

# 20 MESSERGEBNISSE AUS DEUTSCHLAND IM ZUSAMMENHANG MIT DEN REAKTORUNFÄLLEN IN FUKUSHIMA

J. Bieringer<sup>3</sup>, M. Bleher<sup>3</sup>, A. Dalheimer<sup>5</sup>, G. Dersch<sup>1</sup>, J. Herrmann<sup>2</sup>, J. Peter<sup>3</sup>, N. Roos<sup>4</sup>, T. Steinkopff<sup>5</sup>, D. Tait<sup>4</sup>, H. Wershofen<sup>6</sup>

<sup>1</sup>Bundesanstalt für Gewässerkunde

Leitstelle für Oberflächenwasser, Schwebstoff und Sediment in Binnengewässern

<sup>2</sup>Bundesamt für Seeschifffahrt und Hydrographie, Leitstelle für Meerwasser, Meeresschwebstoff und -sediment

<sup>3</sup>Bundesamt für Strahlenschutz

<sup>4</sup>Max Rubner-Institut, Institut für Sicherheit und Qualität bei Milch und Fisch

Leitstelle für Boden, Bewuchs, Futtermittel und Nahrungsmittel pflanzlicher und tierischer Herkunft

<sup>5</sup>Deutscher Wetterdienst, Zentrale Offenbach/Main, Leitstelle für Luft und Niederschlag

<sup>6</sup>Physikalisch-Technische Bundesanstalt, Braunschweig, Spurenmessstelle für Luft



Abbildung 20.1  
Das Epizentrum des Großen Ostjapanischen Erdbebens und die Lage der Kernkraftwerksanlage Fukushima-Daiichi

## Der Unfallhergang

Am 11. März 2011 um 14:46 Ortszeit wurde Japan von einem extrem großen Erdbeben erschüttert, dessen Epizentrum vor der Küste der Präfektur Miyagi lag. Durch das Große Ostjapanische Erdbeben, wie es offiziell bezeichnet wird, wurde ein außerordentlich großer Tsunami ausgelöst. Die Naturkatastrophe forderte über 15000 Todesopfer. 3600 Menschen werden noch vermisst. Ungefähr eine Stunde nach dem Erdbeben erreichte die Flutwelle die Kernkraftwerksanlage Fukushima-Daiichi in der Präfektur Fukushima (Abbildung 20.1). Da sie mit 14 m die Höhe der Schutzdämme von 5,7 m bei weitem überstieg, wurden die Reaktorgebäude überflutet [67]. Dadurch fielen die für die Notstromversorgung benötigten Dieselgeneratoren im Untergeschoß der Reaktorblöcke 1 und 2 aus. Die Kühlung der Brennstäbe wurde dadurch unterbrochen und da die Brennelemente frei lagen, kam es zu Kernschmelzen in den Reaktorblöcken 1, 2 und 3. Das Lagerbecken in Block 4, in dem sich zum Zeitpunkt des Unglücks der ausgelagerte Reaktorkern befand, wurde ebenfalls nicht ausreichend gekühlt.

## Freisetzung und Ausbreitung

Durch Wasserstoffexplosionen in den Blöcken 1, 2 und 4 und durch Maßnahmen zur Druckentlastung wurden radioaktive Stoffe in großem Maße freige-

setzt und je nach vorherrschenden Windverhältnissen meist in östlicher Richtung auf den Pazifik transportiert, aber teilweise auch über Land verfrachtet und deponiert (Abbildung 20.2, ([monitoring.tokyo-eiken.go.jp/monitoring/hourly\\_data.html](http://monitoring.tokyo-eiken.go.jp/monitoring/hourly_data.html))). Auf der achtstufigen Internationalen Bewertungsskala für Nukleare Ereignisse (INES) wurde der Unfall in Stufe 7, das ist die höchste Stufe, eingeordnet. Eine Beschreibung und Bewertung von Ablauf und Ursachen findet sich im BfS-Bericht „Die Katastrophe im Kernkraftwerk Fukushima nach dem Seebeben vom 11. März 2011“[68].

Das Netzwerk zur Überwachung der Einhaltung des Kernwaffenteststoppabkommens (Comprehensive Test-Ban Treaty, CTBT, siehe Kapitel 10) zeigte die weltweite Ausbreitung der luftgetragenen radioaktiven Gase und Partikel. Die Luftmassen erreichten nach zwei Tagen den Osten Russlands und nach weiteren zwei Tagen die Westküste der Vereinigten Staaten. Am 20. März wurden radioaktive Spurenstoffe durch die CTBT-Messstation in Island detektiert und in den folgenden Tagen von den Spurenmessstellen in Deutschland nachgewiesen ([www.bfs.de/de/ion/imis/spurenmessungen.html](http://www.bfs.de/de/ion/imis/spurenmessungen.html)).

Der Äquator bildete zuerst eine Barriere für die Luftmassen, ab Mitte April wurden radioaktive Stoffe aus Fukushima aber auch auf der Südhalbkugel nachgewiesen ([www.ctbto.org](http://www.ctbto.org)).

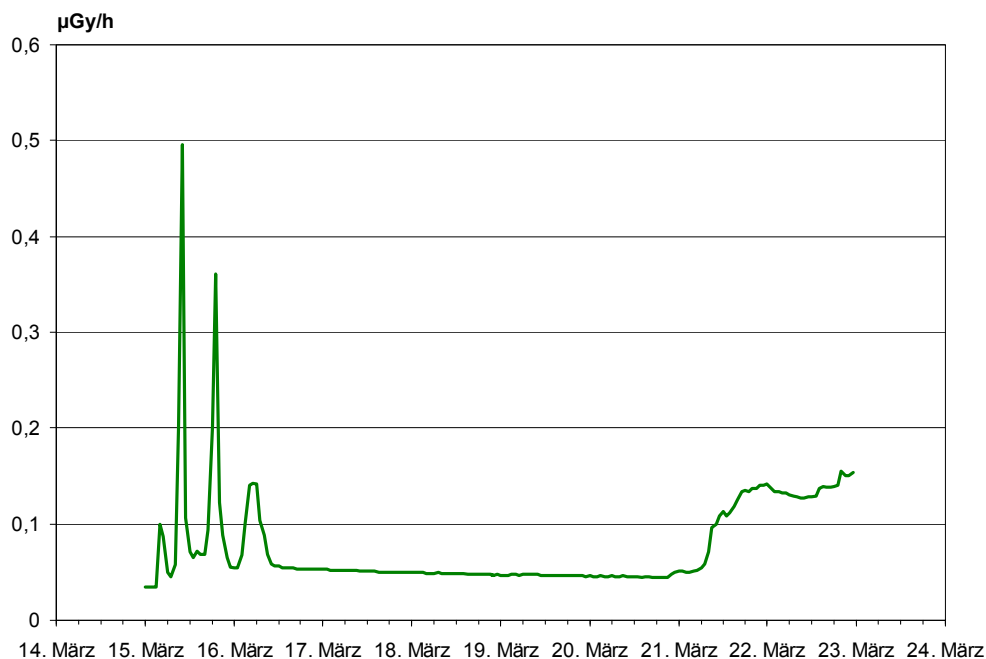


Abbildung 20.2  
Ortsdosisleistung in Tokio-Shinjuku (Messungen des Tokyo Metropolitan Institute of Public Health)

## Messergebnisse

Nach der Freisetzung von – primär leichter flüchtigen – Radionukliden in die Atmosphäre war zu erwarten, dass die internationalen und nationalen Überwachungssysteme diese mit Nachweisempfindlichkeiten bis in den Bereich von Mikrobecquerel pro Kubikmeter erfassen würden [69]:

- Das Radionuklidmessnetz der Comprehensive Test-Ban-Treaty Organisation (CTBTO), mit dem aerosolgebundene Radionuklide und Xenonisotope gemessen werden sowie
- Einrichtungen zur Überwachung der Radioaktivität in der Atmosphäre im Rahmen nationaler und internationaler Regelungen (AVV-IMIS, Sparse Network nach Art. 35/36 EURATOM).

