; K. HÜBEL: Erstellung eines dynamischen Modells zur Berechnung der Strahlenexposition über den Wasserpfad bei stehenden Gewässern
BMU-Schriftenreihe Reaktorsicherheit und Strahlenschutz Nr. 320 (1991)
- [Ca 1994] P. CASPER: Die Cäsium-Datierung von Sedimenten unterschiedlicher mikrobieller Aktivität. Jahrestagung der Deutschen Gesellschaft für Limnologie, Hamburg 1994
- [STÖ 1993] U. STÖHLKER u. a.: Methoden der Optimierung der Frühwarn-eigenschaften und der Qualitätssicherung des Dosisleistungsmeßnetzes WADIS. 25. Jahrestagung des Fachverbandes für Strahlenschutz e. V. 1993, Tagungsberichte Bd. I, S.178 ff. (Verlag TÜV Rheinland)
- [ANG 1987] W. ANGERSTEIN; S. GURSKY; H. HEGEWALD: Grundlagen der Strahlenphysik und radiologischen Technik in der Medizin. Georg Thieme Verlag Leipzig 1987
- [KÖL 1989] W. KÖLZER u. a.: Plutonium. Bericht des Kernforschungszentrums Karlsruhe Kfk4516 (1989)

6.3.2 Weiterführende und ergänzende Literatur (Auswahl)

- BMU-Jahresberichte „Umweltradioaktivität und Strahlenbelastung“ Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit, PF 12 06 29, 53048 Bonn
- „Die Auswirkungen des Unfalls im sowjetischen Kernkraftwerk Tschernobyl auf das Territorium der DDR“ 1986-1989. Berichte des Staatlichen Amtes für Atomsicherheit und Strahlenschutz der DDR Nr. 353 A-E. Bericht ST1/92 des Bundesamtes für Strahlenschutz
- R. MAUSHART: „Überwachung der Radioaktivität in der Umwelt“ GIT-Verlag Darmstadt 1989. (Einführung in Grundbegriffe der Radioaktivität, Strahlenwirkung und Meßtechnik. Sehr gelungene unterhaltsam-populäre und doch exakte Darstellung dieser Materie)
- M. VOLKMER: „Radioaktivität und Strahlenschutz“ Hamburgische Electricitätswerke AG 1992 (Anschauliche, grafisch gut aufgearbeitete Einführung; als Unterrichtsmaterial geeignet)
- A. REISINGER: „Radiocäsium in Pilzen“ Dissertation Universität Regensburg, Gebr. Borntraeger Verlag Berlin/Stuttgart 1994
- Empfehlungen der Internationalen Strahlenschutzkommission 1990 (ICRP-Dokument 60) (Grundbegriffe und -konzepte im Strahlenschutz, Richtwerte) Gustav-Fischer-Verlag 1993

6.4 Adressen

Ministerium für Umwelt, Naturschutz und Raumordnung des Landes Brandenburg

PF 60 11 64
14411 Potsdam

Referat I 6 – Kerntechnische Genehmigungen,
Radiologische Umweltüberwachung

Landesumweltamt Brandenburg, Abteilung Strahlenschutz

Müllroser Chaussee 50
15236 Frankfurt (Oder)

Referate

S1 (Strahlenschutz und -vorsorge)

S2 (Aufsicht in kerntechnischen Anlagen)

S3 (Landesdatenzentrale des Strahlenschutzes)

S4 (Landesmeßstellen)

