

# Nicht alltägliche Messergebnisse

Herbert Wershofen\*

Besondere Ereignisse fallen meistens bei Messungen der wöchentlichen Proben auf. In Braunschweig finden sich nur wenige „große“ Ereignisse wie die kerntechnischen Unfälle in Tschernobyl oder Fukushima. Mehrheitlich sind es kurzzeitige oder nur in geringen Spuren aufgetretene Kontaminationen. Es kann sogar sein, dass an einem gegebenen Ort, an dem zwei Luftstaubproben gleichzeitig und genau gleich lange entnommen wurden, in einer Probe eine Auffälligkeit gemessen wird, während sich in der anderen Probe keine ersichtliche Kontamination nachweisen lässt. Dieses auf den ersten Blick verwunderliche Phänomen lässt sich jedoch erklären: Gasförmig vorliegende Radionuklide sind recht homogen in der Luft verteilt und gelangen daher in einem vergleichbaren Ausmaß in die Staubproben. Im Gegensatz dazu besteht bei nichtflüchtigen Radionukliden die Möglichkeit, dass, wenn sie in geringen Spuren an nur relativ wenigen Staubkörnern gebunden vorliegen, von einer homogenen Verteilung in der Luft keine Rede mehr sein kann. Es gibt auch Fälle, in denen winzige Partikel, die Spalt- oder Aktivierungsprodukte enthalten, über die Abluft einer kerntechnischen Anlage in die freie Atmosphäre gelangen. Solche Partikel sind in Fachkreisen als „heiße Teilchen“ (engl.: hot particles) bekannt. Der Begriff besagt nicht, dass diese Teilchen im eigentlichen Wortsinn heiß sind. Gemeint ist vielmehr, dass sie eine höhere spezifische Aktivität als die übrigen Teilchen in ihrer Umgebung besitzen. Zu Zeiten des frischen Kernwaffenfallouts oder unmittelbar nach dem Unfall von Tschernobyl waren sie deshalb leicht zu detektieren, analog zu einem heißen Teilchen, dass wegen seiner Wärmestrahlung leicht zu finden ist. Die in einem heißen Teilchen enthaltene spezifische Aktivität eines Radionuklides, angegeben z. B. in Bq/g, kann recht hoch sein. Dabei kann die gesamte Aktivität des Radionuklides sehr klein sein, besonders, wenn das Teilchen sehr wenig Masse hat.

Es sind genau solche sehr kleinen Teilchen, die mit der Luft sehr weit transportiert werden können. Nach langen Transportwegen sind dann nur noch vereinzelte heiße Teilchen in der Luft, die schließlich gewissermaßen als Einzelgänger einen

Luftstaubsammler erreichen und dort in eine Probe gelangen. Es leuchtet ein, dass die in einem solchen Fall gemessene Aktivitätskonzentration nicht auf die gesamte Luftprobe hochgerechnet werden darf. Dieser Messwert ist nicht repräsentativ für die Luftprobe, auch wenn er mit kleiner Messunsicherheit gemessen wurde.

Einige im Verlauf der 50-jährigen Geschichte der Spurenmessstelle beobachtete besondere Messergebnisse:

- Zur Jahreswende 1970/1971 gelang der Nachweis frischer Spaltprodukte von einem am 16.12.1970 in Nevada (USA) durchgeführten unterirdischen (d. h. nicht atmosphärischen) Kernwaffenversuch. Interessant an diesem Messergebnis ist, dass nach dem unterirdisch durchgeführten Kernwaffenversuch frische Spalt- und Aktivierungsprodukte nicht nur bis zur Erdoberfläche, sondern auch in etwas höhere Luftschichten gelangt waren. Der englische Fachbegriff dafür ist „venting“, was entgasen, entlüften oder auch Druckausgleich bedeutet. Offensichtlich waren durch die Explosion genügend Undichtigkeiten (Geologen sagen „Wegsamkeiten“) in dem über der Explosionskammer gelegenen Deckgebirge entstanden.
- Im Februar 1977 wurde erstmalig Selen-75 (Se-75) in Braunschweig gefunden. Die Quelle war vermutlich ein Krematorium in Süd-Niedersachsen, in dem ein Toter bestattet wurde, der zuvor nuklearmedizinisch mit Se-75 behandelt worden war. Radionuklide, die in der Nuklearmedizin für diagnostische oder therapeutische Zwecke eingesetzt werden, werden im Normalfall in dafür vorgesehenen Auffang- und Abklingeinrichtungen gesammelt, bis die erlaubten Grenzwerte für die Entsorgung oder die Ableitung erreicht sind. Weiterführende Informationen zu diesem Aspekt der Anwendung radioaktiver Stoffe in der Medizin sind über die Internetseite der Strahlenschutzkommission verfügbar [1].
- Im November 1983 wurden im norwegischen Skibotn, später auch in Braunschweig und in Berlin, bei Ostwind-Wetterlagen Spuren von Zirkon-95 (Zr-95) und Niob-95 (Nb-95) gemessen.

