



Bundesministerium
für Umwelt, Naturschutz, nukleare Sicherheit
und Verbraucherschutz

Schriftenreihe

Fachgespräch Überwachung der Umweltradioaktivität

16. Fachgespräch in Kiel, 26. – 28.09.2023

Einst – jetzt – in Zukunft

16. Fachgespräch zur Überwachung der Umweltradioaktivität

einst – jetzt – in Zukunft

Kiel, 26. bis 28.09.2023

Tagungsband



Bundesministerium
für Umwelt, Naturschutz, nukleare Sicherheit
und Verbraucherschutz



Bundesamt
für Strahlenschutz
Kompetenz in Schutz und Forschung

MRI 
Max Rubner-Institut

IMPRESSUM

Herausgeber: Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz,
nukleare Sicherheit und Verbraucherschutz (BMUV)
Arbeitsgruppe S II 5
Robert-Schuman-Platz 3
53175 Bonn

Redaktion: Bundesamt für Strahlenschutz (BfS)
Willy-Brand-Straße 5
38226 Salzgitter
Anita Lovsky, Dr. Josef Peter, BfS, PB 3

Bitte beziehen Sie sich beim Zitieren dieses Dokuments immer auf folgende urn:

urn:nbn:0221-2024102847643

ISSN 1869-585X

Neuherberg

November 2024

16. Fachgespräch zur Überwachung der Umweltradioaktivität, einst – jetzt – in Zukunft Kiel, 26. bis 28.09.2023

Inhalt

Nummerierungsschema:

V = Vortrag, P = Poster, W = Workshopbeitrag

Einführung

Vorwort	12
<i>Dr. C. Greipl</i>	
65 Jahre Überwachung der Umweltradioaktivität Ein Rück- und Ausblick	13
<i>U. C. Gerstmann</i>	

Qualitätsmanagement

Zusammenfassung der Sitzung: Qualitätsmanagement	20
<i>J. Bieringer, G. Haase</i>	
V035: Ringversuch Teepulver 2021 – Von Planung bis Auswertung	21
<i>E. Kabai, F. Ober, G. Haase</i>	
V001: Vergleichsuntersuchungen „Milch“ am MRI: Gestern - Heute - Morgen	27
<i>F. Ober, G. Haase und T. Vagt</i>	
V004: Optische Detektion von Alpha-emittierenden Radionukliden	36
<i>U. Stolzenberg</i>	
V019: Erweiterung des ODL-Messnetzes Niedersachsen	37
<i>H. Böttger, N. Denkhaus</i>	

Internationale Kooperation, maschinelles Lernen in der Umweltüberwachung

Zusammenfassung der Sitzung:

Internationale Kooperation, maschinelles Lernen in der Umweltüberwachung	45
<i>P. Bringel, M.-O. Aust</i>	
V030: Aero-gammaspektrometrische Messung der Umweltradioaktivität in der Sperrzone Tschornobyls	46
<i>C. Strobl, A. Muhr, B. Seiler, M. Thomas, F. Loske, L. Burger, C. Cronfeld, M. Pattantyús-Ábrahám, J. Surbirge, F. Schneider, U.-K. Schkade, R.Schnell, I. Krol, U. Gerstmann</i>	

V013: Erkenntnisse aus Notfallschutzübungen im Umgang mit simulierten Messdaten bei hubschraubergestützten Messungen ionisierender Strahlung	47
<i>T. Koschine, A. Muhr, B. Seiler, R. Hanfland, M. Thomas, C. Strobl, R. Schnell, J. Krol</i>	
V043: Messkampagne Tschornobyl 2021 – Beitrag von bodengestützten Messungen zur großflächigen radiologischen Neukartierung der Sperrzone von Tschornobyl als deutsch-ukrainisches Gemeinschaftsprojekt	48
<i>D. Esch, M. Bleher, S. Seifert</i>	
V003: Maschinelles Lernen in der gammaspektroskopischen Umweltüberwachung	52
<i>H. Breitzkreutz, L. Curcuraci, J. Mayr, M. Bleher, S. Seifert, U. Stöhlker</i>	

Umweltüberwachung im Wandel der Zeiten, Konsequenzen aus dem aktuellen Strahlenschutzrecht, Praxiserfahrung

Zusammenfassung der Sitzung: Umweltüberwachung im Wandel der Zeiten, Konsequenzen aus dem aktuellen Strahlenschutzrecht, Praxiserfahrungen	54
<i>A. Dalheimer, U. C. Gerstmann</i>	
V020: Prozess der Lagebilderstellung anhand der Beispiele „Notfallschutzübung CORE-2021“ und „Situationsdarstellung zur radiologischen Lage in der Ukraine“	55
<i>K. Rupprecht, M. Werner</i>	
V033: Novellierung der Allgemeinen Verwaltungsvorschrift zur Ermittlung der Exposition von Einzelpersonen der Bevölkerung durch genehmigungs- oder anzeigebedürftige Tätigkeiten (AVV Tätigkeiten)	63
<i>A. Diener</i>	
V040: Metrologie zur Harmonisierung der Messungen von Umweltschadstoffen in Europa - MetroPOEM	69
<i>D. Arnold, J. Eberhardt, L. Flierl, O. Rienitz, A. Pramann, D. Zapata-García, J. Vogl, P.S. Prem, V. Lourenço, L. Chambon, H. Isnard, M. Mazánová, J. Sochorová, T. Zuliani, T. Goltnik, L. Rován, M. Štok, J. Noireaux, M. Kamarainen, E. Iloniemi, B. Ari Engin, S. Z. Can, O. Cankur, A. İşleyen, V. Hansen, T. Ulrich, R. Andreasen, X. Hou, J. Qiao, D. Pröfrock, D. Wippermann, T. Zimmermann, S. Winkler, S. Fichter, A. Wallner, C. Schöpke, I. Johansen, V. Yasin, M.R. Ioan, M. Virgolici, C. Olaru, R. Badea, C. Walther, A. Lehnert, J. Irrgeher, S. Lancaster, A. Epov, S. Chernonozhkin, S. Wagner, S. Jerome, L. Skipperud, K.A. Jensen, S. Salminen-Paatero, I. Vukanac, I. Čeliković, M. Rajačić, M. Djurašević, J.K. Nikolić, M. Christl, H. Perez Tribouillier, D. Malinovskiy, S. Hill, H. Goenaga-Infante, S. Strekopytov, B. Russell, H. Mohamud, H. Thompkins</i>	
V010: Flugzeuggestützte Radioaktivitätsmessungen in der Troposphäre mit Hilfe von Dropsonden	76
<i>D. Ebert, A. Wieser, R. Maser, A. Dalheimer</i>	
V054: Schulungen/Weiterbildungen für den Radiologischen Notfallschutz	77
<i>P. Bieringer und D. Hansmann</i>	

Optimierung der Messstrategien

Zusammenfassung der Sitzung: Optimierung der Messstrategien	82
<i>G. Haase, J. Bieringer</i>	
V006: Umwelttracer-Experiment zur Klärung von „nicht repräsentativen“ Messwerten	83
<i>T. Ernst</i>	
V018: Die TLD-Auswertestelle des Landes Niedersachsen	91
<i>H. Adam, J. Jahns</i>	
V039: Radioaktivität in Klärschlamm - Erfassung des Forschungsstandes unter Einbindung der Messdaten der IMIS-Datenbank	95
<i>V. Ustohalova, R. Gellermann</i>	

Optimierung der Messstrategien, Datenmanagement

V047: Das ergänzende Dokument „Messstrategie“ zum Allgemeinen Notfallplan	102
<i>B. Blaum, M. Bleher</i>	
V051: Messung von Uranisotopen mittels ICP-MS	103
<i>S. Bock</i>	
V055: Ideen und Impulse zur durchgängigen Digitalisierung von Umweltüberwachungs-Prozessen	104
<i>Dr. K. Ehrensberger, K. Rüger</i>	

Posterrundgang

P046: Lose-Blatt-Sammlung Maßnahmen als Basis für die Besonderen Notfallpläne des Bundes	106
<i>M. Werner</i>	
P044: Vorbereitung der Krisenkommunikation mit der Öffentlichkeit: Entwicklung von Notfall-FAQs und Mustertexten für das Radiologische Lagezentrum des Bundes	107
<i>C. Fehn, C. Pözl-Viol</i>	
P034: Radioaktive Kontamination von Speisepilzen mehr als 35 Jahre nach dem Reaktorunfall von Tschornobyl	111
<i>E. Kabaj, A. Hamer, M. Steiner</i>	
P031: Unbemannte luftgestützte Messung ionisierender Strahlung im Rahmen des EMPIR Projektes „Preparedness“	116
<i>A. Muhr, B. Seiler, C. Cronfeld, C. Strobl, M. Thomas</i>	
P027: Digitalisierung der Qualitätssicherungsmaßnahmen für Radonmessungen in Deutschland und Aufbau einer Datenbasis „Radon am Arbeitsplatz“	117
<i>M. Dubsloff, F. Assenmacher, S. Feige</i>	
P026: Immissionsüberwachung am Forschungsstandort Rossendorf	124
<i>S. Bartel, C. Graetz, M. Kaden, Dr. M. Walter</i>	
P025: Beispielhafte Simulationen zum „Leitfaden Direktstrahlung“	130
<i>R. Merk</i>	

P024: Radon an Arbeitsplätzen des Freistaates Sachsen	136
<i>M. Alisch-Mark, J. Pianski, J. Pezenka, S. Friedemann, T. Heinrich</i>	
P017: Aufgaben und Ergebnisse der aktuellen Vergleichsmessungen der Leitstelle ENORM	142
<i>R. Schnell, U.-K. Schkade, F. Schneider, F. Friedrich-Kees, S. Feige, N. Klasen</i>	
P015: Langzeitauswertung des IMIS-Ringvergleiches „Tritium in Wasser“	143
<i>A. Schmidt, J. G. Wiederhold, L. Duester</i>	
P012: Modernisierung des österreichischen Messnetzes zum Nachweis geringster Spuren von Radioaktivität in der bodennahen Luft	144
<i>D. Roth, C. Landstetter</i>	
P009: Bestimmung der Gesamt-Alphaaktivität in Wasser – Vergleich verschiedener Metho- den	145
<i>C. Scholtysik</i>	
P007: Natürliche Radionuklide in Lebensmitteln: BfS-Teilnahme an der ersten deutschen Total Diet Studie	146
<i>P. Hofmann, M. Achatz, T. Berg, I. Sarvan, O. Lindtner</i>	