### Spurenmessungen weltweit - das Radionuklidmessnetz der CTBTO

Die Internationale Organisation zur Überwachung des Kernwaffenteststoppabkommens (Comprehensive Nuclear-Test-Ban Treaty Organization, CTBTO) verfügt über ein weltweites Netzwerk von zurzeit 60 in Betrieb befindlichen Radionuklidmessstationen, welches in Tagesproben die an Luftstaub gebundenen  $\gamma$ -Strahlen emittierenden Radionuklide analysiert. Darüber hinaus sind 27 dieser Stationen mit Systemen zur Messung von radioaktiven Xenonisotopen ausgestattet. Die Messstationen der CTBTO zielen nicht auf einen möglichst schnellen Nachweis von Radionukliden ab, sondern sind darauf ausgelegt, kleinste Spuren künstlicher Radionuklide aus Kernwaffenversuchen sicher und belastbar nachweisen zu können. Durch die hierfür eingesetzten zeitaufwändigen Verfahren stehen die Ergebnisse z. B. der Luftstaubmessungen erst mit einem Verzug von ca. drei Tagen nach Ende des Probenentnahmezeitraums zur Verfügung.

Bereits in den Proben vom 14.03.11 (Station Petropavlovsk, Kamtschatka) und 15.03.11 (Station Takasaki, Japan) wurden künstliche, aus Fukushima freigesetzte Radionuklide nachgewiesen. Der Verlauf der Ausbreitung in der nördlichen Hemisphäre konnte anhand der Daten aus dem Radioaktivitätsmessnetz der CTBTO verfolgt werden. Auf der Südhalbkugel wurden in diesem Zeitraum keine Radionuklide aus Fukushima detektiert, was sich mit dem sehr geringen Austausch von Luftmassen zwischen der Nord- und der Südhemisphäre erklären lässt. Lediglich in Neuguinea und auf den Fidschi-Inseln, die zu dieser Zeit noch im Einflussbereich der Luftmassen der nördlichen Hemisphäre lagen, wurden kurzzeitig auch radioaktive Spuren aus Fukushima nachgewiesen.

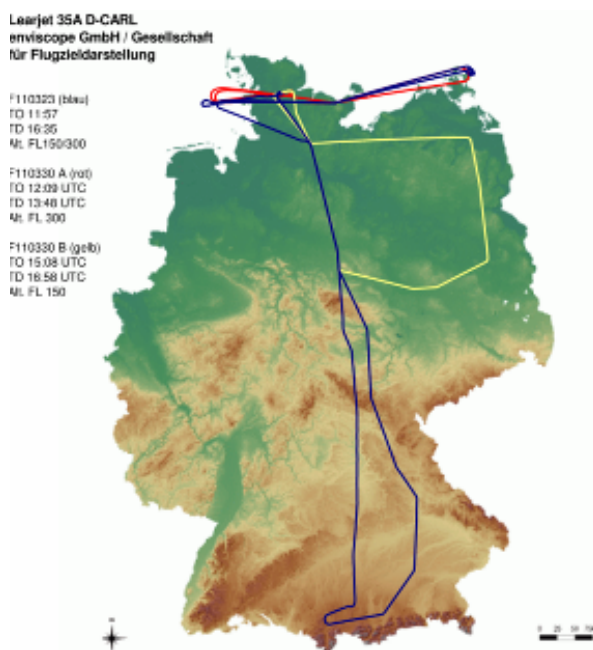
Auf Grund der Messergebnisse aus diesem Messnetz und der regelmäßig durchgeführten Ausbreitungsrechnungen war es möglich, das Eintreffen der kontaminierten Luftmassen in Europa für Mitte/Ende der 12. Kalenderwoche recht präzise vorherzusagen. Die Nutzung dieser Daten war von großer Bedeutung für die Einschätzung der radioologischen Lage in Europa und Deutschland sowie zur Information der Entscheidungsträger und der Öffentlichkeit.

### Flugzeugmessungen

Deutschland erreichte die radioaktive Wolke am 21. März, also zehn Tage nach dem Beginn des Unfalls.

Auf Grund der meteorologischen Prognosen wurden am 23. und 30. März Messflüge im deutschen Luftraum zur Überwachung der Radioaktivität in der Atmosphäre durchgeführt (Abbildung 20.3). Der erste Messflug ergab für die nuklidspezifischen Messungen keine Werte oberhalb der Nachweisgrenze.

Der zweite Messflug am 30. März wurde gestartet, nachdem an verschiedenen Bodenmessstationen  $^{131}\text{I}$  in der bodennahen Luft nachgewiesen worden war.



**Abbildung 20.3**  
Flugrouten der Messflüge des DWD am 23.3.2011 (blau)  
und am 30.3.2011 (rot und gelb)

Die Messung und Auswertung der Filter des Außenlastkörpers im Zentrallabor in Offenbach lieferte erhöhte Werte des Radionuklids  $^{131}\text{I}$ . Für die beiden Filterproben wurden Aktivitätskonzentrationen von  $1,7 \text{ mBq/m}^3$  und  $2,6 \text{ mBq/m}^3$  Luft festgestellt. Die



Werte lagen damit in einem niedrigen Bereich, aber dennoch deutlich über den Nachweisgrenzen von  $0,3 \text{ mBq/m}^3$  und  $0,2 \text{ mBq/m}^3$ . Die Bodenmessstationen wiesen zum 30. März Aktivitätskonzentrationen in der bodennahen Luft im Bereich von  $2\text{-}7 \text{ mBq/m}^3$  auf.

### Spurenmessungen in Deutschland

Als Teil der Überwachung der Umweltradioaktivität werden zur Bestimmung geringster Aktivitätskonzentrationen in der Luft Systeme zur Spurenanalyse beim Bundesamt für Strahlenschutz (BfS), dem Deutschen Wetterdienst (DWD) und der Physikalisch-Technischen Bundesanstalt (PTB) betrieben. Vier dieser Probenentnahmestellen sind zudem Bestandteil des Sparse Network gem. Art. 35/36 des EURATOM Vertrages (vgl. Kapitel 5, Die Berichterstattung an die Europäische Kommission mit Hilfe von IMIS):

- Braunschweig (PTB) – „Deutschland-Nord“
- Potsdam (DWD) – „Deutschland-Ost“,
- Offenbach (DWD) – „Deutschland-Mitte“ und
- Schauinsland/Freiburg (BfS) – „Deutschland-Süd“.

Der Zeittakt für die Probenentnahme an diesen vier Spurenmessstellen wurde ab dem 23.03.11 von wöchentlicher auf tägliche Probenentnahme der aerosolgebundenen Radionuklide umgestellt, um Ergebnisse mit hoher zeitlicher Auflösung zu erhalten. Die PTB und das BfS verfügen über einen zweiten Hochvolumensammler am jeweiligen Probenentnahmeort, der DWD an seiner Station in Offenbach. Diese wurden weiterhin im wöchentlichen Rhythmus betrieben. Dies hatte den Vorteil, dass neben einer hohen zeitlichen Auflösung mit einer höheren Nachweisgrenze (NWG bezogen auf  $^{60}\text{Co}$ : ca.  $20 \text{ }\mu\text{Bq/m}^3$  bis  $30 \text{ }\mu\text{Bq/m}^3$ ) auch zusätzlich Messergebnisse mit der gewohnten Empfindlichkeit (NGW bezogen auf  $^{60}\text{Co}$ : ca.  $0,3 \text{ }\mu\text{Bq/m}^3$ ) erhoben werden konnten. Vergleichswerte der Routinemessungen finden sich in Kapitel 10, Spurenmessung in der Bodennahen Luft.