\* Dr. Herbert Wershofen, Arbeitsgruppe „Umweltradioaktivität“, E-Mail: herbert.wershofen@ptb.de

sen. Das Aktivitätsverhältnis Nb-95/Zr-95 war meist typisch für Reaktor-Korrosionsprodukte. Diese können im normalen Leistungsbetrieb über die Abluft in die Atmosphäre gelangen, aber auch im Zuge einer Kraftwerksrevision.

- Die ersten Spaltprodukte aus Tschernobyl wurden in Braunschweig bereits am Nachmittag des 29. April 1986 nachgewiesen, nachdem der Reaktor in den sehr frühen Morgenstunden des 26. April 1986 explodiert war. Die erste Wolke mit den gasförmigen Spalt- und Aktivierungsprodukten und den kleinen Staubteilchen, die bei der Explosion des Reaktors entstanden waren, zog zuerst mit einer südöstlichen Strömung nach Skandinavien. Dort wurde die Kontamination der Luft als erstes entdeckt, als Angestellte eines Kernkraftwerkes in die Anlage wollten und bei der Eingangskontrolle die dort installierten Strahlungsdetektoren Alarm auslösten. Später drehte sich der Wind und die kontaminierten Luftmassen erreichten auch Deutschland.
- Von 1988 bis 1996 wurde mehrmals Lanthan-140 (La-140) ohne sein Mutternuklid Barium-140 (Ba-140) nachgewiesen. Zwischenzeitlich stellte sich heraus, das La-140 für die Dekontaminationsausbildung im militärischen Bereich verwendet wurde. Eine diesbezügliche Publikation erschien 1987 in einer wehrtechnischen Fachzeitschrift [2].
- Im Zeitraum vom 1. bis 8. Juni 1998 wurde an einer großen Anzahl von Spurenmessstationen Italiens, Frankreichs, Spaniens, der Schweiz, der Tschechischen Republik, der Niederlande und Süddeutschlands eine deutliche Erhöhung der Cs-137-Aktivitätskonzentration in der Luft

beobachtet. Die Quelle der Cs-137-Emission war ein Stahlwerk in Algeciras westlich von Gibraltar. Im Zeitraum Ende Mai bis Anfang Juni wurde dort beim Recycling von Stahlschrott ein medizinisch-radiotherapeutischer Cs-137-Strahler in einem Hochofen eingeschmolzen und das leichtflüchtige Caesium in die Atmosphäre freigesetzt [3].

- In der 35. Kalenderwoche 2002 (26.08. bis 02.09.02) wurde in Teilen Nord- und Mitteleuropas eine geringfügige Erhöhung der Cs-137-Aktivitätskonzentration beobachtet. Der höchste Wert in Deutschland wurde mit  $18,4 \mu\text{Bq}/\text{m}^3$  an der DWD-Station in Westmarkelsdorf (Fehmarn) gemessen. Die Aktivitätskonzentrationen nahmen innerhalb Deutschlands in südwestlicher Richtung ab. Bild 2 zeigt die Messergebnisse von Nord nach Süd geordnet. An der Spurenmessstelle der PTB in Braunschweig wurden ca.  $8 \mu\text{Bq}/\text{m}^3$  ( $= 8,0\text{E}-6 \text{ Bq}/\text{m}^3$ ) ermittelt. Der Vergleich mit den Werten von Hannover und Magdeburg zeigt, dass die Cs-137-Spuren in unserer Region recht homogen vorlagen. In Süddeutschland wurden hingegen lediglich die damaligen Grundpegel beobachtet. Ursache dieser ungleichen Verteilung war eine deutliche Wettergrenze über dem Hauptkamm der Mittelgebirge. Südlich davon herrschte überwiegend regnerisches Wetter, sodass dort der Staub mehr oder weniger vollständig aus der Luft ausgewaschen wurde. Als mögliche Ursache für die beobachtete Erhöhung kommt aufgewirbelter Staub aus den stark mit Cs-137 belasteten Gebieten in der Umgebung von Tschernobyl in Betracht. Das dort auf dem Boden abgelagerte bzw. in