Workshops Block A

Workshop A1: Schnellmethoden	148
<i>E. Kabai, A. Dalheimer</i>	
W038: Schnelle Bestimmung störfallrelevanter Alphanuklide für Kohl- und Blattgemüse ..	149
<i>T. Gil Haenelt, G. Haase</i>	
W042: Radionuklid-Massenspektrometrie an der PTB	155
<i>J. Eberhardt, L. Flierl, D. Zapata-Garcia, O. Rienitz, A. Pramann, D. Arnold</i>	
W052: Methode zur Bestimmung von ⁹⁰ Sr in Umweltproben mit erhöhtem Kalziumgehalt	159
<i>R. A. S. Schupfner</i>	
Workshop A2: Umweltradioaktivität, NORM	160
<i>T. Heinrich, J. Peter</i>	
W005: Natürliche Radionuklide im Trinkwasser in der Bundesrepublik Deutschland	161
<i>A. Artmann, K. Brennan, C.-L. Giorio, P. Hofmann, H. Meyering, H. Nowitzki</i>	
W014: Ausweisung der Radonvorsorgegebiete in Niedersachsen – Praxiserfahrungen bei der Durchführung groß angelegter Radon-Messkampagnen	168
<i>H. Behnsen, K. Rupprecht, S. Herrmann, C. Liebethuth</i>	
W041: Neue Metrologie für Radon in Außenluftmessungen: Verbesserte Rückführung für Klimabeobachtung und Strahlenschutz	174
<i>Dr. S. Röttger, Dr. A. Röttger, Dr. F. Mertes, A. Honig</i>	
Workshop A3: Datenmanagement und Datennutzung	182
<i>A. Graupner, W. Preuße</i>	

W045: IMIS als nationale Datenbank für Umweltradioaktivität?	185
<i>A. Graupner, C. Bischoff, J. Buermeyer, W. Preuße</i>	
W049: Eine Self-Service-Anwendung zur interaktiven Datenrepräsentation mit Karten und Charts	189
<i>S. Burbeck</i>	
W016: Tritium – mehr als nur ein radioaktiver Stoff	193
<i>R. Völpel, A. Linkhorst, J. Arndt, A. Schmidt und L. Duester</i>	

Workshops Block B

Workshop B1: Umweltradioaktivität, Medizinische Radionuklide	195
<i>T. Heinrich, J. Peter</i>	
W008: Möglichkeiten und Herausforderungen der gammaspektrometrischen Bestimmung medizinischer Radionuklide in Oberflächengewässern	196
<i>J. G. Wiederhold, C. Sachsinger, A. Schmidt, L. Düster</i>	
W037: Medizinische Radionuklide in der gammaspektrometrischen Messung von Reststoffen	205
<i>C. Mierzwa</i>	
Workshop B2: Qualitätssicherung 1	214
<i>F. Ober, M.-O. Aust</i>	
W021: Aspekte der Qualitätssicherung	215
<i>H.-J. Lange</i>	
W023: Qualitätsmanagement im Laboralltag – hohe Anforderungen bei knappen Ressourcen	221
<i>J. Bieringer, S. Schmid</i>	

Workshops Block C

Workshop C1: Qualitätssicherung 2	227
<i>Dr. A. Röttger, Dr. F. Ober</i>	
W022: Spezielle Analyseverfahren – eine Herausforderung für Akkreditierungsstelle und Akkreditierte	228
<i>S. Schmid, Dr. S. Brander, S. Walker</i>	
W028: Berechnungsverfahren zur Ermittlung der Güte von Probenentnahmeeinrichtungen bei kerntechnischen Anlagen	233
<i>H. Schöllnberger, M. Thomas, A. Heckel, C. Strobl</i>	
Workshop C2: Praxiserfahrung mit dem neuen Regelwerk	240
<i>Andrea Heckel, Dr. Simon Holbein</i>	
W029: Änderungen bei der Ermittlung der Exposition durch Ableitungen radioaktiver Stoffe	241
<i>M. Pattantyús-Ábrahám, M. Siegfried</i>	

W053: Der Ernstfall „Die Umweltradioaktivität schlägt Alarm!“ – Nutzen von und Herausforderung bei Notfallübungen	242
<i>B. Matzig, Dr. T. Möller, Dr.-Ing. A. Bartsch, Dr. phil. K.-P. Otte</i>	

Umweltüberwachung Block 2 - Radionuklide

Zusammenfassung der Sitzung: Umweltüberwachung Block 2 - Radionuklide	244
<i>U. Gerstmann, D. Zapata</i>	

V002: Das Europäische Metrologienetzwerk für den Strahlenschutz: Weiterentwicklung der (inter)nationalen Zusammenarbeit	246
<i>A. Röttger, S. Feige</i>	

V032: Neuordnung der Emissionsüberwachung und deren Qualitätssicherung	254
<i>M. Siegfried, P. Woidy,</i>	

V036: Kontamination von Waldprodukten	255
<i>P. Hartmann, O. Meisenberg, U. Gerstmann</i>	

V011: Entwicklung der In-situ-Gammaspektrometriemessungen im DWD	263
<i>M. Mirsch, A. Dalheimer</i>	

V048: Die Messung von Radioxenon in der Atmosphäre am Bundesamt für Strahlenschutz (BfS) - einst, jetzt, in Zukunft	269
<i>A. Bollhöfer, S. Brander, S. Schmid, R. Kraus, M. Konrad</i>	

V050: The winner takes it all: Ist die Ostsee oder die Irische See am stärksten mit Cs-137 belastet?	277
<i>P. Nogueira, M.-O. Aust</i>	

Schlusswort

Schlusswort	283
<i>R. Stegemann</i>	

Bildnachweis	284
--------------------	-----

Einführung

Vorwort

Dr. C. Greipl

*Leiter der Unterabteilung S II im Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz,
nukleare Sicherheit und Verbraucherschutz*

Bereits seit 1975 finden regelmäßig Fachgespräche zur Überwachung der Umweltradioaktivität statt. Zuletzt hat das Bundesumweltministerium 2013 das Fachgespräch in Bremen zusammen mit dem Bundesamt für Strahlenschutz (BfS), der Universität Bremen und dem Senator für Umwelt, Bau und Verkehr der Freien Hansestadt Bremen ausgetragen. Nach einer längeren, unter anderem durch die Pandemie bedingte Pause findet dieses 16. Fachgespräch gemeinsam mit dem BfS und dem Max Rubner-Institut (MRI) in den Räumlichkeiten der Christian-Albrechts-Universität zu Kiel statt.

Ziel der Fachgespräche ist der Wissens- und Erfahrungsaustausch zwischen allen mit der Überwachung der Umweltradioaktivität befassten Institutionen in Bund und Ländern. Das Schwerpunktthema des letzten Fachgesprächs lautete „Daten - Modelle - Information“. Das diesjährige Fachgespräch befasst sich mit der weitgespannten Thematik „einst - jetzt - in Zukunft“ zu allen Facetten der Überwachung von Umweltradioaktivität sowie der Umgebungsüberwachung in der Routine und im Notfall. Neben den sechs Plenarsitzungen mit 25 Vorträgen und einer Posterausstellung gibt es sieben Workshops, in denen die Möglichkeit zur vertieften Diskussion besteht. Abgerundet wird der Informationsaustausch durch eine Industrieausstellung mit zwölf Ausstellern.

Die Überwachung der Umweltradioaktivität bleibt trotz Atomausstiegs weiterhin von hoher Relevanz: nicht nur, weil die nukleare Entsorgung noch für lange Zeit in Deutschland eine Aufgabe bleibt, sondern auch, weil weiterhin Einrichtungen mit Emissionen betrieben werden sowie Kernkraftwerke im benachbarten Ausland und weltweit existieren. Nicht zuletzt hat der andauernde Krieg in der Ukraine wieder in Erinnerung gerufen, dass die Überwachung der Umweltradioaktivität auch für zuletzt kaum für möglich gehaltene Gefahrenlagen ausgelegt sein muss. All diese bestehenden und zukünftigen Aufgaben benötigen professionelle Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter. Der dafür unerlässliche Erhalt der Kompetenz wird dabei eine der zentralen Herausforderungen der kommenden Jahre sein.

Das Spektrum dieses Fachgesprächs ist breit gefächert, um die Auswirkungen der rechtlichen Neuerungen und die Entwicklungen seit dem letzten Fachgespräch gerecht diskutieren zu können. Das umfasst die angestrebte Harmonisierung der Umweltüberwachung mit verlässlichen Qualitätsstandards auf europäischer und internationaler Ebene, die Entwicklung von Messstrategien als auch Weiterentwicklungen bei den Analyse- und Messverfahren sowie die Automatisierung des Datenmanagements und des Betriebs von Messnetzen. Die Anwendung des Überwachungssystems in Notfallübungen wird ebenfalls in mehreren Beiträgen beleuchtet.

Ich wünsche Ihnen allen ein spannendes und abwechslungsreiches Fachgespräch mit viel Gelegenheit, sich mit Ihren Kolleginnen und Kollegen auszutauschen.

65 Jahre Überwachung der Umweltradioaktivität

Ein Rück- und Ausblick

U. C. Gerstmann

Bundesamt für Strahlenschutz, Berlin

Zusammenfassung

Vor dem Hintergrund der zunehmenden Zahl atmosphärischer Kernwaffentests wurde Mitte der 1950er Jahre mit der Messung radioaktiver Spaltprodukte in Deutschland begonnen und entsprechende Messeinrichtungen aufgebaut. Begleitend zur friedlichen Nutzung der Kernenergie wurde das System zur Überwachung der Umweltradioaktivität weiter verfeinert und ausgebaut, ein weiterer Impuls folgte durch die Reaktorkatastrophe von Tschornobyl im April 1986. Trotz der im April 2023 erfolgten Einstellung des Leistungsbetrieb der letzten verbliebenen Kernkraftwerke in Deutschland besteht weiterhin die Notwendigkeit zur Überwachung der Umweltradioaktivität, sowohl begleitend zum Rückbau der Kernkraftwerke als auch zur Überwachung der ja weiterhin vorhandenen sonstigen Anlagen und Einrichtungen, auch in benachbarten Staaten, sowie zur Vorsorge für nicht gänzlich auszuschließende Notfallszenarien.

Summary

Against the background of the increasing number of atmospheric nuclear weapons tests, the measurement of radioactive fission products began in Germany in the mid-1950s and corresponding measuring equipment was set up. Alongside the peaceful use of nuclear energy, the system for monitoring environmental radioactivity was further refined and expanded, with further impulses coming from the Chornobyl reactor disaster in April 1986. Despite the shut-down of the last remaining nuclear power plants in Germany in April 2023, there is still a need to monitor environmental radioactivity, both to accompany the dismantling of the nuclear power plants and to monitor the other plants and facilities still in existence, including those in neighbouring countries, as well as to prepare for emergency scenarios that cannot be completely ruled out.

1 Die Anfänge der Überwachung der Umweltradioaktivität in Deutschland

Vor gut 65 Jahren, im Jahr 1958, veröffentlichte der Sonderausschuss Radioaktivität (SAR) den ersten von drei Berichten zur Erfassung künstlicher Radioaktivität in Luft, Wasser, Boden und Lebensmitteln in (West-)Deutschland sowie der Strahlenbelastung der Bevölkerung [1,2,3]. Dieser Ausschuss, Vorsitzender war niemand geringerer als Boris Rajewsky, war auf Initiative des Bundestages vom damaligen Bundesminister für Atomfragen, Franz Josef Strauß, im Oktober 1956 ins Leben gerufen worden und hatte den Auftrag, „einen wissenschaftlichen Bericht über die Radioaktivität der Luft, des Wassers und des Bodens in der Bundesrepublik zu erstellen und der Bundesregierung die auf diesem Gebiet erforderlichen Maßnahmen zur Sicherheit der Bevölkerung zu empfehlen“.