Die Messergebnisse wurden von der Leitstelle Spurenanalyse im BfS zusammengefasst und an das BMU, die IAEA sowie an die Europäische Union (EU) berichtet. Daneben wurden sie im System der elektronischen Lagedarstellung des Notfallschutzes (ELAN) bereit gestellt und zentral auf den Internetseiten des BfS veröffentlicht. Dezentral wurden auch die Internetseiten der PTB und des DWD zur Veröffentlichung von Messwerten genutzt.

Ab dem 21.04.2011 wurde der Probenentnahmezeitraum in Absprache mit dem BMU vom täglichen zunächst auf einen zwei- bzw. dreitäglichen Rhythmus

und ab dem 09.05.2011 wieder auf wöchentliche Probenentnahme (Normalbetrieb) umgestellt, da die beobachteten Aktivitätskonzentrationen für  $^{131}\text{I}$  nahe den Nachweisgrenzen bzw. zeitweise schon darunter lagen.

In den Proben vom 23.03.11 wurde zunächst  $^{131}\text{I}$  an den Spurenmessstellen in Braunschweig, Potsdam und Offenbach nachgewiesen, am darauf folgenden Tag dann auch an der Messstation Schauinsland. Die Zeitverläufe der Aktivitätskonzentrationen von  $^{131}\text{I}$ ,  $^{134}\text{Cs}$  und  $^{137}\text{Cs}$  in [Abbildung 20.4](#) zeigen einen ähnlichen Verlauf. Der zeitliche Versatz des ersten Anstiegs der Aktivitätskonzentrationen belegt die Durchzugsrichtung der kontaminierten Luftmasse von Nordwesten nach Südosten und verdeutlicht auch die Auswaschung der an den Luftstaub gebundenen Radionuklide durch Niederschläge auf dem Transportweg. Dem entsprechend variierten die maximalen Aktivitätskonzentrationen in den Proben Ende März für  $^{131}\text{I}$  zwischen  $3,7 \text{ mBq/m}^3$  (Potsdam) und  $1,1 \text{ mBq/m}^3$  (Schauinsland). Für  $^{134}\text{Cs}$  und  $^{137}\text{Cs}$  wurden in Potsdam und Offenbach maximale Aktivitätskonzentrationen von ca.  $0,4 \text{ mBq/m}^3$  gemessen. In Braunschweig und auf dem Schauinsland lagen die Maximalwerte bei ca.  $0,1 \text{ mBq/m}^3$ . Im weiteren zeitlichen Verlauf glichen sich durch die Vermischung der Luftmassen die Zeitverläufe der verschiedenen Standorte weiter an. So wurde ein zweites Maximum der Aktivitätskonzentrationen am 05.04.11 an allen Stationen zeitgleich mit ähnlichen Aktivitätskonzentrationen nachgewiesen. Die Aktivitätskonzentrationen der Radionuklide in der Luft nahmen in der Folge u. a. durch Verdünnung und radioaktiven Zerfall kontinuierlich ab. Der Zeitverlauf für  $^{131}\text{I}$  zeigt, bedingt durch dessen recht kurze Halbwertszeit von 8 Tagen, den steilsten Abfall. Die maximale Aktivitätskonzentration, die nach Tschernobyl am 01.05.1986 im Bayerischen Wald gemessen wurde, betrug  $10 \text{ Bq/m}^3$  für  $^{137}\text{Cs}$  und  $20 \text{ Bq/m}^3$  für  $^{131}\text{I}$ .

Neben den an Luftstaub gebundenen Radionukliden wurden auch größere Mengen radioaktiver Edelgase (z. B.  $^{133}\text{Xe}$ ) freigesetzt, die in der Atmosphäre ungehindert transportiert wurden. [Abbildung 20.5](#) zeigt den Zeitverlauf der Xenonaktivitätskonzentration an den vier Spurenmessstellen (Wochenproben) sowie der CTBT-Messstation auf dem Schauinsland (Tagproben). Auch hier zeigt sich der bereits erläuterte zeitliche Versatz des Eintreffens der kontaminierten Luftmasse an den Spurenmessstellen. Im weiteren Verlauf sind hier jedoch nur noch geringe Unterschiede zwischen den einzelnen Spurenmessstellen zu beobachten. Als Vergleich ist die Aktivitätskonzentration eingezeichnet, die in der Folge der Reak-

torkatastrophe von Tschernobyl in der Wochenprobe vom 28.04. bis 05.05.1986 an der Spurenmessstelle Schauinsland ermittelt wurde. Der Maximalwert wurde in der Tagesprobe vom 01.05.1986 mit  $106 \text{ Bq/m}^3$  bestimmt.

Für die Analyse der Wochenproben für IMIS wird ein integrierendes Messverfahren verwendet (siehe Kapitel 10, Spurenmessung in der Bodennahen Luft), das Messsystem für die CTBT ermöglicht nuklidspezifische Analysen. Auf Grund des langen Transportweges bis Europa trugen nur das Hauptisotop  $^{133}\text{Xe}$  (Halbwertszeit; 5,25 Tage) und das Isomer  $^{131\text{m}}\text{Xe}$  (Halbwertszeit: 11,9 Tage) zur Gesamtaktivitätskonzentration bei, so dass ein Vergleich der Ergebnisse beider Verfahren möglich ist und gute Übereinstimmung zeigt (Abbildung 20.5).

### Spurenmessungen in Europa - „Ring of Five“

Eine umfassende, schnelle gegenseitige Information über die Kontamination des europäischen Luftraums wurde insbesondere möglich über ein informelles Netz von Laboratorien zur Spurenmessung, dem sogenannten „Ring of Five“ (Ro5).

Der „Ring of Five“ ist ein informelles Netzwerk zur Information seiner Mitglieder über auffällige Messergebnisse bei der Spurenanalyse von Radionukliden in der bodennahen Luft [70]. Vorrangiges Ziel des Ro5 ist es, so schnell wie möglich alle Partner im Netz über die verfügbaren Messergebnisse zu informieren, auch in Form von Rohdaten. Dadurch wird schnellstmöglich ein Bild der Lage erhalten, wie z. B. auch nach der Freisetzung von  $^{137}\text{Cs}$  aus einem Stahlwerk bei Gibraltar 1998 [71].

Nach der ersten Beobachtung kontaminierter Luftmassen in Island begann ein kontinuierlicher Messdatenaustausch im Ro5 am 23.03.11. Mit dem Durchzug der ersten von zwei „radioaktiven Wolken“ über Mitteleuropa konnten so in den folgenden Tagen sehr schnell deren Zugrichtung von Nordwest nach Südost und der zeitliche und geographische Verlauf der Aktivitätskonzentration in der Luft ermittelt werden.

Eine Zusammenstellung und Diskussion der im Verlauf des Ereignisses im Ro5 erhobenen Daten findet sich in einer gemeinsamen Publikation [72].