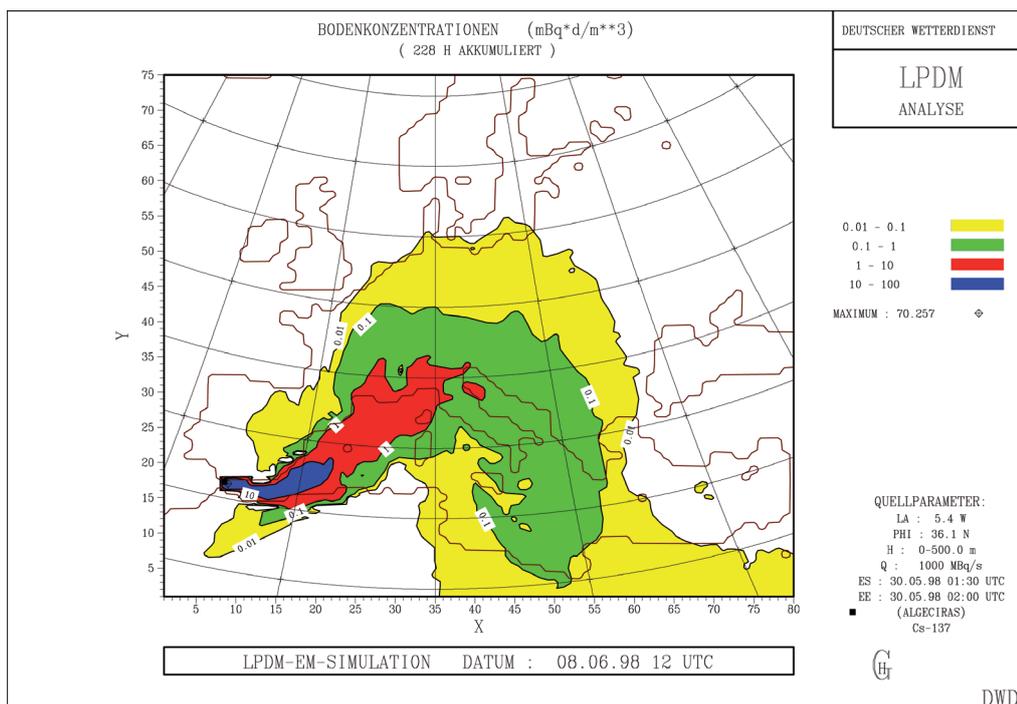


Bild 1:  
Ausbreitung der  
Cs-137-Aktivität aus  
dem Stahlwerk in  
Algeciras 1998.

Pflanzen eingelagerte Caesium kann z. B. durch Wald- und Moorbrände, die dort in dieser Jahreszeit häufiger auftreten, in die Atmosphäre gelangen und über große Entfernungen transportiert werden.

- Cobalt-58 (Co-58, Gammastrahlen emittierend, Halbwertszeit 70,9 Tage) ist ein Radionuklid, das u. a. auch in der Nuklearmedizin eingesetzt werden kann, um den Stoffwechsel von Vitamin B<sub>12</sub> zu untersuchen. Das entsprechende Verfahren nennt sich Schilling-Test. In der 34. Woche 2003 wurde in Braunschweig in nur einer von zwei gleichzeitig gesammelten Luftstaubproben eine winzige, aber deutliche Spur dieses Radionuklids gemessen. Sie betrug 0,056 µBq/m<sup>3</sup>, wobei die erreichte Nachweisgrenze (NWG) bei 0,013 µBq/m<sup>3</sup> lag, während sie in der Parallelprobe unter der NWG von 0,026 µBq/m<sup>3</sup> lag. In der fraglichen Woche kam der Wind an den meisten Tagen aus West bis Nordwest, und nur etwa einen Tag lang aus Süd bis Südwest, sodass eine genauere Herkunftsbestimmung schwierig ist. Eine Spur Co-58 wurde nochmals in der Woche 37, 2010, gemessen. Bild 3 zeigt den entsprechenden Ausschnitt aus den Gammapektren. In blau ist das Spektrum der einen Hälfte der Luftstaubprobe gezeigt, in der das Co-58 gefunden wurde und dessen Gammalinie in rot markiert ist. Das in grün zum Vergleich unterlegte Spektrum der anderen Hälfte zeigt an