Die Gründe hierfür sind in den entsprechenden Berichten nicht näher erörtert. Sie lagen jedoch sicher in der allgemeinen Unsicherheit und zunehmenden Beunruhigung bezüglich der durch atmosphärische Kernwaffenversuche freigesetzten Radioaktivität und deren potenziellen kurz-

und langfristigen Auswirkungen auf Leib und Leben. Hierzu besonders beigetragen haben könnten folgende, auch von Seiten der Presse teilweise aufgegriffene Ereignisse:

- Zündung der ersten Wasserstoffbombe (Ivy Mike, 1.11.1952), gefolgt von der Befürchtung einer langfristigen Kontamination der Atmosphäre und der Biosphäre insbesondere durch ^{14}C [4],
- Erstmalige Nachweise (1953/55) von Spaltprodukten aus Kernwaffentests in der Luft [5] und im Niederschlag [6] in Deutschland,
- Massive akute Strahlensyndrome bei der Besatzung des japanischen Fischkutters „Glücklicher Drache 5“ durch Fallout („Reststrahlung“) nach dem Wasserstoffbombentest Castle Bravo 1954 [7] und
- Der Nachweis von Kernwaffenfallout (^{137}Cs und ^{90}Sr) im Menschen über die Nahrungskette [8-11]

Im Hinblick auf die Folgen der Umweltkontamination durch Kernwaffentests aus damaliger Sicht sei hier auf den ersten Bericht des Scientific committee on the effects of atomic radiation (UNSCEAR) verwiesen [12]. Einige vereinzelte Messdaten der frühen 1950er Jahre zu Deutschland finden sich erstmals auch in [11].

Während der SAR seinem Auftrag nachging, verpflichtet sich die Bundesrepublik als Gründungsmitglied der Europäischen Atomgemeinschaft (Euratom) ab Januar 1958 zur Schaffung von Einrichtungen zur Überwachung der Radioaktivität der Luft, des Wassers und des Bodens einschließlich einer regelmäßigen Berichterstattung (Artikel 35 und 36 Euratom-Vertrag). Umsetzung und Aufteilung der Aufgaben zwischen Bund und Ländern wurde 1961 geregelt. Weiterhin wurden acht Einrichtungen des Bundes mit Leitaufgaben beauftragt; dies waren die heute bekannten Leitstellen der „ersten Stunde“: Deutscher Wetterdienst (DWD), Bundesamt für Gewässerkunde, Bundesgesundheitsamt, Deutsches Hydrographisches Institut sowie die Bundesforschungsanstalten für Milchwirtschaft, für Fischerei und für Lebensmittelrisikoprüfung [13]. Der DWD war bereits im August 1955 mit der Überwachung der bodennahen Luft und der Niederschläge gesetzlich beauftragt worden [14].

So kam es, dass der SAR in seinem dritten und letzten Bericht [3], welcher noch die Auswirkungen der im Herbst 1961 wiederaufgenommenen Kernwaffentests berücksichtigte, bereits eine beachtliche Anzahl von Probennahmestellen (435) und Messlaboren (87) auflisten konnte. Weiterhin sprach der SAR zahlreiche Empfehlungen aus, die sowohl die Überwachung der Umweltradioaktivität, darüber hinaus aber auch den Strahlenschutz in Deutschland bis heute prägen sollten. U. a. wurde eine „lückenlose Erfassung“ der Expositionen von Bevölkerung und Beschäftigten, die Einrichtung bzw. den Ausbau von übergeordneten Stellen speziell für Entwicklungs- und Forschungsaufgaben (mit einem klaren Verweis auf die bereits bestehenden Leitstellen) sowie Forschungsprogramme u. a. zur Entwicklung von Schnellmethoden für Sondernuklide (wer denkt hier nicht sofort an ^{90}Sr) empfohlen.

Rückblickend wissen wir heute, wie sich die Durchführung atmosphärischer Kernwaffentests nach 1961 entwickelt hat. Abbildung 1 zeigt die Freisetzung radioaktiver Spaltprodukte durch Kernwaffentests, ausgedrückt in Mt Spaltausbeute, in die Tropo- und Stratosphäre zusammenfassend dar: Die Abbildung beruht auf dem detaillierten UNSCEAR-Bericht aus dem Jahr 2000 [15]. Erste größere Einträge erfolgen ab 1952 und erreichten 1962, unterbrochen von einem Moratorium 1959/60, ihren Höhepunkt. Sie betrafen ganz überwiegend die nördliche Hemisphäre. Weitere geringere Einträge fanden dort durch Kernwaffentests der VR China in Lop Nor ab 1964 statt und endeten im Jahr 1980. Der Rückgang der Kontamination in der Umwelt durch ausblei-

benden „Nachschub“ und Verdünnungseffekte kann praktische in allen Umweltbereichen nach dem Frühjahrs-Peak 1963 nachvollzogen werden.

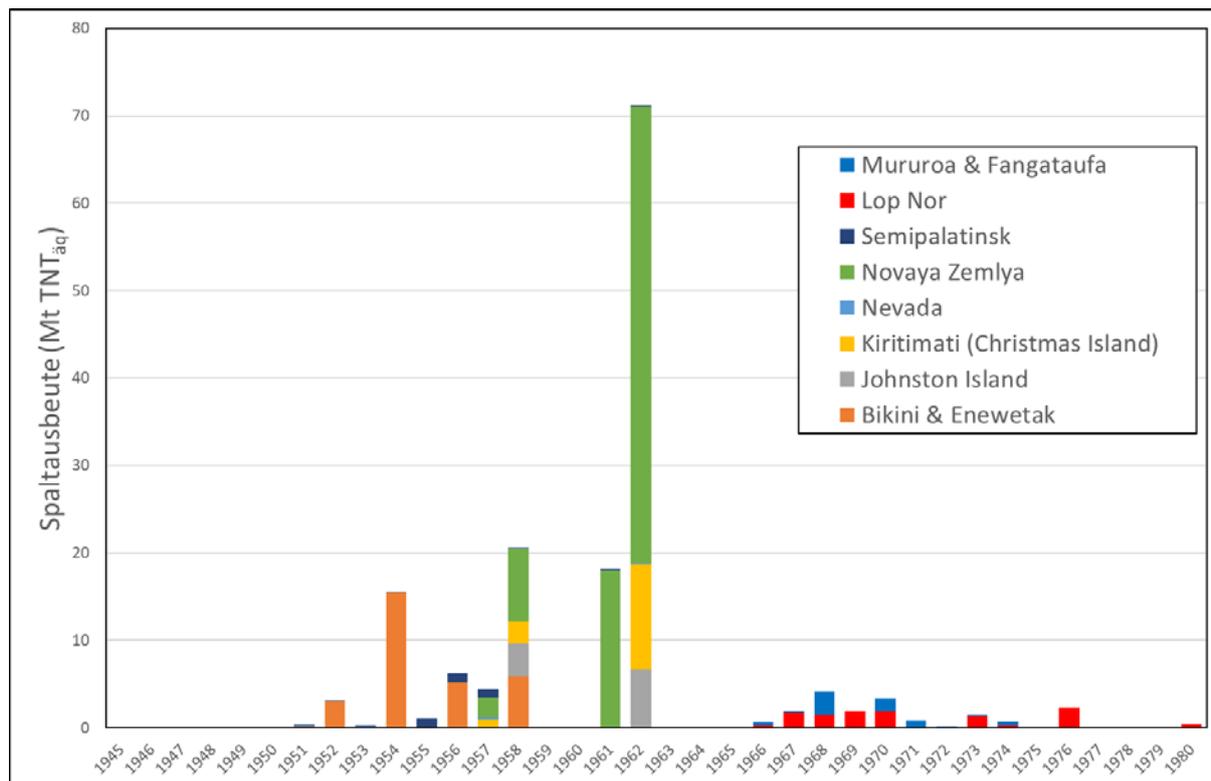


Abb. 1: Atmosphärische Kernwaffenexplosionen (Anteil der Kernspaltung an der Sprengkraft in Troposphäre und Stratosphäre, berechnet aus Angaben in [15]).

Auch in der Deutschen Demokratischen Republik wurde Mitte der 1950 Jahre mit der Überwachung künstlicher Radioaktivität durch die Zentrale für Strahlenschutz begonnen, s. z. B. [16].

2 Weiterentwicklung vor dem Hintergrund der Verstromung der Kernenergie

Im Jahr 1962 nahm mit dem Versuchsatomkraftwerk Kahl (VAK) das erste Kernkraftwerk in der Bundesrepublik den Leistungsbetrieb auf. Es folgten die kommerziellen Kernkraftwerke Gundremmingen (1967), Lingen (1968), Obrigheim (1969), Stade (1972), Würgassen (1975) und schließlich Biblis A (1975) – dem ersten Kernkraftwerk mit mehr als 1.000 MW (1.225 MeV_e) elektrischer Leistung.

Die Entwicklung der Umweltüberwachung wurde entsprechend geprägt, kann jedoch hier nur stichpunktartig angerissen werden: Regelwerke zur Emissions- und Immissionsüberwachung wurden entwickelt (REI) und ein System zur Fernüberwachung kerntechnischer etabliert (KFÜ). Leitstellen speziell zur Emissionsüberwachung (Fortluft und Abwässer) wurden errichtet und die Aufgaben der bestehenden Leitstellen im Hinblick darauf hin erweitert. Der technische Fortschritt (insbesondere durch die Verbreitung der Ge(Li)-Gammastrahlungs-Detektoren und erhöhte Anforderungen an den Nachweis der Einhaltung der Dosisgrenzwerte führten von der Messung von Rest-Beta-Aktivität zu Einzelnuklid-Nachweisen. Die Berichterstattung wurde intensiviert, Messanleitungen und das KTA-Regelwerk geschrieben und nicht zuletzt auch diese Veranstaltungsreihe ins Leben gerufen.

Es darf nicht vergessen werden, dass vor fünfzig Jahren von einer völlig anderen Entwicklung der Kernenergienutzung in der Bundesrepublik ausgegangen wurde. So stand Anfang der 1970er Jahre die Anzahl von 30 Kernkraftwerken (25 GW_e) 1980 und 120 (150 GW_e) im Jahr 2000 im Raum [17], ganz zu schweigen von einer größeren Anlage zur Wiederaufarbeitung abgebrannter Brennelemente an einem nationalen Entsorgungszentrum. Bezüglich der Entwicklung der Umweltüberwachung bis kurz vor der Reaktorkatastrophe von Tschornobyl und deren Konsequenzen verweise ich auf den Bericht des BMI „30 Jahre Überwachung der Umweltradioaktivität in der Bundesrepublik Deutschland“ [18] sowie auf den Tagungsband des vierten Fachgesprächs im Jahr 1981 [19]. Bezüglich der frühen Umgebungsüberwachung der beiden Kernkraftwerke der DDR in Rheinsberg und Greifswald sei auf [20] verwiesen.