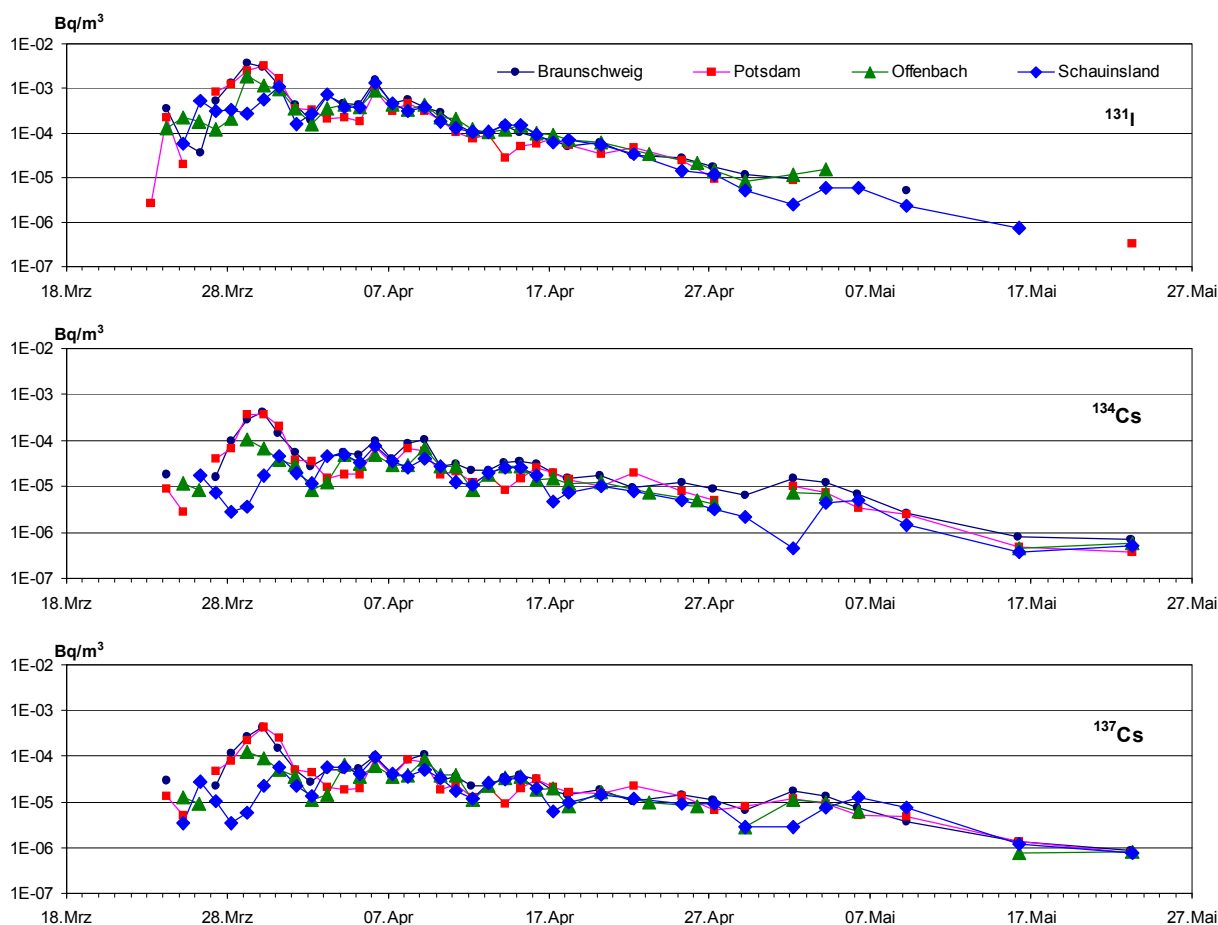
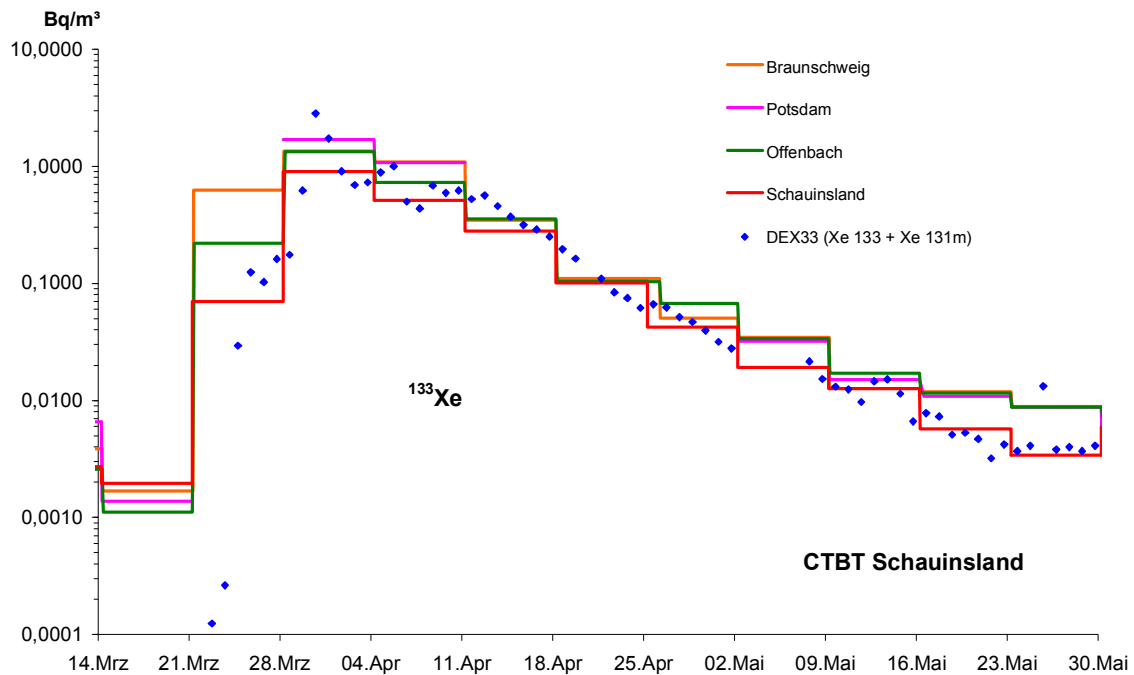


Abbildung 20.4

Zeitverlauf der Aktivitätskonzentration von  $^{131}\text{I}$ ,  $^{134}\text{Cs}$  und  $^{137}\text{Cs}$  an den vier Spurenmessstellen in Deutschland



**Abbildung 20.5**  
**Zeitverlauf der Aktivitätskonzentrationen von Radioxenon an den vier Spurenmessstellen sowie der CTBT-Messstelle auf dem Schauinsland**

### Niederschlag

Aus den vom DWD gemessenen Aktivitätskonzentrationen von  $^{131}\text{I}$  im Niederschlag lässt sich die deponierte Aktivität berechnen, die aus dem Fukushima-Ereignis stammt (siehe [Tabelle 20.1](#)). Vergleichswerte für die dem Erdboden durch Niederschläge zugeführte Gesamtbetaaktivität finden sich in Kapitel 9, Messnetz für Luft und Niederschlag.

### Gewässer

Ausbreitungsberechnungen zeigten, dass von dem Reaktorunfall in Fukushima für Deutschland keine radiologisch relevanten Einträge radioaktiver Stoffe in Gewässer zu befürchten waren. Zu erwarten waren allenfalls Spuren von Radioaktivität. Nachdem über geringe Aktivitätskonzentrationen von  $^{131}\text{I}$  und  $^{137}\text{Cs}$  vom BfS an der Messstation Schauinsland berichtet wurde, wurden mit und nach den ersten Niederschlägen gezielt Wasserproben aus dem Rhein bei Koblenz entnommen und gammaspektrometrisch untersucht.  $^{131}\text{I}$  wurde mit ca. 5 und  $^{137}\text{Cs}$  mit 13 mBq/l gemessen,  $^{134}\text{Cs}$  wurde nicht nachgewiesen. Da  $^{134}\text{Cs}$  nicht nachgewiesen wurde, deutet dies eher darauf hin, dass  $^{131}\text{I}$  und  $^{137}\text{Cs}$  auf die Vorbelastung des Rheinwassers aus Nuklearmedizin

bzw. Tschernobyl-Unfall und Kernwaffenfallout zurückzuführen sind. Die Messwerte liegen in Bereichen, die auch in der Zeit vor dem Fukushima-Unfall gemessen wurden. Die danach im Rahmen des Routinemessprogramms sowohl vom Bundesamt für Gewässerkunde (BfG) als auch von den Ländern ermittelten Aktivitätskonzentrationen an Wasserproben zeigten diesbezüglich keine besonderen Auffälligkeiten (vgl. Kapitel 12, Radioaktive Stoffe in Binnengewässern).