dieser Stelle den üblichen Verlauf. Ein solcher Befund spricht dafür, dass nur ein einzelnes, winziges Teilchen (fachlich „heißes Teilchen“) in der fraglichen Luftstaubprobe vorliegt. Im Vergleich zu Co-58 ist die Linie des Cs-137, die den damals üblichen Aktivitätskonzentrationen entspricht, in beiden(!) Spektren sehr viel deutlicher sichtbar.

- Die Aktivitätskonzentrationen der natürlich radioaktiven Nuklide Be-7, Na-22, K-40 und Pb-210 lagen in der Kalenderwoche 38 (2003) im Vergleich zur Vorwoche und zur Folgewoche recht hoch (Tabelle 1). Das ist zunächst überraschend, weil Be-7 und Na-22 an sehr kleinen Staubkörnern gebunden sind, die aus der Stratosphäre zum Boden sinken. Dagegen sind K-40 und Pb-210, das als Radionuklid der Uran-Zerfallsreihe auftritt, für größere Staubteilchen typisch, die überwiegend von der Erdoberfläche aufgewirbelt oder als Flugstaub aus Heiz- und Industrieanlagen emittiert werden.

Tabelle 1: Aktivitätskonzentration natürlicher Radionuklide in der Luft in Braunschweig, in µBq/m<sup>3</sup>.

Woche	Be-7	Na-22	K-40	Pb-210
37, 2003	2318	0,21	4,0	209
38, 2003	5847	0,51	11,8	1137
39, 2003	3135	0,24	10,8	344