3 Tschornobyl und der Beginn des „Atomausstiegs“

Am 26. April 1986 um 01:23 geschah, womit zuvor kaum jemand gerechnet hatte: die nach wie vor folgenschwerste Katastrophe in der friedlichen Nutzung der Kernenergie nahe der Stadt Tschornobyl in Norden der heutigen Ukraine. Außerhalb der UdSSR wurde eine erhöhte Umgebungsstrahlung am Morgen des 28. April beim Kernkraftwerk Forsmark in Schweden nachgewiesen, in der Bundesrepublik am 30. April. Bedingt durch teils heftige Niederschläge wurden vor allem in Teilen Süddeutschlands größere Mengen des relativ flüchtigen und damit weithin verfrachteten Radionuklids ¹³⁷Cs deponiert, welche die Menge des Kernwaffenfallouts um ein Mehrfaches überstiegen. Die Deposition anderer Radionuklide, insbesondere von ⁹⁰Sr oder Transuranen, war vernachlässigbar gering.

Messtechnisch betrachtet war die Bundesrepublik sehr gut auf die Erfassung der Umweltkontaminationen durch die Katastrophe vorbereitet. Dies galt jedoch nicht für die zeitnahe Zusammenfassung und Bewertung dieser Daten und schon gar nicht für die Bewertung und Kommunikation gegenüber der Bevölkerung. Die wichtigsten Neuerungen im Bezug auf die Umweltüberwachung lagen daher auch auf diesen Gebieten, insbesondere in der Errichtung eines integrierten Mess- und Informationssystems (IMIS). Neue Kernkraftwerksprojekte wurden nicht mehr aufgenommen, die bereits bestehenden (Hamm-Uentrop, Mülheim-Kärlich, Brokdorf, Isar 2, Neckarwestheim 2, Emsland) jedoch zu Ende geführt.

Auch institutionell ergaben sich Änderungen. Ein Bundesumweltministerium und ein Bundesamt für Strahlenschutz (BfS) wurden gegründet, in dem die bislang auf verschiedene Institutionen des Bundes verteilten Strahlenschutz-Kompetenzen gebündelt wurden. Dies führte auch zu einer Anhäufung von Leitstellenfunktionen beim BfS. Die Wiedervereinigung führte zur Errichtung einer Leitstelle für Fragestellungen der Überwachung bei erhöhter natürlicher Radioaktivität; Hintergrund waren die Hinterlassenschaften der Wismut GmbH in den neuen Ländern Thüringen und Sachsen. Der aktuelle Stand der Leitstellen-Landschaft kann der Leitstellenbrochure des BMUV von 2023 entnommen werden. [21].

4 Ausblick

Mit Ablauf des 15. April 2023 endete der Leistungsbetrieb der KKWs Emsland, Neckarwestheim 2 sowie Isar 2 und damit die friedliche Nutzung der Kernenergie in Deutschland. Dies und die bereits 1980 eingestellten atmosphärischen Kernwaffentests werfen die Frage auf, in wie weit die bisherige Überwachung der allgemeinen großflächigen Umweltradioaktivität sowie die anlagenbezogenen Überwachungen, speziell die von deren Ableitungen, weiterhin aufrechtzuerhalten ist.

Im Hinblick auf die friedliche Nutzung der Kernenergie ist festzustellen, dass gegenwärtig und auch auf längere Sicht viele, auch direkt an Deutschland angrenzende Partnerstaaten, weiterhin

auf diese setzen werden, Polen verfolgt den Einstieg. Abbildung 2 stellt den aktuellen Stand in Europa dar, wobei die Überlegungen weiterer Staaten im Hinblick auf die Errichtung von „Small Modular Reactors“ (SMR) hier nicht berücksichtigt wurden. Im Hinblick auf die Ausgestaltung der allgemeinen Umweltüberwachung gilt es, diese Tatsache zu berücksichtigen.

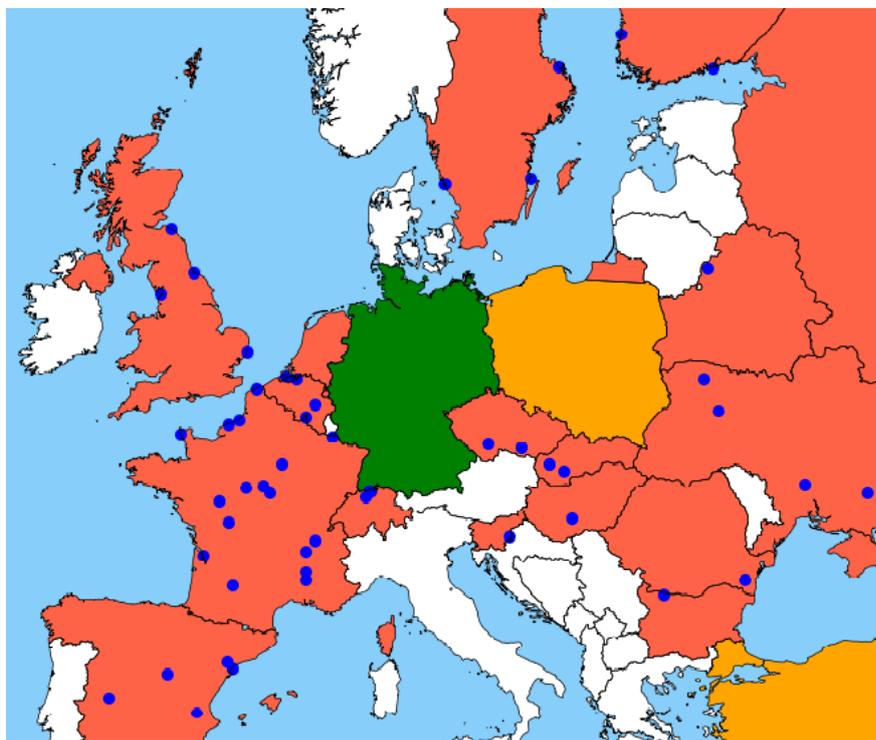


Abb. 2: Staaten mit im Leistungsbetrieb befindlichen KKWs (rot) oder den Einstieg in die friedliche Nutzung der Kernenergie planen/vorantreiben (orange). Blau = im Leistungsbetrieb befindende KKWs.

Weiterhin ist mit der Einstellung des Leistungsbetriebs der deutschen Kernkraftwerke keineswegs das völlige Ende der Ableitung radioaktiver Stoffe aus Kernkraftwerken verbunden. Bisherige Erfahrungen mit älteren Rückbauprojekten zeigen, dass es auch hier zwischenzeitlich z. T. sogar zu steigenden Ableitungen einiger Radionuklide kommen kann.

Ebenso ist die künftige Überwachung sonstiger kerntechnischer Anlagen und Einrichtungen, z. B. für die Herstellung und Anwendung zunehmend medizinisch genutzter Radionuklide, aufgrund der veränderten Rechtslage durch das Strahlenschutzgesetz noch nicht gänzlich geklärt. Auch hieraus könnten sich neue Aspekte der Umweltüberwachung ableiten.

Schließlich hat sich in der Vergangenheit gezeigt, dass verschiedene Ereignisse sich nachweislich auf die Umweltradioaktivität, insbesondere in der Luft, auswirken können. Beispiele hierfür sind Steppenbrände bei Tschornobyl, die Verfrachtung von Saharastaub-gebundenen Radionukliden der französischen Kernwaffenversuche in Algerien, das versehentliche Einschmelzen bzw. Zerstören von Strahlen-Quellen, die Reaktorkatastrophe von Fukushima usw. Und leider ist inzwischen selbst der Einsatz taktischer Kernwaffen in Europa heute wieder nicht mehr gänzlich auszuschließen.

Insofern ist es angeraten, die Reduzierung der Überwachung der Umweltradioaktivität vor dem Hintergrund des sogenannten Atomausteigs nicht übereilt anzugehen.

5 Danksagung

Ich danke Herrn Benjamin von Lospichl für die technische Unterstützung zur Erstellung von Abbildung 2!

6 Literatur

- [1] Sonderausschuss Radioaktivität, Erster Bericht, Georg Thieme Verlag, Stuttgart, (1958).
- [2] Sonderausschuss Radioaktivität, Zweiter Bericht, Georg Thieme Verlag, Stuttgart, (1959).
- [3] Sonderausschuss Radioaktivität, Dritter Bericht, Georg Thieme Verlag, Stuttgart, (1963).
- [4] Wasserstoffbombe „Wir nannten sie Lulu“, Der Spiegel, 26.11.1952.
- [5] O. Haxel, G. Schumann, Über die radioaktive Verseuchung der Atmosphäre, Die Naturwissenschaften 40 (1953) 458-459.
- [6] A. Sittkus, Beobachtungen an radioaktiven Schwaden von atomtechnischen Versuchen im Jahre 1953/54, Die Naturwissenschaften 42 (1955) 478-482.
- [7] Atom-Waffen „Die dritte Stufe“, Der Spiegel, 9.5.1956.
- [8] C. E. Miller, L. D. Marinelli, Argonne National Laboratory, ANL-5679 (1957) 22.
- [9] E. C. Anderson et al., Science 125 (1957) 1273.
- [10] Atom-Schäden „Das strahlende Gebein“, Der Spiegel, 31.7.1957
- [11] US Atomic Energy Commission, Health and Safety Laboratory, Environmental Contamination from Weapon Tests, HASL-42, New York, Oktober 1958.
- [12] United Nations, Report of the United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation (UNSCEAR), Annex D, New York, 1958.
- [13] A. Wichen, A. Bayer, Die Leitstellen für die Überwachung der Radioaktivität in der Umwelt: Historie, Aufgaben, Perspektiven, in: BMU (Hrsg.) Die Leitstellen zur Überwachung der Umweltradioaktivität nach dem Strahlenschutzvorsorgegesetz und nach den Richtlinien zur Emissions- und Immissionsüberwachung kerntechnischer Anlagen und bei bergbaulichen Tätigkeiten, Bonn, Dezember 1999.
- [14] DWD, 50 Jahre Überwachung der Radioaktivität in der Atmosphäre durch den Deutschen Wetterdienst, Selbstverlag des DWD, Offenbach am Main (2006).
- [15] United Nations, Report of the United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation (UNSCEAR) to the General Assembly, Annex C, New York, 2000.
- [16] W. Blume, H. Zindler, Radioaktivität in Luft, Niederschlägen und Fallout 1959 – 1966 in Berlin-Friedrichshagen, Kernenergie 10 (1967) 223-229.
- [17] K. Aurand, M. Ruf, W. Schikarski, J. Schwibach, Umweltbelastung durch Radionuklide in Abluft und Abwasser aus Kernkraftwerken in der Bundesrepublik Deutschland, Bericht KFK 1515, Karlsruhe, 1972.
- [18] Bundesministerium des Inneren, 30 Jahre Überwachung der Umweltradioaktivität in der Bundesrepublik Deutschland, Bonn, 1986.
- [19] Bundesministerium des Inneren, 4. Fachgespräch Überwachung der Umweltradioaktivität, 10.-12. März 1981 bei der Gesellschaft für Strahlenforschung und dem Bundesgesundheitsamt, Neuherberg, 1981.
- [20] W. Röhnsch, J. Kunert, Umgebungsüberwachung von Kernanlagen, Kernenergie 11 (1968) 209-214.
- [21] Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, nukleare Sicherheit und Verbraucherschutz, Die Leitstellen zur Überwachung der Umweltradioaktivität, Bonn, Juni 2023.