– Strahlenmeßstelle Neuendorf
Dorfstraße 16 a
15910 Neuendorf am See

– Strahlenmeßstelle Oranienburg
Sachsenhausener Str. 7
16515 Oranienburg

7 Abbildungen, Tabellen

7.1 Abbildungen

- Abb. 1 Uranzerfallsreihe (vereinfacht) mit HWZ
- Abb. 2 Radioaktives Zerfallsgesetz
- Abb. 3 Entstehung von Alphastrahlung (schematisch)
- Abb. 4 Entstehung von Betastrahlung (schematisch)
- Abb. 5 Entstehung von Neutronenstrahlung durch Kernspaltung (schematisch)
- Abb. 6 Entstehung von Gammastrahlung (schematisch)
- Abb. 7 Belastungspfade für radioaktive Stoffe in der Umwelt
- Abb. 8 Beiträge zur jährlichen Strahlendosis (mSv/a)
- Abb. 9 Datenverbund im System IMIS
- Abb. 10 Probenahmeorte zur Umweltradioaktivitätsüberwachung nach StrVG
- Abb. 11 Meßfahrzeug der Strahlenmeßstellen zur in-situ Gammespektrometrie
- Abb. 12 Bodenkontamination mit Cs-137 im Jahre 1986 (BRD)
- Abb. 13 Bodenkontamination mit Cs-137 im Jahre 1986 (Brandenburg)
- Abb. 14 Radioaktivität in Grünlandböden
- Abb. 15 Radioaktivität in Ackerböden
- Abb. 16 Cs-137 in Gras und anderem Futter
- Abb. 17 Cs-137 in Gewässern
- Abb. 18 Cs-137 in Sedimenten
- Abb. 19 Cs-137 in Friedfischen
- Abb. 20 Cs-137 in Raubfischen
- Abb. 21 Cäsium-Akkumulationsfaktoren Wasser/Fisch zu Kaliumgehalt im Wasser
- Abb. 22 Cs-137 in pflanzlicher Nahrung
- Abb. 23 Sr-90 in pflanzlicher Nahrung
- Abb. 24 Fundorte und Cäsiumgehalte in Maronenröhrlingen 1992-1997
- Abb. 25 Cs-137 in Maronen 1992-1997
- Abb. 26 Cs-137 in Fleisch
- Abb. 27 Häufigkeitsverteilung Cs-137 in Zuchtvieh
- Abb. 28 Häufigkeitsverteilung Cs-137 je Wildart
- Abb. 29 Cs-137 und Sr-90 in Milch
- Abb. 30 Sr-90 in Gesamtnahrung

- Abb. 31 Sr-90 in Kindernahrung
- Abb. 32 Cs-137 in Gesamtnahrung
- Abb. 33 Cs-137 in Kindernahrung
- Abb. 34 Radioaktivität in Trinkwasser – Bergholz-Rehbrücke –
- Abb. 35 Radioaktivität in Trinkwasser – Briesen –
- Abb. 36 Radioaktivität in Klärabwasser
- Abb. 37 Radioaktivität in Klärschlamm
- Abb. 38 Cs-137 in Rückständen der Müllverbrennung (SMVA Schöneiche)
- Abb. 39 Gamma-ODL in Brandenburg (BfS-Meßnetz; Tagesmittel 08.12.1998)
- Abb. 40 Probenahmeorte zur Umgebungsüberwachung des KKW Rheinsberg
- Abb. 41 Cs-137 im Oberflächenwasser (KKR-Überwachung, Ergebnisse der unabhängigen Meßstelle)

7.2 Tabellen

- Tab. 1 Probenahmen und Messungen im Routineprogramm nach § 3 StrVG
- Tab. 2 Probenahmen und Messungen zur Überwachung des KKW Rheinsberg
- Tab. 3 Sr-90 in Futterpflanzen
- Tab. 4 Cs-137 in Indikatorpflanzen (Blätter, Nadeln, Gras)
- Tab. 5 Sr-90, Uran, Plutonium in Oberflächengewässern
- Tab. 6 Cs-137 in Schwebstoffen
- Tab. 7 Akkumulation von Cäsium im Barsch aus Grimnitzsee und Stechlin
- Tab. 8 Radioaktivität in Grundwasser
- Tab. 9 Cs-137 und Sr-90 im Tabak
- Tab. 10 Abgaben radioaktiver Stoffe aus dem KKW Rheinsberg
- Tab. 11 Cäsium in Fischen aus Ellbogensee und Stechlin (Überwachung KKW Rheinsberg)