### Ostsee

Im Sommer 2011 wurden an sieben Positionen in der westlichen Ostsee Schwebstoffproben aus jeweils 8 m<sup>3</sup> Seewasser mittels Durchflusszentrifuge entnommen. Das für Kernkraftwerksunfälle, also auch für den Fukushimaunfall, charakteristische Nuklid  $^{134}\text{Cs}$  konnte jedoch nicht nachgewiesen werden. Die gefundenen spezifischen Aktivitäten an  $^{137}\text{Cs}$  von 5 – 30 Bq/kg TM sind für den Schwebstoff in der Ostsee auf Grund der Hinterlassenschaft von Tschernobyl charakteristisch und lassen sich nicht mit Fukushima in Zusammenhang bringen (vgl. Kapitel 14, Radioaktive Stoffe in Nord- und Ostsee).

Tabelle 20.1

Im März 2011 abgelagerte  $^{131}\text{I}$ -Aktivität  $\text{Bq/m}^2$  (aus Messdaten für Aktivität im Niederschlag und Niederschlagsmenge)

DWD-Messstation	$^{131}\text{I}$ $\text{Bq/m}^2$	DWD-Messstation	$^{131}\text{I}$ $\text{Bq/m}^2$
Schleswig	22,18	Görlitz	2,39
Fehmarn	4,24	Aachen	7,49
Arkona	0	Barweiler	2,05
Norderney	6,05	Wasserkuppe	28,9
Hamburg	14,54	Gera	0,73
Rostock	3,43	Zinnwald	5,31
Greifswald	4,76	Trier	12,78
Bremen	0	Offenbach	13,13
Seehausen	7,56	Würzburg	4,45
Angermünde	2,81	Hof	4,66
Lingen	10,16	Saabrücken	17,85
Bad Lippspringe	3,8	Rheinstetten	16,14
Hannover	3,4	Nürnberg	8,47
Magdeburg	2,87	Regensburg	1,74
Potsdam	1,51	Lahr	16,19
Essen	5,3	Stötten	14
Kahler Asten	5,34	München	14,22
Brocken	11,21	Fürstzell	7,46
Artern	0	Konstanz	13,96
Cottbus	3,77	Garmisch-Partenkirchen	11,75

Datenquelle: DWD

### Messungen von repräsentativen Umweltmedien nach dem Durchzug der radioaktiven Wolke aus Fukushima

Nach den ersten Meldungen von Spuren der künstlichen Radionuklide  $^{131}\text{I}$  und  $^{137}\text{Cs}$  in Luftfilterproben der BfS-Messstation Schauinsland, begann die Leitstelle in Kiel repräsentative Umweltmedien aus der Umgebung regelmäßig zu untersuchen. Die repräsentativen Umweltmedien waren Rohmilch (stellvertretend für Nahrungsmittel tierischer Herkunft), Winterlauch (stellvertretend für pflanzliche Nahrungsmittel) bzw. Weidebewuchs (stellvertretend für Futtermittel). Ergebnisse der Routinemessungen finden sich in Kapitel 16, Boden, Pflanzen, Futtermittel, Milch und Gesamtnahrung.

#### Beschreibung der Proben und deren Ursprung:

**Rohmilch:** Ab dem 31.03.2011 wurden 10-Liter-Proben aus der Sammelmilch der Kuhherde (ca. 80 Tiere) der Versuchsstation des MRI in Schaedtbek bei Kiel ein- bis zweimal wöchentlich morgens genommen. Über den gesamten Untersuchungszeitraum (bis 18.05.2011) wurde die Herde in einem über-

dachten aber seitlich offenen sog. Laufstall gehalten und mit Winterfütterung versorgt. Es fand während dieser Periode keine Weidefütterung statt.

**Lauch:** Ab dem 24.03.2011 wurden zweimal wöchentlich und ab dem 29.04.2011 einmal wöchentlich Freiland-Lauchproben von einem Feld in der Nähe von Schinkel (bei Kiel) entnommen. Dies war die einzige zu dieser Jahreszeit in Schleswig-Holstein verfügbare Freiland-Blattgemüsesorte. Die Pflanzen standen an diesem Standort über den Winter und waren bereits zu Beginn des Untersuchungszeitraumes gut entwickelt. Zur Probenentnahme wurden die Pflanzen 1 bis 2 cm oberhalb des Bodens abgeschnitten. Die Probenmengen betragen jeweils 2 bis 4 kg Frischmasse.

**Weidebewuchs:** Ab dem 01.04.2011 wurden zweimal wöchentlich, ab dem 29.04.2011 einmal wöchentlich, vom selben 1 Hektar großen Areal einer Dauerweide der Versuchsstation des MRI (s.o.) an 14 zufällig ausgewählten Stellen Bewuchsproben genommen. Bei der Wahl der 14 Stellen wurde darauf

geachtet, dass sie im Laufe des Untersuchungszeitraums nicht bereits probiert waren.

Zu Beginn des Untersuchungszeitraumes hatte die Wachstumsphase der Weidepflanzen noch nicht begonnen. Die Proben wurden daher durch Rupfen statt durch Schneiden entnommen und die Gesamtprobenmenge war etwas kleiner (ca. 2 kg Frischmasse) als die ab 08.04.2011 während der Wachstumsphase genommenen Proben (2 bis 5 kg Frischmasse).

#### Probenvorbereitung vor der gammasspektrometrischen Untersuchung:

**Milch:** Die Milchprobe wurde in der Meierei des MRI bei 55 °C homogenisiert und konserviert. Da nur äußerst geringe Aktivitäten zu erwarten waren, wurde die gesamte 10 l-Probe über mit Anionenaustauscherharz gefüllte Säulen gegeben, um das gesamte Iod der Milch auf dem Harz zu binden und aufzukonzentrieren. Bei der Gammasspektrometrie ergab die Messung des Harzes eine deutlich kleinere Nachweisgrenze für das  $^{131}\text{I}$  im Vergleich zur direkten Messung der flüssigen Milchprobe. Zur Prüfung ob weitere Radionuklide vorhanden waren, wurde zusätzlich ein 1-Liter-Aliquotenteil der flüssigen, eluierten Milch gammasspektrometrisch untersucht.

**Weidebewuchs und Lauch:** Die Proben wurden frisch und sofort nach Ankunft im Labor, ohne Zwischenlagerung oder Vorbehandlung (z.B. Waschen) bearbeitet. Nach Entfernung von verwelkten Teilen oder Fremdmaterial u. ä. wurden Teilproben (etwa 1 kg) dieser Probenarten mit ca. 25 ml wässriger 10 mol/l NaOH in einem Küchenhomogenisator zu einem Brei zerkleinert. (Die NaOH-Lösung wurde hinzugefügt um Iodverluste durch Verflüchtigung während der Messung zu vermeiden). Das Homogenisat wurde dann in 1-Liter-Marinellibecher für die gammasspektrometrischen Untersuchungen überführt.

#### Ergebnisse der Messungen:

Die Ergebnisse der Messreihen sind in den Abbildungen 20.6 bis 20.10 dargestellt. In Milch wurde  $^{131}\text{I}$  in den Proben vom 31.03. bis zum 11.04.2011 nachgewiesen. Am 14.04. und 18.04.2011 lagen die Werte bereits unterhalb der Nachweisgrenze von 2 mBq pro Liter. Die später genommenen Proben wurden sogar bis zum Erreichen einer  $^{131}\text{I}$  Nachweisgrenze von 1 mBq pro Liter gemessen. Bei den direkt gemessenen Milchproben lagen die Aktivitätskonzentrationen der Cäsium-Radionuklide  $^{134}\text{Cs}$  und  $^{137}\text{Cs}$  unterhalb der Nachweisgrenzen von 30 bis 40 mBq pro Liter.