Qualitätsmanagement

Zusammenfassung der Sitzung: Qualitätsmanagement

J. Bieringer¹, G. Haase²

¹Bundesamt für Strahlenschutz, Freiburg

²Max Rubner-Institut, Kiel

In der Sitzung Qualitätsmanagement wurde der Ringversuch Teepulver 2021 von der Planung bis zur Auswertung von Frau Kabai vorgestellt. Die Leitstelle für Arzneimittel, deren Ausgangsstoffe sowie Bedarfsgegenstände am Bundesamt für Strahlenschutz (BfS) hatte zusammen mit der Leitstelle für Boden, Bewuchs, Futtermittel und Nahrungsmittel pflanzlicher und tierischer Herkunft am Max Rubner-Institut (MRI) in Kiel eine Vergleichsanalyse für die Bestimmung von Gamma- und Beta-Strahlern in Teepulver durchgeführt. Im Vortrag wurden die wichtigsten Aspekte wie Planung, Organisation, Durchführung, Probenvorbereitung und statistische Auswertung (z-score, x-score, Ampelsystem) erläutert. Besonderheiten und Herausforderungen für die Teilnehmenden, wie z. B. die ausreichende Trocknung der Proben sowie die Berücksichtigung von Summationseffekte in der Gammaskopimetrie (Ba-133) wurden gesondert thematisiert.

Herr Ober erläuterte das Thema der Langzeitauswertungen der IMIS- und REI-Ringvergleiche unter dem Aspekt der Vergleichsuntersuchungen in der Leitstelle E und F am MRI seit 1977. Insbesondere Vergleichsuntersuchungen zum Umweltmedium Milch wurden aus historischen Gründen bereits rund 20 Mal durchgeführt. Dabei wurde sowohl auf die Planung und Durchführung, als auch auf die statistische Auswertung und die Kommunikation mit den Teilnehmern eingegangen. Dies beinhaltete eine kritische Bewertung der Vorgaben zur Durchführung von Vergleichsanalysen in der DIN 17043 in Kombination mit der DIN 13528. Bewertungskriterien wie der z-Score und der ζ -Score wurden erläutert. Nicht immer steht ein Referenzwert zur Verfügung, auf den Bezug genommen werden kann. In diesen Fällen kann als Sollwert der robuste Mittelwert verwendet werden.

Im Bereich Umweltüberwachung wurde von Herrn Stolzenberg die optische Detektion von Alpha-emittierenden Radionukliden präsentiert. Das neuartige Nachweisverfahren basiert auf der durch Alphateilchen-induzierten ultravioletten (UV) Lumineszenz der Luft, der so genannten Alpha-Radiolumineszenz. Der Hauptvorteil dieses Verfahren gegenüber den klassischen Kontaminationsmessungen ergibt sich aus der Tatsache, dass UV-Strahlung über eine beträchtliche Entfernung in Luft nachgewiesen werden kann; ihre Reichweite ist die um mehrere Größenordnungen größer ist die von Alphateilchen. Dies ermöglicht die Bestimmung von größeren Alpha-Kontaminationen aus größerer Distanz und verringert somit das Risiko für das Personal, die Detektionszeit und die Kosten.

Die Erweiterung des ODL-Messnetzes in Niedersachsen zur Umweltüberwachung wurde von Herrn Denkhäus und Frau Böttger erläutert. Aufgrund der Änderung des Niedersächsischen Katastrophenschutzgesetzes vom 01.01.2019 wird das ODL-Messnetz auf alle kerntechnischen Anlagen in Niedersachsen ausgeweitet. Dabei war festzulegen, wie viele Sonden für welchen Anlagentypen benötigt und in welchem Abstand sie aufgestellt werden sollten. Insgesamt erhöht sich die Anzahl der Messsonden von knapp 30 auf 130. Um neue, repräsentative Aufstellflächen zu finden, wird eine vorab durchgeführte Kartenanalyse mit zielgerichteten Vor-Ort-Begehungen kombiniert. Neben der Einbindung der Schachanlage Asse II wird aktuell die Standortsuche im Umfeld von Gorleben priorisiert.

V035: Ringversuch Teepulver 2021 – Von Planung bis Auswertung

Proficiency test tea powder 2021 – From planning to evaluation

E. Kabai¹, F. Ober², G. Haase²

¹Bundesamt für Strahlenschutz, Oberschleißheim, Deutschland

²Max Rubner-Institut, Kiel, Deutschland

Zusammenfassung

Die Leitstellen zur Überwachung der Umweltradioaktivität haben im Rahmen ihrer Aufgaben nach § 161 Absatz 1 Nummer 2 des Strahlenschutzgesetzes (StrlSchG) unter anderem als qualitätssichernde Maßnahme Vergleichsanalysen durchzuführen. Im Jahr 2021 organisierte die Leitstelle für Arzneimittel und deren Ausgangsstoffe sowie Bedarfsgegenstände (Leitstelle I) am Bundesamt für Strahlenschutz (BfS) in Neuherberg zusammen mit der Leitstelle für Boden, Bewuchs, Futtermittel und Nahrungsmittel pflanzlicher und tierischer Herkunft (Leitstelle E + F) am Max Rubner-Institut (MRI) in Kiel einen Ringversuch für die Bestimmung von Gamma- und Beta-Strahlern in Teepulver. Zu bestimmen waren die spezifischen Aktivitäten unter anderem folgender Isotope: ⁴⁰K, ⁶⁰Co, ¹³³Ba, ¹³⁴Cs und ¹³⁷Cs als Gamma-Strahler sowie ⁸⁹Sr und ⁹⁰Sr als reine Beta-Strahler. Die Ergebnisse sollten in Bq/kg Trockenmasse angegeben werden. Die Methode zur Bestimmung des Trockenmassegehalts wurde den Teilnehmenden vorgegeben. An dem Ringversuch haben mehr als 70 nationale und internationale Labore, Behörden, Messstellen, Institutionen und Firmen teilgenommen. In diesem Beitrag werden die wichtigsten Aspekte wie Planung, Organisation, Durchführung, Probenvorbereitung und statistische Auswertung erläutert. Besonderheiten und Herausforderungen werden gesondert thematisiert.

Summary

The Coordinating Offices for monitoring environmental radioactivity must carry out, among other things, inter-laboratory comparison analyses and proficiency tests as a quality assurance measure as part of their tasks according to Section 161 (1) No. 2 of the Radiation Protection Act (StrlSchG). In 2021, the Coordinating Offices for medicinal products, their raw materials and commodities (Coordinating Office I) at the Federal Office for Radiation Protection (BfS) in Neuherberg, together with the Coordinating Office for soil, vegetation, animal feed and food of vegetable or animal origin (Coordinating Office E + F) at the Max Rubner Institute (MRI) in Kiel, organized a proficiency test for the determination of gamma and beta emitters in tea powder. The specific activities of the following isotopes, among others, were to be determined: ⁴⁰K, ⁶⁰Co, ¹³³Ba, ¹³⁴Cs, ¹³⁷Cs as gamma emitters and ⁸⁹Sr and ⁹⁰Sr as pure beta emitters. The results were to be reported in Bq/kg dry weight. The method for determining the dry matter content was specified to the participants. More than 70 national and international laboratories, authorities, measuring laboratories, institutions and companies participated in the proficiency test. This contribution describes the main aspects such as planning, organization, implementation, sample preparation and statistical analysis. Special features and challenges are addressed separately.

1 Einleitung

Die Leitstellen zur Überwachung der Umweltradioaktivität haben im Rahmen ihrer Aufgaben nach § 161 Absatz 1 Nummer 2 des Strahlenschutzgesetzes (StrlSchG) [1] sowie nach § 103

Absatz 3 der Strahlenschutzverordnung (StrlSchV) [2] und gemäß AVV IMIS [3] unter anderem als qualitätssichernde Maßnahme Vergleichsanalysen durchzuführen.

Im Jahr 2021 organisierte die Leitstelle für Arzneimittel und deren Ausgangsstoffe sowie Bedarfsgegenstände (Leitstelle I) am Bundesamt für Strahlenschutz (BfS) in Neuherberg zusammen mit der Leitstelle für Boden, Bewuchs, Futtermittel und Nahrungsmittel pflanzlicher und tierischer Herkunft (Leitstelle E + F) am Max Rubner-Institut (MRI) in Kiel einen Ringversuch für die Bestimmung von Gamma- und Beta-Strahlern in Teepulver. Als Ausgangsmaterial wurde ein für die Leitstelle I typisches Material, welches für Teezubereitungen verwendet wird, ausgewählt.

Zu bestimmen waren die spezifischen Aktivitäten folgender Isotope: ^{40}K , ^{60}Co , ^{133}Ba , ^{134}Cs und ^{137}Cs als Gamma-Strahler sowie ^{89}Sr und ^{90}Sr als reine Beta-Strahler. Es wurde den Teilnehmern überlassen, welche anderen Isotope sie ggf. zusätzlich berichten möchten. Aufgrund der Rückmeldungen der Teilnehmer wurde über die o. g. Isotope hinaus ebenfalls eine Auswertung für das Isotop ^{210}Pb durchgeführt.

Die Teilnehmer sollten die Ergebnisse von zwei unabhängigen Bestimmungen in Bq/kg TM (Trockenmasse) mit der relativen Gesamtunsicherheit zurückmelden. Die relative Gesamtunsicherheit sollte in Prozent (%) als relative Unsicherheit mit dem Erweiterungsfaktor $k = 1$ angegeben werden. Die Trocknungsmethode für die Ringversuchsprobe wurde vorgegeben.

Darüber hinaus wurden zu Informationszwecken sowohl die erreichten Nachweisgrenzen für die Isotope ^{60}Co , ^{89}Sr und ^{90}Sr als auch die verwendeten Analyse- und Messmethoden abgefragt. Zur Durchführung der Eignungsprüfung wurden den Teilnehmern von der Leitstelle E + F je nach angemeldetem Bedarf unterschiedliche Mengen des vorbereiteten Ringversuchsmaterials zugeschickt.

2 Ziel, Planung und zeitlicher Ablauf des Ringversuchs

Um einen bundeseinheitlichen Qualitätsstandard sicherzustellen, werden von den Leitstellen des Bundes gemäß StrlSchV [2] und AVV IMIS [3] Vergleichsanalysen angeboten und durchgeführt. Diese Vergleichsuntersuchung war als quantitative Eignungsprüfung zur Bestimmung von Radiostrontium und Gammastrahlern in gemahlenem grünem Tee mit gleichzeitiger Teilnahme der beteiligten Labore konzipiert.

Die Gesamtdauer der Eignungsprüfung lag bei etwa einem Jahr. Davon waren für die Rückmeldungen der Teilnehmer ca. sechs Wochen vorgesehen (siehe Abbildung 1).