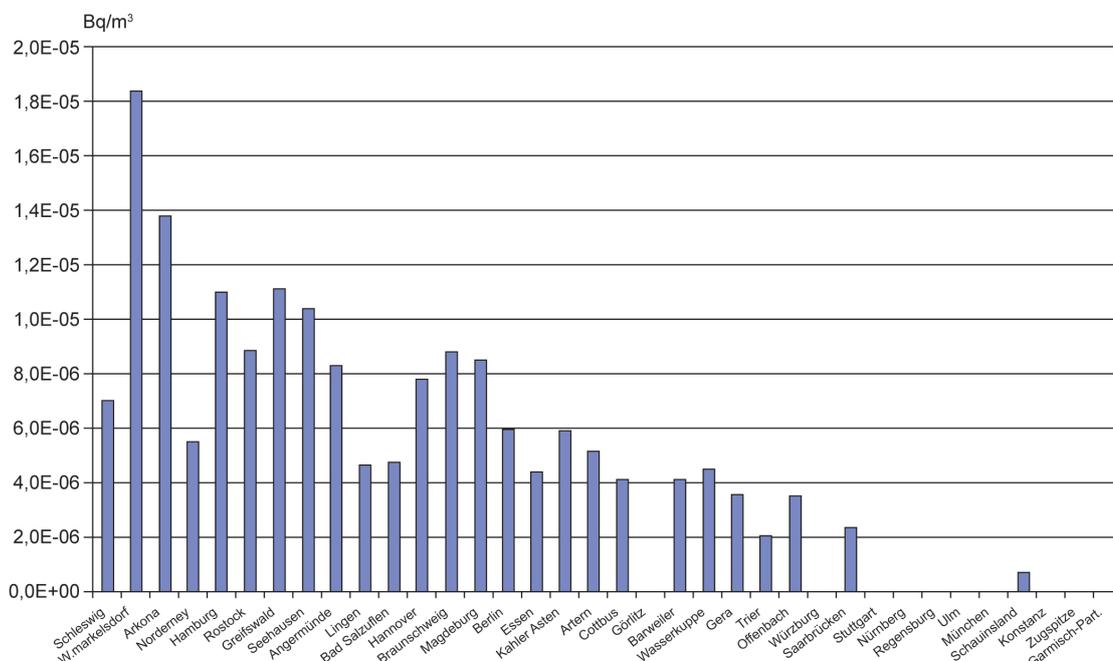


Bild 2: Aktivitätskonzentration von Cs-137 in der Luft an den Messstationen des DWD, der PTB in Braunschweig und des BfS auf dem Schauinsland in der 35. Kalenderwoche 2002, in Bq/m<sup>3</sup>.

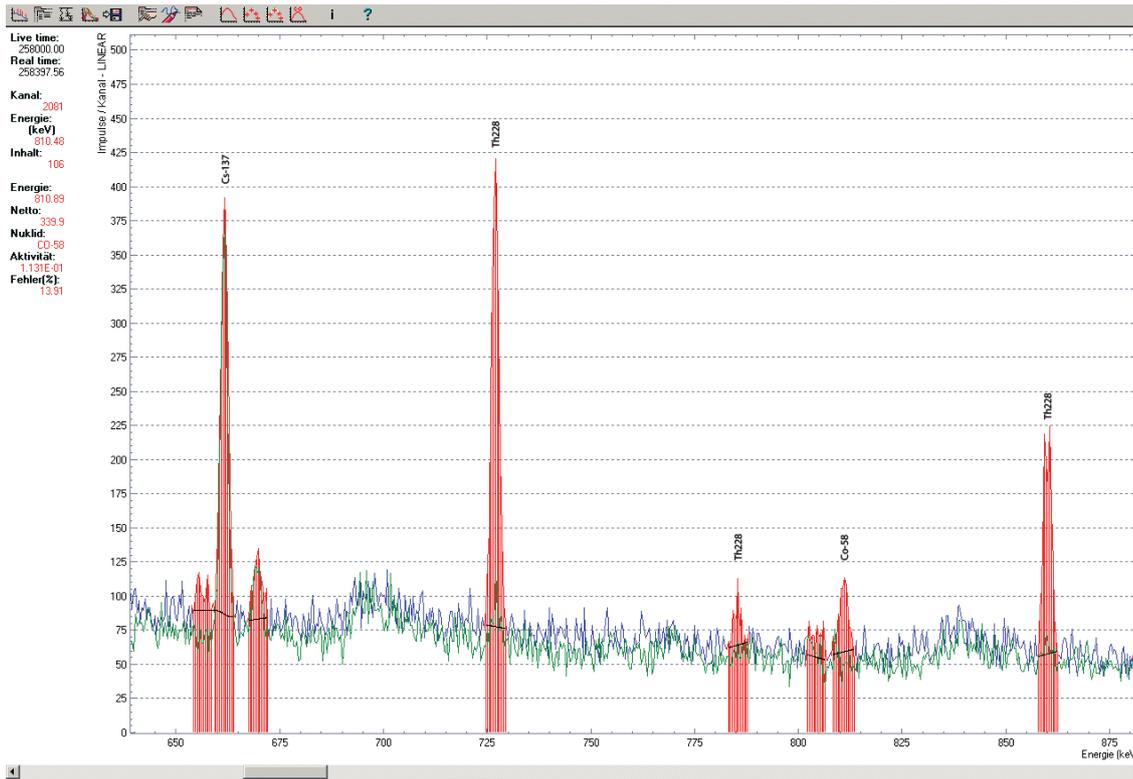


Bild 3:  
 Nachweis von Co-58  
 in der Woche 37,  
 2010. In blau das  
 Spektrum des Teils  
 der Luftstaubprobe,  
 in der das Co-58  
 gefunden wurde.