Schriftenreihe des Landesumweltamtes Brandenburg „Studien und Tagungsberichte“ (ISSN 0949-0838)

- Band 1 **Geotechnik im Deponiebau**
Ausgewählte Beiträge aus den Geotechnischen Seminaren des Landesumweltamtes Brandenburg 1992/94 (1994)
- Band 2 **Abwasserbeseitigung im Land Brandenburg**
Abwasserbeseitigung im Land Brandenburg – dezentrale Lösungen – Tagungsbericht über das Abwassersymposium am 21.10.1992 (1993)
- Band 3 **Das Trockenjahr 1992 im Land Brandenburg**
Eine Modellbetrachtung aus wasserwirtschaftlicher Sicht – Studie (1994)
- Band 4 **Abfallwirtschaft und Bergbau**
Beiträge der Fachtagung „Abfallwirtschaft/Kreislaufwirtschaft – Herausforderung für die Region Cottbus und die Braunkohlenindustrie“ am 05./06.04.1995 (1995)
- Band 5 **Luftqualität 1975 bis 1990**
Ein Rückblick für das Gebiet des heutigen Landes Brandenburg – Studie (1995)
- Band 6 **Wasserbeschaffenheit in Tagebaurestseen**
Bergbaubedingte Wasserbeschaffenheit in Tagebaurestseen – Analyse, Bewertung und Prognose – Untersuchungen im Lausitzer Braunkohlenrevier – Studie (1995)
- Band 7 **Rüstungsaltpasten**
Beiträge des Fachseminars „Rüstungsaltpasten“ am 22.06.1995 in Potsdam (1995)
- Band 8 **Die Havel**
Naturwissenschaftliche Grundlagen und ausgewählte Untersuchungsergebnisse – Studie (1995)
- Band 9 **Rieselfelder Brandenburg-Berlin**
– Fachtagung „Rieselfelder Brandenburg-Berlin“ im Februar 1995
– Bericht des Wissenschaftlich-technischen Beirates Rieselfelder (WTB) vom Dezember 1995 (1995)
- Band 10 **Ausweisung von Gewässerrandstreifen**
Studie zur Erarbeitung von Grundlagen für die Ausweisung von Gewässerrandstreifen – Studie (1996)
- Band 11 **Ökologietage Brandenburg I**
– Natur- und Ressourcenschutz durch nachhaltige Landnutzung – Fachtagung des Landesumweltamtes am 06.11.1996 – Tagungsbericht (1996)
- Band 12 **Radioaktive Altlasten auf WGT-Flächen**
Erfassung und Sanierung radioaktiver Belastungen auf ehemaligen WGT-Liegenschaften im Land Brandenburg – Studie (1996)
- Band 13/14 **Rieselfelder südlich Berlins**
– Altlast, Grundwasser, Oberflächengewässer – Gemeinsamer Abschlußbericht 1996 (1997)
- Band 15 **Die sensiblen Fließgewässer und das Fließgewässerschutzsystem im Land Brandenburg** – Studie (1998)
- Band 16 **Das Sommerhochwasser an der Oder 1997** – Fachbeiträge anlässlich der Brandenburger Ökologietage II – Studie (1998)
- Band 17 **Naturschutz in der Bergbaufolgelandschaft / Leitbildentwicklung** – Studie (1998)
- Band 18 **Landschaftsökologische Untersuchungen an einem wiedervernässten Niedermoor in der Nuthe-Nieplitz-Niederung** – Studie (1998)
- Band 19 **Umweltradioaktivität** – Bericht 1998 für das Land Brandenburg (1999)

Herausgeber:

Landesumweltamt Brandenburg (LUA)
Berliner Straße 21–25
14467 Potsdam
Telefon: 0331-23 23 259 / Telefax: 0331-29 21 08
e-mail: infoline@munr-lua-p-b.brandenburg.de

Schutzgebührenhebung ab Band 8 je 15 DM, Doppelband 20 DM