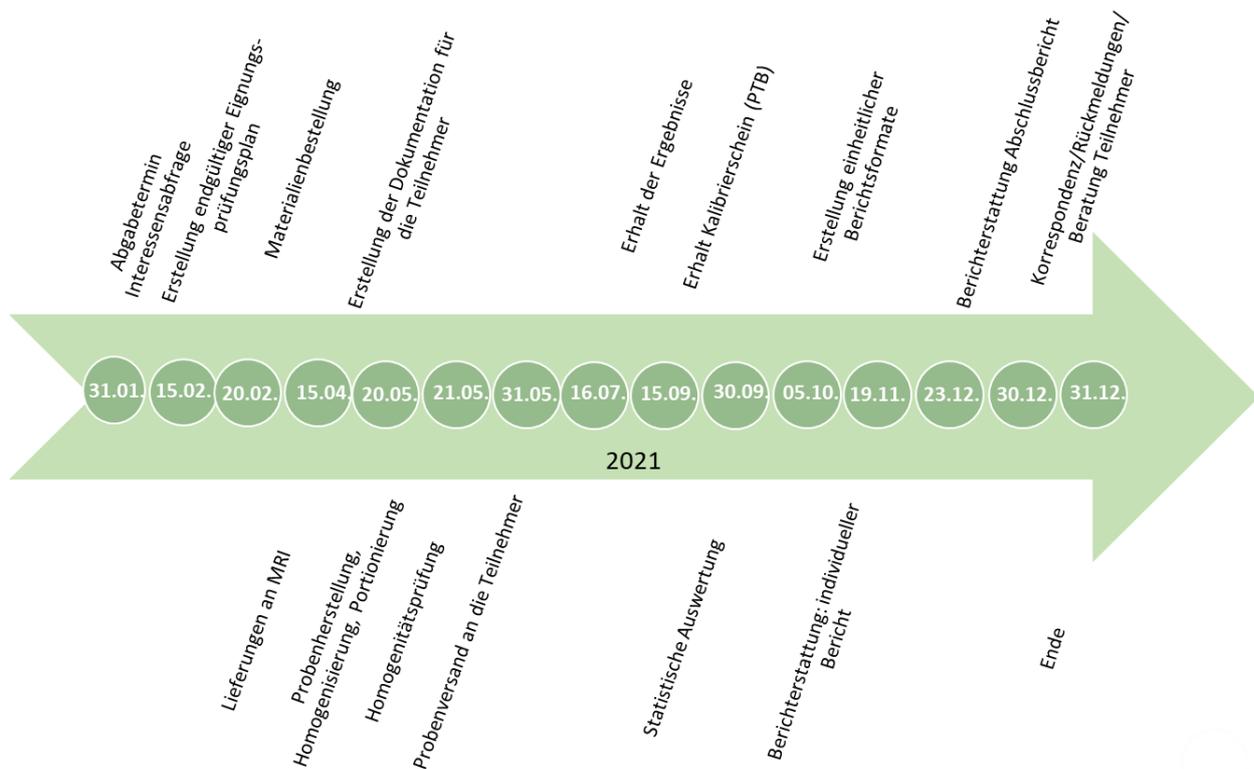


Abb. 1: Zeitlicher Ablauf der Eignungsprüfung Teepulver 2021

3 Durchführung

3.1 Herstellung des Probenmaterials

Als Ausgangsmaterial für die Herstellung des Probenmaterials wurde aus einer Charge grünem Tee (*Camellia sinensis* L.) in Pulverform aus China ca. 1 kg entnommen und in einer Schale gleichmäßig ausgebreitet. Mit Hilfe einer Mehrkanalpipette wurde die zuvor hergestellte Radionuklidmischung aus ^{60}Co , ^{89}Sr , ^{90}Sr , ^{133}Ba , ^{134}Cs und ^{137}Cs als Lösung tropfenweise aufgebracht. Die Radionuklidmischung wurde aus zertifizierten Aktivitätsnormalen der Einzelnuclidlösungen der Physikalisch-Technischen Bundesanstalt (PTB) gemischt. Die Schale mit dem Pulver wurde luftgetrocknet und am nächsten Tag in einem geeigneten Behälter zusammen mit Mahlkugeln in einem Taumler homogenisiert. Anschließend wurde das mit der Radionuklidmischung versetzte Pulver zu dem verbliebenen Teepulver hinzugefügt und in einem großen Mischer so lange gemischt, bis die Homogenität der Probe erreicht wurde. Danach wurden die Proben in die dafür vorgesehenen Polyethylen-Behälter portioniert, gekennzeichnet und im Anschluss verpackt und versandt.

3.2 Bestimmung eines unabhängigen Referenzwertes

Für die Bestimmung eines unabhängigen Referenzwertes x_{ref} wurden zwei Probenbehälter mit Ringversuchsmaterial der PTB zur Analyse zugeschickt. Die PTB-Referenzwerte für die Gamma-Strahler sind in Tabelle 1 zusammengefasst. Der angegebene Referenzwert der PTB für ^{60}Co beruht allein auf der Auswertung der γ -Linie bei 1.332,5 keV.

Die Bestimmung von Referenzwerten für ^{89}Sr und ^{90}Sr war der PTB technisch nicht möglich. Dementsprechend konnte für die beiden Beta-Strahler kein Vergleich mit einem Referenzwert gemäß Abschnitt 7.8 der DIN ISO 13528 [4] erfolgen.

Tabelle 1: Referenzwerte der PTB für die Gamma-Strahler im Ringversuchsmaterial grüner Tee (gemahlen)

Nuklid	x_{ref} [Bq/kg TM] k = 2
<i>Referenzdatum 2021-03-01 00:00 Uhr MEZ</i>	
K-40	591 ± 19
Co-60	2,26 ± 0,08
Ba-133	11,2 ± 0,4
Cs-134	70,8 ± 2,5
Cs-137	22,8 ± 0,7
Pb-210	100 ± 4

4 Teilnehmer

An der Eignungsprüfung nahmen 70 Labore teil, wobei etwa ein Drittel der Teilnehmer internationale Labore aus Europa waren. Die Abbildung 2 stellt die Art der teilnehmenden Einrichtungen und ihr Herkunftsland dar.

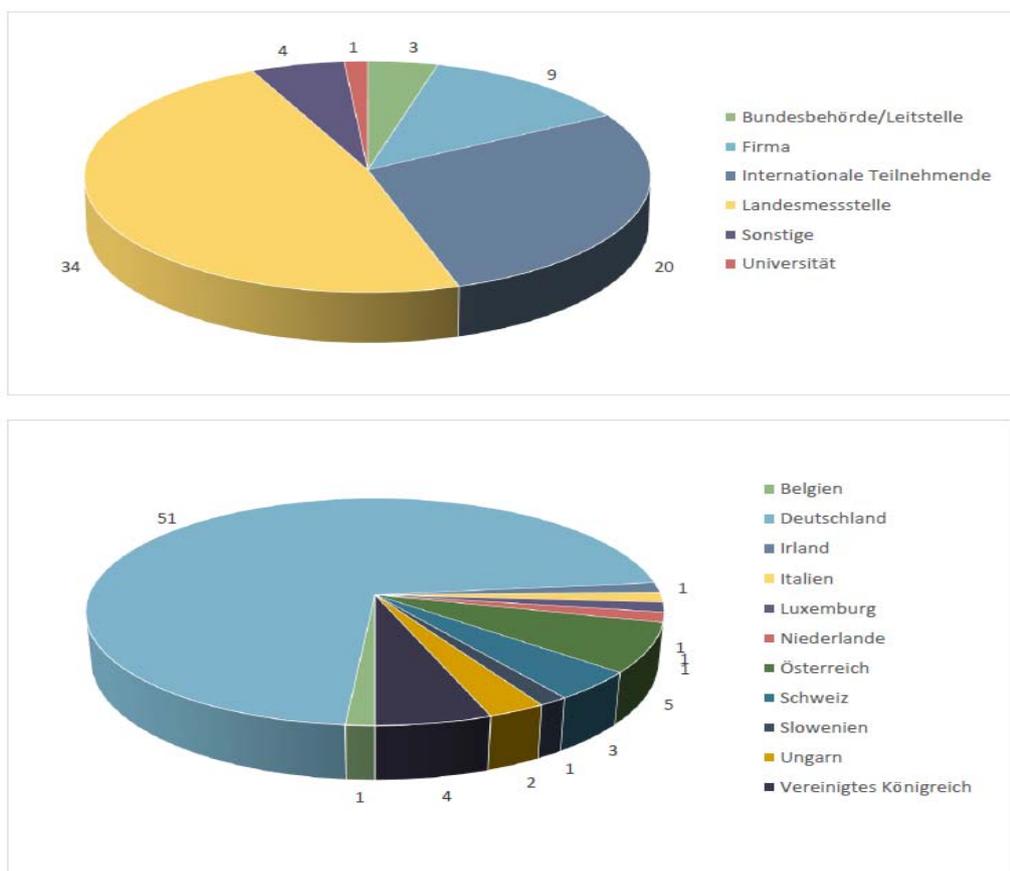


Abb. 2: Art und Anzahl der teilnehmenden Einrichtungen (oben) bzw. Anzahl und Land der angemeldeten Eignungsprüfungsteilnehmer (unten)

5 Auswertung

Das Auswertungsverfahren wurde in Anlehnung an die Vorgaben der DIN EN ISO/IEC 17043:2010 [5], die wiederum auf die Ausführungen der DIN ISO 13528 [4] verweist, erstellt. Diesen Empfehlungen folgend wurden zur Minimierung des Einflusses von Ausreißern die erreichten Messergebnisse für jedes Isotop mit dem robusten iterativen Verfahren Algorithmus A (siehe Abschnitt C.3.1 in [5]) ausgewertet und der robuste Schätzwert für den Gesamtmittelwert (\bar{x}^*) sowie die robuste Standardabweichung (s^*) bestimmt.

Zur Bestimmung des zugewiesenen Wertes x_{pt} wurde gemäß Abschnitt 7.7 der DIN ISO 13528 [5] der Konsenswert aus allen unabhängigen Messwerten aller Teilnehmer für jedes Isotop außer ^{60}Co festgelegt. Es wurde eine robuste Analyse der Messergebnisse durchgeführt. Daher wurden für den zugewiesenen Wert (x_{pt}) der robuste Gesamtmittelwert (\bar{x}^*) und für die Standardabweichung (σ_{pt}) der Eignungsprüfung die robuste Standardabweichung (s^*) gewählt.

Als Leistungskenngrößen wurden für jedes Messergebnis x_i die Werte für den z-Score und den ζ -Score gemäß den Abschnitten 9.4 bzw. 9.6 der DIN ISO 13528 [5] nach den Gleichungen 3.4.1 und 3.4.2 berechnet.

6 Schlussfolgerungen

Die Ergebnisse der Teilnehmer sind im Abschlussbericht [6] sowohl in grafischer Form als auch als tabellarische Darstellungen zu finden. Darüber hinaus wurden den Teilnehmern ihre eigenen Ergebnisse in einem individuellen Bericht mitgeteilt.