Bei den Lauchproben wurden in dem Zeitraum vom 31.03. bis zum 26.04.2011 Aktivitätskonzentrationen

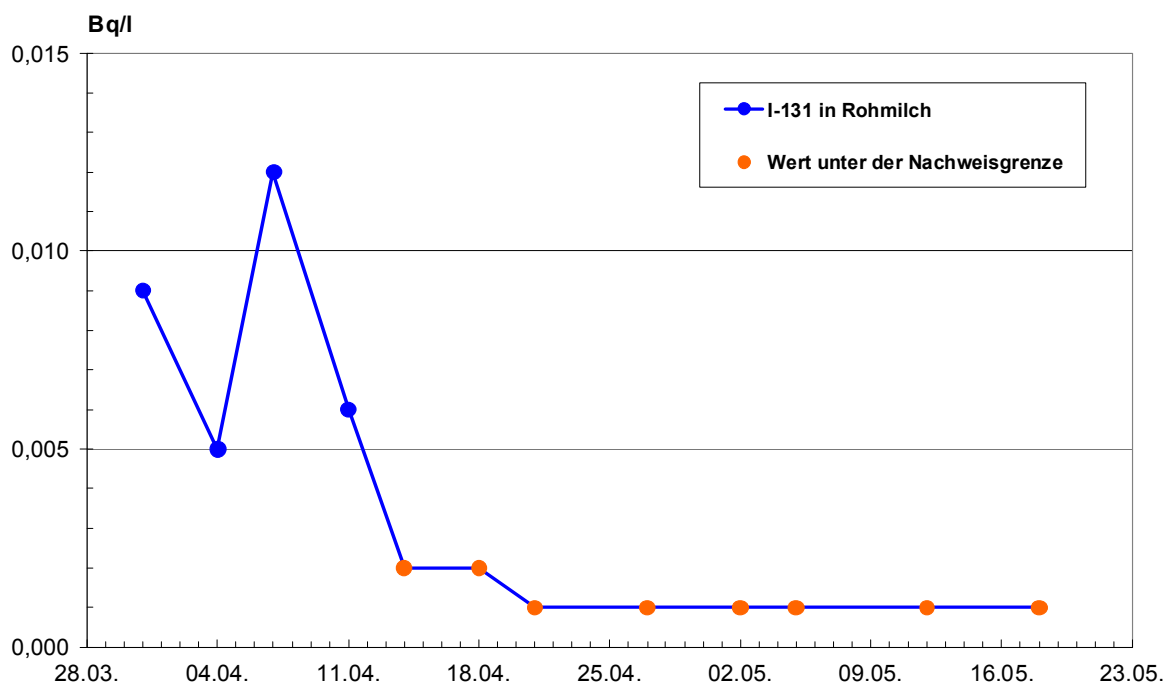


Abbildung 20.6

Zeitlicher Verlauf der Aktivitätskonzentrationen des Radionuklids  $^{131}\text{I}$  in der Milch von Kühen der Versuchsstation Schädtkbek im Jahr 2011 (keine Weidefütterung!)



für  $^{131}\text{I}$  deutlich oberhalb der Nachweisgrenze von 40 mBq pro kg Frischmasse gemessen. Vom 30.03. bis 08.04.2011 blieben die Messwerte nahezu konstant, bevor sie entsprechend der physikalischen

Halbwertszeit dieses Radionuklids abnahmen. Aktivitäten von  $^{134}\text{Cs}$  und  $^{137}\text{Cs}$  wurden lediglich in den Proben vom 08.04. und 11.04.2011 knapp oberhalb der Nachweisgrenzen gefunden.

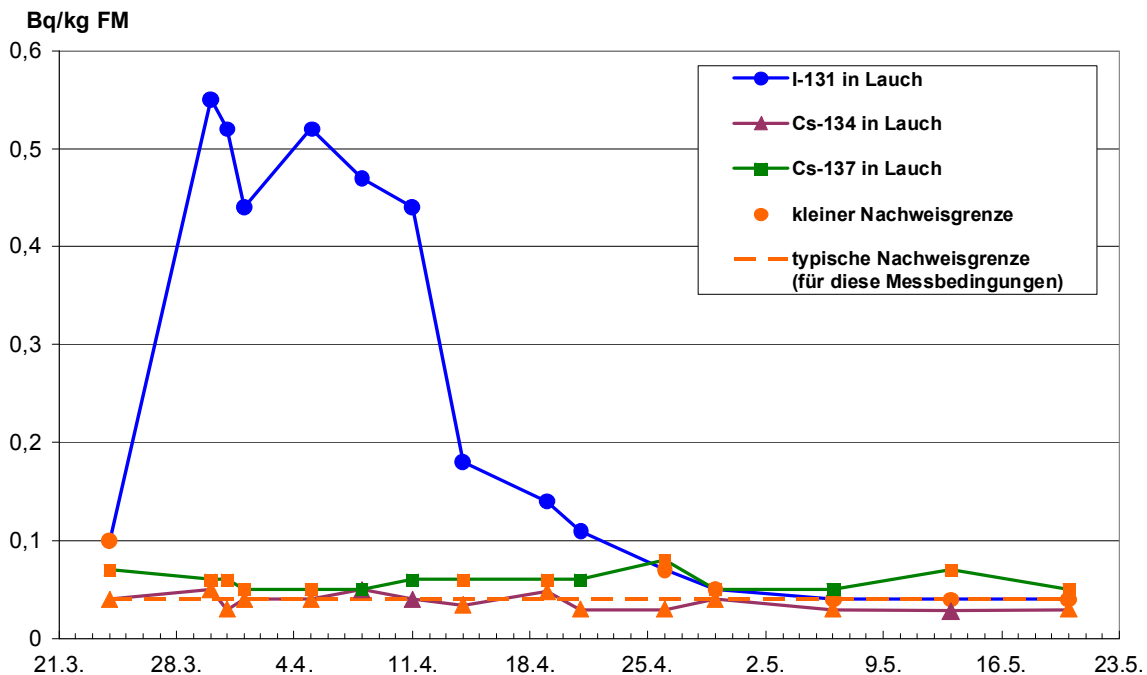


Abbildung 20.7

Zeitlicher Verlauf der Aktivitätskonzentrationen der Radionuklide  $^{131}\text{I}$ ,  $^{134}\text{Cs}$  und  $^{137}\text{Cs}$  in Freiland-Lauch von einem Feld bei Schinkel (Schleswig-Holstein) im Jahr 2011

Die Weidebewuchsproben wiesen die größten Aktivitätskonzentrationen der drei Nuklide auf. Auch in dieser Probenart nahmen die Werte erst ab dem 08.04.2011 mehr oder weniger kontinuierlich ab und blieben bis etwa Mitte Mai oberhalb der respektiven Nachweisgrenzen. Die Interpretation des zeitlichen Verlaufes der Werte wird durch einige Faktoren erschwert:

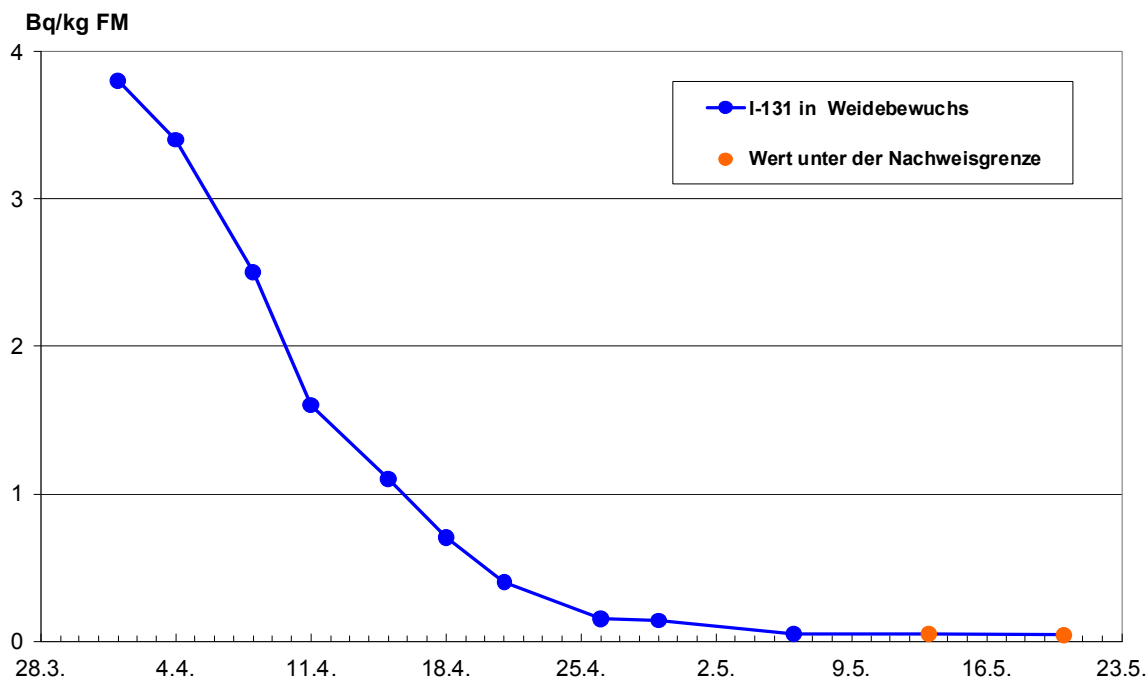
1. Das unterschiedliche und nicht bekannte Depositionsmuster am Probenentnahmeort. Die nahegelegene DWD-Messstelle in Schleswig (etwa 35 km nördlich von Kiel) berichtete von zwei  $^{131}\text{I}$ -haltigen Niederschlägen (1,16 bzw. 1,19 Bq/l) am 31.03. und am 05.04.2011. Laut DWD wurden die Niederschlagsmessungen vom 30.03. bis zum 18.04.2011 durchgeführt und dann eingestellt, da keine Spuren von  $^{131}\text{I}$  mehr zu erkennen waren.
2. Die zunehmende Verdünnung der Aktivitätskonzentrationen der Radionuklide durch das Einsetzen der Wachstumsperiode der Weidepflanzen ab etwa der ersten Aprilwoche.
3. Der Einfluss von anderen radioökologisch relevanten Variablen wie Auswaschungen oder Resuspension von Nukliden (nach z. B. heftigen

Regenfällen) oder Verdunstungseffekte insbesondere bei Iodnukliden.

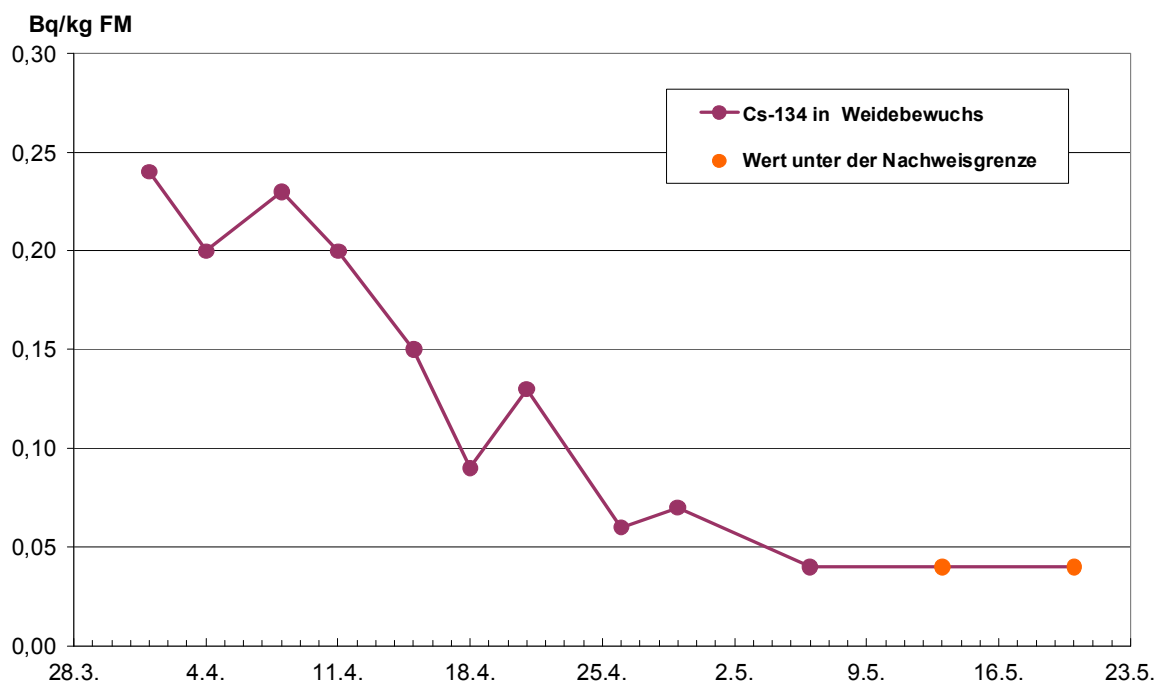
4. Der o.g. physikalische Zerfall des kurzlebigen  $^{131}\text{I}$  innerhalb des Untersuchungszeitraumes.

Jedoch stimmen die beobachteten Aktivitätskonzentrationen über den Zeitraum 01. bis 08.04. 2011 insbesondere für  $^{131}\text{I}$  und  $^{137}\text{Cs}$  mit der Beobachtung von kontaminiertem Niederschlag am 31.03. und am 05.04.2011 der DWD-Messstellen in Schleswig zeitlich überein.

Die kurzlebigen Spaltprodukte  $^{131}\text{I}$  und  $^{134}\text{Cs}$  werden in Pflanzen- und Nahrungsmittelproben in Deutschland seit vielen Jahren nicht mehr nachgewiesen. Die  $^{137}\text{Cs}$ -Aktivitätskonzentrationen in Weidebewuchs in Schleswig-Holstein liegen im Mittel unterhalb 0,30 Bq/kg FM mit Maximalwerten bis 1,6 Bq/kg FM. Die hier beobachteten Werte wären daher für sich allein genommen nicht untypisch. Die Zunahme der Werte für  $^{137}\text{Cs}$  vom 01. bis 08.04.2011 jedoch sowie die spätere Abnahme unter die Nachweisgrenze von 20 mBq/kg FM deuten darauf hin, dass sich in der ersten April-Woche auch zusätzliches  $^{137}\text{Cs}$  auf dieser Weide niedergeschlagen hat.



**Abbildung 20.8**  
 Zeitlicher Verlauf der Aktivitätskonzentrationen des Radionuklids  $^{131}\text{I}$  in Weidebewuchs der Versuchsstation Schädtkbek im Jahr 2011



**Abbildung 20.9**  
 Zeitlicher Verlauf der Aktivitätskonzentrationen des Radionuklids  $^{134}\text{Cs}$  in Weidebewuchs der Versuchsstation Schädtkbek im Jahr 2011