Meteorologische Berechnungen (fachlich „Trajektorienrechnungen“) der Zugbahnen der Luftmassen, die in der 38. Woche Braunschweig erreichten, brachten die Erklärung: In der ersten Wochenhälfte hatte eine Inversionswetterlage geherrscht, bei der kaum Wind weht und sich Staub anreichert. Zum Wochenende trat dann eine markante Wetteränderung ein, die mit einer heftigen Durchmischung der Atmosphäre einherging. So erreichte stratosphärische Luft, die sich fünf bis sechs Tage vorher in einer Höhe von bis zu 15 km über den USA und Kanada befunden hat, sehr schnell Braunschweig und trug relativ viel Be-7 und Na-22 ein. Meteorologen bezeichnen solch ein Wetterphänomen als „Einbruch stratosphärischer Luftmassen“ oder kurz als „Stratosphäreneinbruch“.

- I-131, ein in der Öffentlichkeit recht bekanntes künstliches Radionuklid, fällt immer wieder mal auf. Sein Bekanntheitsgrad beruht zum einen auf seiner Anwendung in der Nuklearmedizin zur Therapie von Schilddrüsenkrebs und zum anderen auf der möglichen Freisetzung aus kerntechnischen Anlagen. Es hat eine Halbwertszeit von acht Tagen und gilt daher als Indikator-Nuklid für Freisetzungen aus Anlagen, die sich in Betrieb befinden oder kurz vorher noch befunden haben. Die Freisetzungen von Tschernobyl im April 1986 und aus Fukushima im März 2011 sind hierfür die bekanntesten Beispiele. Weniger bekannt ist, dass es im August 2008 in einer Isotopenproduktionsanlage in Fleurus, Belgien, zu einer I-131-Freisetzung

kam, die in weiten Teilen Westeuropas messbar war [4]. In den Luftstaubproben der PTB war das Signal so schwach, dass es in Höhe der Nachweisgrenze lag. Die Isotopenproduktionsanlage, eine von nur wenigen in der Welt, wurde nach dem Zwischenfall stillgelegt, was zu einem starken Mangel an I-131 für die Krebspatienten führte. Zur gleichen Zeit waren einige der übrigen Produktionsanlagen gerade in Revision oder im Umbau, sodass der weltweite Bedarf an I-131 nicht mehr gedeckt werden konnte.

- Viele Spurenmessstellen in Mittel- und Nordeuropa haben im Herbst 2011 deutliche Spuren von I-131 gemessen, das als Folge eines Defektes der Filteranlagen in einer Produktionsanlage für nuklearmedizinische Präparate in Budapest emittiert wurde. Damals wurde zunächst das informelle Netzwerk der Europäischen Spurenmessstellen, der „Ring of Five“ (Ro5) aktiv, in dem sich die Spurenmessstellen über eine E-Mail-Verteilerliste gegenseitig informieren, wenn an einer Spurenmessstelle ein auffälliges Messergebnis auftritt. Über diesen Weg erhielten sehr bald auch die nationalen Strahlenschutzbehörden ihre Informationen. Schließlich wurde auch die Notfallschutz-Abteilung der Internationalen Atomenergie Agentur (IAEA) in Wien aktiv, um die Quelle der Kontamination zu finden. Die Ergebnisse der Quellenermittlung und die radiologische Bewertung der Messwerte wurden der Öffentlichkeit damals auf der Internetseite der IAEA mitgeteilt und fanden auch in den Medien eine gewisse Resonanz.

- Anfang 2012 berichteten Kollegen aus Osteuropa über deutliche Nachweise von I-131 und teilweise auch von Cs-137 in ihren Luftproben. Während die Erhöhung der Aktivitätskonzentration des Cs-137 auch mit den regelmäßig im Winter zu beobachtenden Einträgen von „Tschernobyl-Cs-137“ erklärbar war, musste das kurzlebige I-131 aus einer in Betrieb befindlichen Anlage stammen. Wegen des weiträumig in Europa messbaren Eintrags war es unwahrscheinlich, dass die Emissionen aus einer nuklearmedizinischen Klinik stammten. In diesem Fall blieb die Herkunft des I-131 ungeklärt. Als Ergebnis der Auswertung der meteorologischen Trajektorien- bzw. [Ausbreitungsrechnungen](#), blieb nur die etwas vage Vermutung übrig, dass es sich möglicherweise um eine Emissionsquelle in Westrussland handeln könne.