Aus dem Gesamtüberblick kann geschlussfolgert werden, dass nach den leistungsbewertenden Kenngrößen z- bzw. ζ -Score mehr als 70 % aller teilnehmenden Labore zufriedenstellende Ergebnisse geliefert hatten. Betrachtet man getrennt die Anteile der beiden Scores, wird ersichtlich, dass die Teilnehmer im Allgemeinen die Messwerte viel besser einschätzten (Anteil der Messwerte mit $|z| < 2$ größer als 85 %) als deren Unsicherheit (Anteil der Messwerte mit $|\zeta| < 2$ größer als 70 %). Bei der Ermittlung der Unsicherheiten ist daher noch Verbesserungspotenzial vorhanden.

Als erste Eignungsprüfung für dieses Umweltmedium (grüner Tee in Pulverform) können diese Ergebnisse als gut betrachtet werden. Die Erkenntnisse dienen den Teilnehmern und Teilnehmerinnen ihre etablierten Messmethoden zu verifizieren und ggf. zu verbessern. Dies stellt mittelfristig einen erhöhten Qualitätsstandard sicher.

7 Danksagung

Wir bedanken uns bei allen beteiligten Kolleginnen und Kollegen beider Behörden, BfS und MRI, für ihre tatkräftige Unterstützung.

8 Literatur

- [1] STRAHLENSCHUTZGESETZ – StrlSchG (2017): Strahlenschutzgesetz vom 27. Juni 2017 (BGBl. I S. 1966), das zuletzt durch die Bekanntmachung vom 3. Januar 2022 (BGBl. I S. 15) geändert worden ist.
- [2] STRAHLENSCHUTZVERORDNUNG – StrlSchV (2018): Strahlenschutzverordnung vom 29. November 2018 (BGBl. I S. 2034, 2036; 2021 I S. 5261), die zuletzt durch Artikel 1 der Verordnung vom 10. Januar 2024 (BGBl. 2024 I Nr. 8) geändert worden ist.

- [3] AVV IMIS (2006): Allgemeine Verwaltungsvorschrift zum Integrierten Mess- und Informationssystem zur Überwachung der Radioaktivität in der Umwelt nach Strahlenschutzvorsorgegesetz vom 13. Dezember 2006. Bundesanzeiger Jahrgang 58 Nummer 244a, Ausgegeben am Freitag, dem 29. Dezember 2006, ISSN 0720-6100 G 1990.
- [4] DIN ISO 13528 (2020): Statistische Verfahren für Eignungsprüfungen durch Ringversuche.
- [5] DIN EN ISO/IEC 17043 (2010): Konformitätsbewertung – Allgemeine Anforderungen an Eignungsprüfungen.
- [6] E. Kabai, F. Ober, G. Haase: Eignungsprüfung Teepulver 2021, <http://nbn-resolving.de/urn:nbn:de:0221-2022020130823>.

V001: Vergleichsuntersuchungen „Milch“ am MRI: Gestern - Heute - Morgen

Inter-laboratory Comparison “Milk” at MRI: Past - Present - Future

*F. Ober, G. Haase und T. Vagt
Max Rubner-Institut, Kiel, Deutschland*

Zusammenfassung

Die Leitstelle E / F am Max Rubner-Institut (MRI), Bundesforschungsinstitut für Ernährung und Lebensmittel in Kiel führt seit 1977 gemäß des Strahlenschutzgesetzes (StrlSchG) [1] in Verbindung mit der Allgemeinen Verwaltungsvorschrift zum integrierten Mess- und Informationssystem (AVV IMIS) Vergleichsanalysen bzw. Ringversuche durch.

Dieser Beitrag soll eine Analyse zur Entwicklung dieser am MRI etablierten Vergleichsuntersuchung bieten und bezieht sich dabei vor allem auf die Erkenntnisse aus den Vergleichsanalysen der Jahre 2019 – 2022. Dabei wird sowohl auf die Planung und Durchführung, als auch auf die statistische Auswertung und die Kommunikation mit den Teilnehmern eingegangen. Dies beinhaltet eine kritische Bewertung der Vorgaben zur Durchführung von Vergleichsanalysen in der DIN EN ISO/IEC 17043 [4] in Kombination mit der DIN ISO 13528 [5]. Zusätzlich werden aufgetretene Probleme thematisiert sowie mögliche Lösungen aufgezeigt. Bewertungskriterien wie der z-Score oder der ζ -Score werden erläutert.

Summary

The Federal Coordination Office for Monitoring Environmental Radioactivity E / F at the Max Rubner-Institute (MRI), the Federal Research Institute of Nutrition and Food in Kiel, is responsible for soil, vegetation, feed, and food of plant and animal origin. In accordance with the Radiation Protection Act (StrlSchG) [1] in conjunction with the General Administrative Regulation on the Integrated Measurement and Information System (AVV IMIS), it has been conducting proficiency tests and inter-laboratory comparisons since 1977.

This contribution aims to provide an analysis of the development of this established comparative study at the MRI, focusing particularly on insights gained from the comparative analyses of the past four years (2019 – 22). It covers aspects such as planning and execution, statistical evaluation, and communication with participants. This includes a critical assessment of the guidelines for conducting comparative analyses in DIN EN ISO/IEC 17043 [4] in combination with DIN ISO 13528 [5]. Additionally, encountered issues are addressed, and potential solutions are presented. Evaluation criteria such as the z-score or ζ -score are explained.

1 Einführung

Am Max Rubner-Institut (MRI), Bundesforschungsinstitut für Ernährung und Lebensmittel in Kiel, ist das Institut für Sicherheit und Qualität bei Fisch und Milch die Leitstelle E / F des Bundes für die Überwachung der Umweltradioaktivität in Umweltproben angegliedert. Die Leitstelle ist gemäß der Strahlenschutzverordnung (StrlSchV) [2] für die Umweltbereiche Boden, Bewuchs, Futtermittel und Nahrungsmittel pflanzlicher und tierischer Herkunft zuständig.

Aufgrund der gesetzlichen Aufgaben gemäß Strahlenschutzgesetz (StrlSchG) [1] in Verbindung mit der Allgemeinen Verwaltungsvorschrift zum integrierten Mess- und Informationssystem (AVV IMIS) [3] führt die Leitstelle am MRI regelmäßig Vergleichsuntersuchungen für die amtlichen Messstellen der Bundesländer durch. Diese sind ein wichtiges Element zur Sicherstellung eines bundeseinheitlichen Qualitätsstandards. Die Messstellen der Bundesländer sind nach der Richtlinie zur Emissions- und Immissionsüberwachung kerntechnischer Anlagen (REI) [6] und der StrlSchV [2] dazu aufgerufen an entsprechenden Vergleichsmessungen teilzunehmen. Darüber hinaus steht die Teilnahme an den Vergleichsuntersuchungen des MRI seit vielen Jahren auch allen interessierten Laboren im In- und Ausland offen.

2 Gestern

Seit 1977 wurden von der Leitstelle in Kiel insgesamt 29 Vergleichsuntersuchungen durchgeführt. Historisch bedingt war am Standort Kiel das Umweltmedium Milch schon immer von besonderer Bedeutung. Aus diesem Grund wurden bereits 21 Vergleichsuntersuchungen zum Medium Milch (Rohmilch, Frischmilch, Magermilch, Milchpulver, Milchasche) durchgeführt.

Allerdings hat sich die Relevanz der betrachteten Radionuklide über die Zeit verändert und der Nuklidvektor wurde an die aktuellen Rahmenbedingungen (wissenschaftliche Fragestellungen, gesetzliche Vorgaben, Störfallrelevanz etc.) angepasst.

Mitte der 1970er Jahre wurden auch in Deutschland erhöhte I-131-Messwerte in Milchproben nachgewiesen, welche auf Kernwaffenexperimente der Volksrepublik China zurückzuführen waren. Dies hatte zum Anlass, dass ab 1977/78 von der damaligen Bundesanstalt für Milchforschung in Kiel die ersten Vergleichsuntersuchungen ([7],[8]) geplant und durchgeführt wurden. Da es bis zu diesem Zeitpunkt keine einheitlichen Messanforderungen an die damaligen Messstellen des Bundes und der Länder gab, sollten diese ersten Vergleichsuntersuchungen dazu dienen, mögliche Ausstattungsdefizite aufzudecken, den Messstellen eine direkte Kontrolle ihrer Analytik zu ermöglichen und einen Überblick über die damalige Qualität der bundesweiten I-131-Messungen zu erhalten. Die Ergebnisse dienten dazu, bundeseinheitliche Anforderungen festzulegen (z. B. die Grünen Ordner der Messanleitungen des Bundes [13]) und somit die Qualität der Messungen sicherzustellen.

Die Vorgaben für die statistische Auswertung waren zum damaligen Zeitpunkt wenig standardisiert und wurden von dem jeweiligen Ausrichter festgelegt. Offensichtliche Ausreißer wurden händisch von der einfachen (klassischen) Mittelwertberechnung ausgeschlossen. Die Angabe von z- oder ζ -scores als Leistungsbewertungen war noch nicht etabliert. Die erreichten Leistungen konnten die teilnehmenden Labore im Vergleich zum Sollwert bzw. zum berechneten Mittelwert aus Diagrammen (siehe Abb. 1) über ihrem anonymisierten Laborcode ablesen. Diese Darstellungsform ist bis heute in nur leicht abgewandelter Form als sogenannte „SPlots“ anerkannt (vgl. Abb. 3).

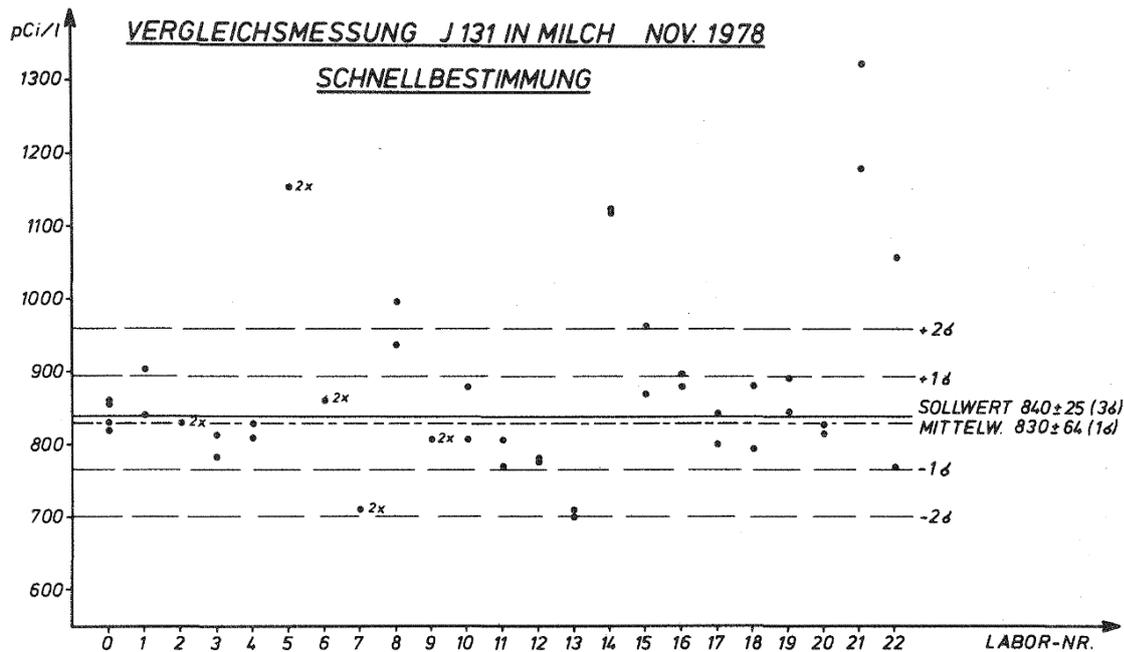


Abb. 1 Ergebnisdarstellung aus dem Jahr 1978 [8]

3 Heute

Seit 2015 wird die Vergleichsanalyse zum Medium „Milch“ am MRI im jährlichen Rhythmus angeboten und durchgeführt. Die Teilnehmerzahl liegt aktuell bei ca. 70 Messstellen und Laboratorien aus dem In- und Ausland. Hierbei ist erfreulich, dass insbesondere aus dem (EU)-Ausland eine rege Nachfrage an den Vergleichsanalysen besteht und in jedem Jahr neue Labore teilnehmen und ihr Interesse bekunden.