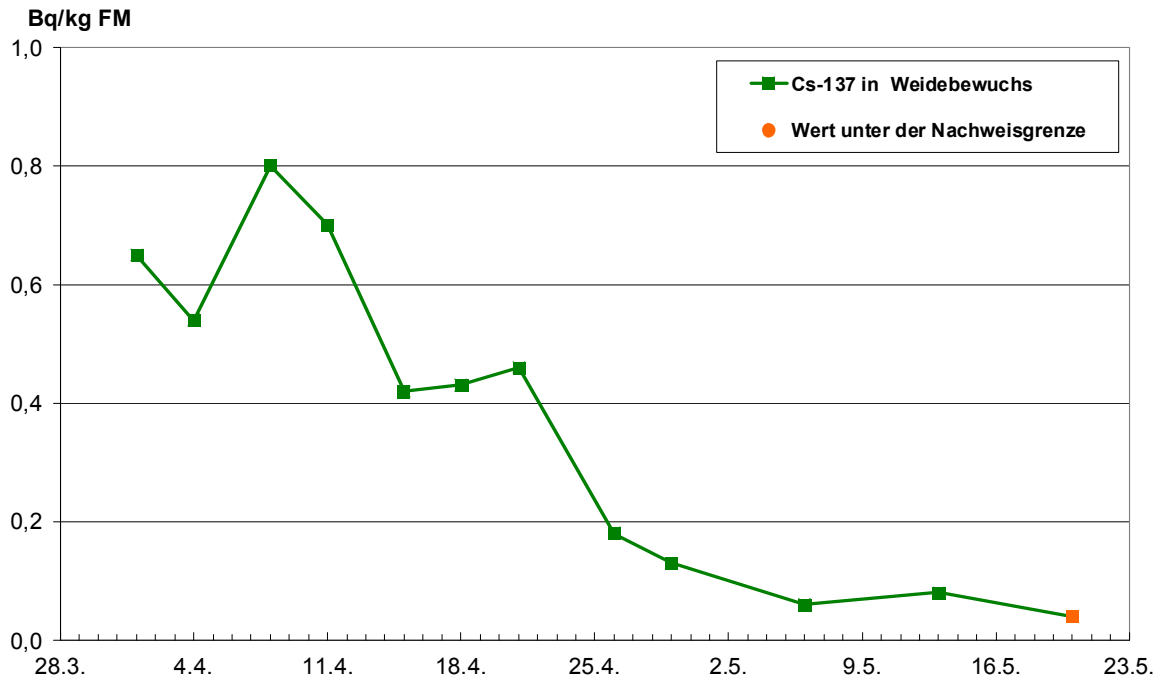


Abbildung 20.10

Zeitlicher Verlauf der Aktivitätskonzentrationen des Radionuklids  $^{137}\text{Cs}$  in Weidebewuchs der Versuchsstation Schödtbek im Jahr 2011

Wegen der zeitlichen Übereinstimmung mit dem Durchzug der radioaktiven "Wolke" aus den havarierten Kernreaktoren in Fukushima liegt es nahe, diese als die einzige Quelle der hier berichteten Kontaminationen anzunehmen. Andererseits ist es nicht auszuschließen, dass geringe Beiträge zu den  $^{131}\text{I}$ -Kontaminationen von gasförmigen Leckagen aus einer  $^{131}\text{I}$ -Produktionsanlage in Budapest (Ungarn) stammt<sup>1</sup>. Störfälle als mögliche Quelle in diesem Zeitraum sind jedoch nicht bekannt. Die hier berichteten Messwerte spiegeln den direkten Niederschlag auf der Oberfläche von Pflanzen wider. Die zu einem späteren Zeitpunkt zu erwartenden Aufnahme von den Cs-Nukliden aus dem Boden über die Wurzeln

<sup>1</sup> Nach Spuren-Nachweisen von  $^{131}\text{I}$  in der 44. KW in mehreren Ländern in Zentraleuropa wurden u.a von der IAEA Recherchen zur Herkunft dieses Radionuklids durchgeführt. In der Folge gaben im November 2011 ungarische Behörden bekannt, dass von Januar bis Mai 2011 ca. 300 GBq  $^{131}\text{I}$  aus einer Radionuklidproduktionsanlage in Budapest wegen Problemen mit der Filteranlage in die Luft freigesetzt wurden. Die Hauptfreisetzung fand vom 5. bis 12. April statt. Im September und Oktober gab es zusätzliche Freisetzungen von insgesamt 324 GBq. Es ist bisher unklar, ob ein Teil des im Frühjahr freigesetzten  $^{131}\text{I}$  nach Deutschland gelangen und sich hier niederschlagen konnte.

der Pflanzen wird jedoch vernachlässigbar und im Rahmen der routinemäßigen Überwachung gemäß IMIS nicht nachweisbar sein. Im Sinne einer Strahlenexposition der Menschen in Deutschland ist diese zusätzliche Kontamination der Umwelt unbedeutend.

Bedingt durch die lange Wegstrecke der radioaktiven Wolke erreichte Deutschland lediglich ein äußerst geringer Anteil der in Fukushima freigesetzten radioaktiven Stoffe. Die Ergebnisse der hier beschriebenen Untersuchungen zeigen jedoch eindrucksvoll, dass selbst so kleine Spuren davon mit der im Rahmen des IMIS installierten Messkapazität schnell nachgewiesen werden. Zudem wird die Tauglichkeit des Weidebewuchses als empfindlicher Indikator von radioaktivem Fallout bestätigt.

### Arzneimittel und Bedarfsgegenstände

Nach dem 11. März dieses Jahres wurden in der Arbeitsgruppe zur Inkorporationsüberwachung des Bundesamtes für Strahlenschutz Rückkehrer aus Japan untersucht. Parallel zu diesen Untersuchungen wurden in der Leitstelle für Arzneimittel und deren Ausgangsstoffe sowie Bedarfsgegenstände Kleidungsstücke einiger untersuchter Personen gamma-spektrometrisch gemessen. Abhängig davon, wann sich diese Personen in Japan aufgehalten hatten,

konnten die Isotope:  $^{131}\text{I}$ ,  $^{132}\text{I}$ ,  $^{133}\text{I}$ ,  $^{134}\text{Cs}$ ,  $^{136}\text{Cs}$ ,  $^{137}\text{Cs}$ ,  $^{132}\text{Te}$  mit geringen Aktivitäten in den gemessenen Proben nachgewiesen werden. Insgesamt wurde festgestellt, dass die Hauptkontamination an der Kleidung haftete und nicht am bzw. im Körper zu finden war.

In IMIS sind in den geprüften Proben aus Japan keine Auffälligkeiten aufgetreten. Hierbei wurden Bedarfsgegenstände wie z. B. Verpackungsmaterialien für Lebensmittel und Kosmetika sowie Ausgangsstoffe für die Kosmetikherstellung erfasst (vgl. Kapitel 19, Arzneimittel und deren Ausgangsstoffe sowie Bedarfsgegenstände).

## Bewertung der radiologischen Lage in Deutschland

Die gemessenen Werte stellten keine gesundheitliche Gefährdung für die Menschen und die Umwelt in Deutschland und Europa dar, da sie ein Vielfaches unterhalb der Strahlenbelastung durch natürliche Radionuklide lagen. Die Messergebnisse, die bei den unterschiedlichen Messverfahren unabhängig voneinander erreicht wurden, lagen für die künstliche Strahlung durch radioaktive Partikel im Bereich von wenigen tausendstel Becquerel je Kubikmeter Luft und können nur mit den Methoden der Spurenanaly-

se ermittelt werden. Ebenfalls nur mit Methoden der Spurenanalyse war die Ermittlung der Aktivitätskonzentrationen radioaktiver Xenonisotope möglich, deren Beitrag zur Strahlenbelastung, auch bei den kurzzeitig erreichten Konzentrationen von einigen Becquerel pro Kubikmeter Luft, nicht von radiologischer Bedeutung war.

Zum Vergleich: Durch das natürlich vorkommende Edelgas Radon und dessen an Luftstaub gebundenen Folgeprodukte liegen die Aktivitätskonzentrationen dieser natürlich vorkommende Radionuklide in Deutschland im Freien kontinuierlich bei einigen Becquerel je Kubikmeter Luft. Standortabhängig schwanken diese Werte, weil die Radonkonzentration vom geologischen Ausgangsgestein und der Wetterlage beeinflusst wird. Der 24-stündige Aufenthalt in einem Bereich mit einer  $^{131}\text{I}$ -Aktivitätskonzentration von beispielsweise  $5 \text{ mBq/m}^3$  Luft (in dieser Größenordnung lagen die höchsten Ergebnisse der Messstationen Braunschweig und Potsdam am 29.03.2011) führt für einen Erwachsenen zu einer zusätzlichen Strahlenbelastung von etwa einem milliardstel Sievert. Dies entspricht in etwa der natürlichen Strahlenbelastung bei einer Minute Aufenthalt im Freien.