Zusammenfassend lässt sich feststellen, dass auf dem Pegel von Spuren immer wieder kurzfristig auftretende und manchmal auch überraschende Messergebnisse beobachtet werden, die – glücklicherweise – meistens von vernachlässigbar geringer [Dosisrelevanz](#) sind. Es ist jedoch trotzdem wichtig, solchen Spuren nachzugehen und die Quellen der Kontaminationen zu klären. In den letzten Jahren mehren sich z. B. Befunde, die zeigen, dass es auch in Deutschland durch die zunehmende Verbrennung von Holzpellets in Öfen und Heizungssystemen zu einer Erhöhung der Aktivitätskonzentration von Cs-137 in der Luft kommt. Es gibt belastbare Hinweise aus Griechenland [5], dass dort beobachtete Erhöhungen auf den steigenden Einsatz von Holz in Heizungen zurückgeführt werden können, weil die Bevölkerung als Folge der Wirtschaftskrise auf diesen billigeren Brennstoff ausweicht. Manchmal bleiben Vermutungen über Freisetzungen letztlich das, was sie sind: Vermutungen. Ein Kollege aus Norwegen fand im April 2013 einen Video-Beitrag im Internet [6] über die Freisetzung von Cs-137 in der Stadt Elektrostal, die östlich von Moskau liegt. Anlass der Recherche waren Informationen im Ro5 aus Finnland, wo Erhöhungen der Aktivitätskonzentration von Cs-137 aufgetreten waren, die über dem im Winter üblichen Ausmaß lagen. Etwas später, nachdem auch an weiteren Stationen in Skandinavien schwache Cs-137-Erhöhungen erkennbar waren, begann der norwegische Kollege

seine Recherchen und stieß auf das Video. Die darin geschilderte mögliche Freisetzung in Elektrostal könnte die beobachteten Messergebnisse erklären. Diese Freisetzung konnte aber nie bestätigt oder widerlegt werden.

## Fazit

Die Spurenmessung radioaktiver Stoffe in der bodennahen Luft ist eine spannende Aufgabe, die mehr als nur radiochemisches und radiometrisches Fachwissen verlangt. Sie findet im Rahmen des öffentlichen Interesses statt, damit notwendige Informationen dann vorliegen, wenn sie aus aktuellem Anlass benötigt werden. ■

## Literatur

- [1] Empfehlung der Strahlenschutzkommission: Ermittlung der Vorbelastung durch Radionuklid-Ausscheidungen von Patienten der Nuklearmedizin, SSK-Geschäftsstelle, Bonn, 16.12.2004 [www.ssk.de/SharedDocs/Beratungsergebnisse\\_PDF/2004/Radionuklid\\_Ausscheidungen.html?nn=3352592](http://www.ssk.de/SharedDocs/Beratungsergebnisse_PDF/2004/Radionuklid_Ausscheidungen.html?nn=3352592) (abgerufen am 29.02.2014)
- [2] H. Kämper und J. Thierauf: Die Dekontaminationsausbildung der ABC-Abwehrtruppe in Bourges. *Truppenpraxis* 3/1987, 302–308
- [3] Bericht „Umweltradioaktivität in der Bundesrepublik Deutschland 1998 bis 2001, Daten und Bewertung, Bericht der Leitstellen des Bundes und des Bundesamtes für Strahlenschutz“, BfS-Schriften, Bundesamt für Strahlenschutz, Salzgitter, November 2002
- [4] Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (BMU), Umweltradioaktivität und Strahlenbelastung, Jahresbericht 2008, Postfach 12 06 29, 53048 Bonn (abrufbar im März 2014 über das BfS unter [www.bfs.de/de/bfs/publikationen/berichte/umweltradioaktivitaet/JB\\_archiv.html/#2008](http://www.bfs.de/de/bfs/publikationen/berichte/umweltradioaktivitaet/JB_archiv.html/#2008))
- [5] S. Stoulos, A. Ioannidou, E. Vagena, P. Koseoglou, M. Manolopoulou: Post-Chernobyl <sup>137</sup>Cs in the atmosphere of Thessaloniki: a consequence of the financial crisis in Greece, *Journal of Environmental Radioactivity* **128** (2014), 68–74
- [6] YouTube Video (in Russisch): [www.youtube.com/watch?v=uETl6LJwYG0](http://www.youtube.com/watch?v=uETl6LJwYG0) (abgerufen am 21.05.2014)