Seit dem Jahr 2019 wurde die Auswertung der Vergleichsanalyse umfangreich verändert. Bis zu diesem Zeitpunkt wurden verschiedene mathematische Verfahren und Analysen verwendet, um z. B. Ausreißer zu identifizieren und einen Mittelwert bzw. einen Sollwert festzulegen. Diese Methode hatte den Nachteil, dass mit dem verwendeten Algorithmus zur Ausreißerbestimmung (Dixon, Grubs 1 / 2, Mandel h / k, Cochran etc.) mal mehr oder weniger Messwerte als Ausreißer identifiziert wurden. Dies hatte zur Folge, dass der berechnete Mittelwert, die Standardabweichung und die Unsicherheit des Mittelwertes rein von der Wahl des in Ansatz gebrachten Algorithmus abhingen.

Um die Vorgehensweise für die Teilnehmer und Teilnehmerinnen einfacher und transparenter zu gestalten, wurde die Auswertung näher an die Vorgaben der DIN EN ISO/IEC 17043 [4] bzw. die DIN ISO 13528 [5] angepasst. Dies hat den für die Landesmessstellen wichtigen Nebeneffekt, dass die Vergleichsuntersuchung i. d. R. von der Deutschen Akkreditierungsstelle (DAKKS) als Eignungsprüfung anerkannt wird. Im Folgenden wird diese Vorgehensweise anhand der Vergleichsuntersuchung „Milch“ aus dem Jahr 2022 [9] verdeutlicht, an der insgesamt 68 Laboratorien aus dem In- und Ausland teilgenommen haben (vgl. Abb. 2).

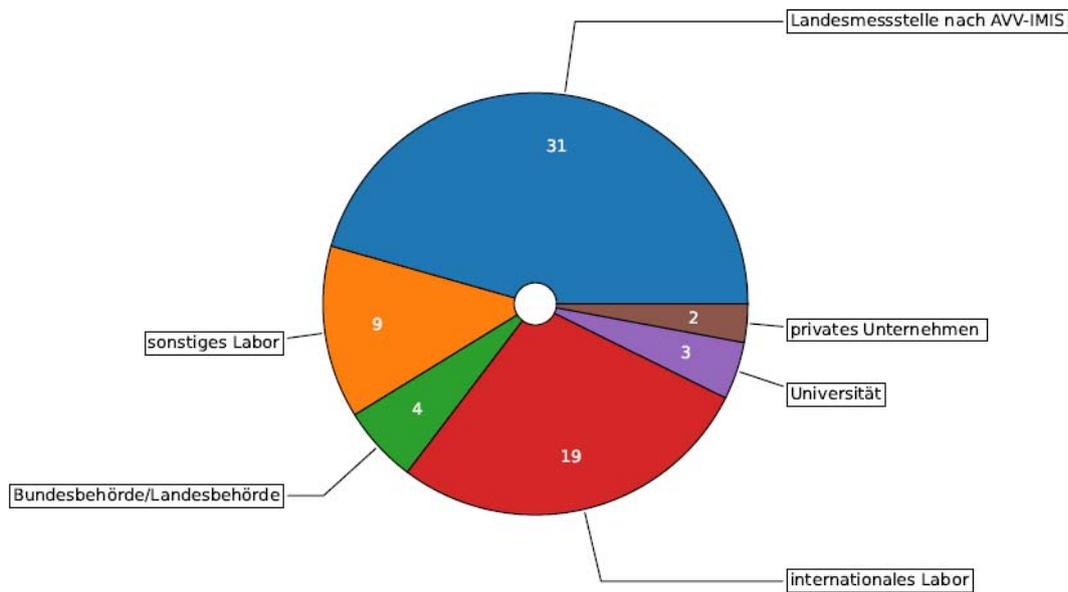


Abb. 2 Übersicht der teilnehmenden Labore an der Vergleichsanalyse „Milch 2022“ [9]

3.1 Aufgabenstellung

Es sollten die Aktivitätskonzentrationen der Radionuklide K-40, Co-60, I-131, Ba-133, Cs-134, Cs-137, Sr-89 und Sr-90 in Rohmilch bestimmt werden. In diesem Jahr war die besondere Herausforderung, dass sehr geringe Aktivitäten der Rohmilch zugegeben wurden. Für die reinen Beta-Strahler Sr-89 und Sr-90 sind zur Aktivitätsbestimmung zudem eine aufwendige radiochemische Analyse sowie im Anschluss eine komplexe Messung (z. B. wiederholte LSC-Messungen) notwendig. Auch war zu berücksichtigen, dass die Probe in diesem Jahr zusätzlich mit Sr-85 (ca. 1,26 Bq/l) kontaminiert war.

Insgesamt sollten jeweils zwei **unabhängige** Messungen bzw. Analysen (Beta-Strahler) je Radionuklid durchgeführt und die Ergebnisse eingereicht werden. Den Laboratorien war dabei freigestellt, welche Mess- bzw. Analyseverfahren sie in Ansatz bringen sowie welche Ergebnisse sie für die Auswertung und den Vergleich einreichen wollten. Insbesondere war auch der Einsatz von Schnellmethoden zugelassen.

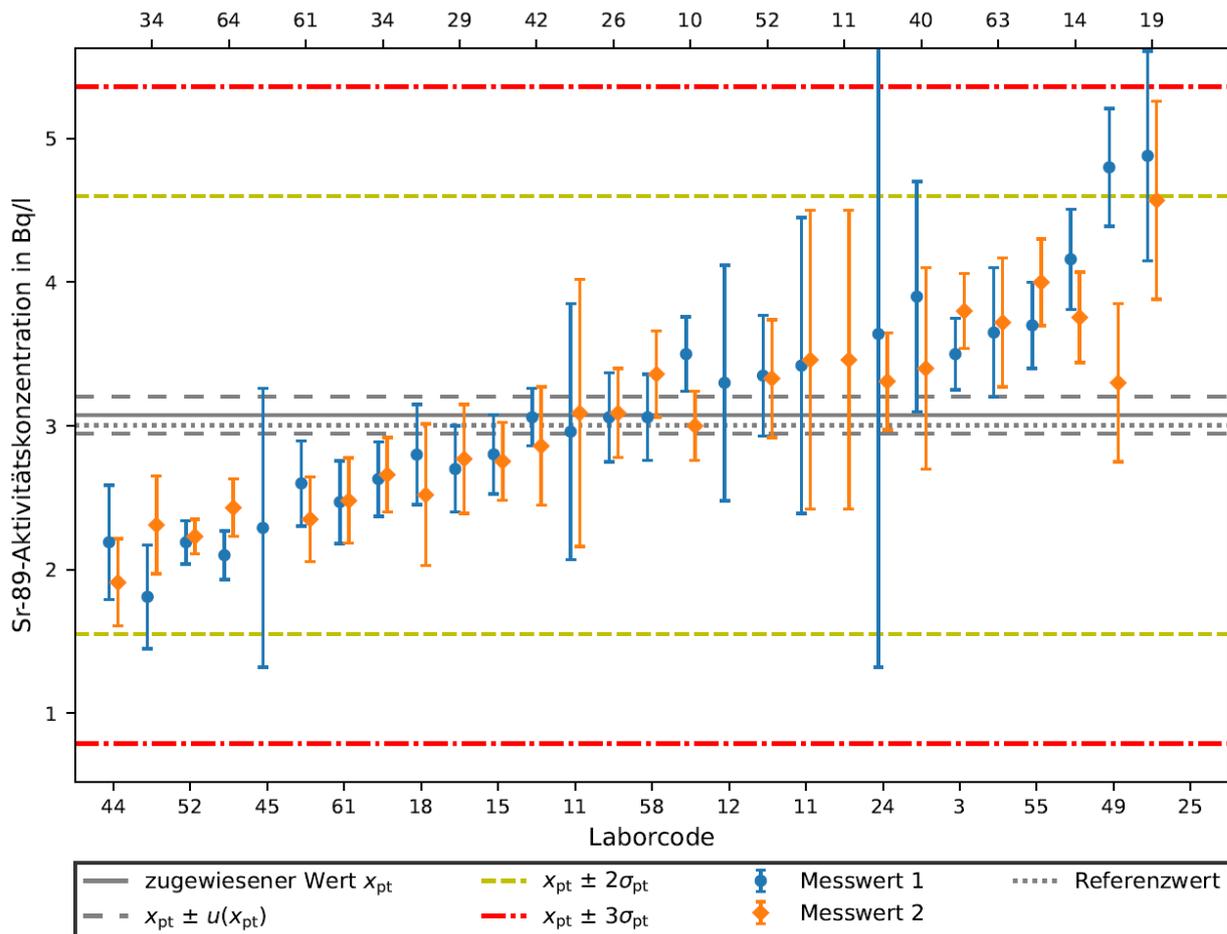


Abb. 3 Ergebnisdarstellung in Form eines „S-Plots“ am Beispiel der Ergebnisse der Aktivitätskonzentration von Sr-89. Dargestellt sind die eingereichten Ergebnisse der Laboratorien, der zugewiesene Wert (als robuster Mittelwert) und dessen Standardunsicherheit ($k = 1$) und der Referenzwert. Die gelben bzw. roten gestrichelten Linien bezeichnen die 2- bzw. 3-fache Standardabweichung der Verteilung. Die Ergebnisse für das Labor Nr. 25 liegen außerhalb des dargestellten Bereichs.

3.2 Auswertung und Bewertung

Den Empfehlungen der DIN EN ISO/IEC 17043 [4] folgend werden zur Minimierung des Einflusses von Ausreißern gemäß den Ausführungen der DIN ISO 13528 [5] der robuste Mittelwert x^* , die robuste Standardabweichung s^* sowie die einfache ($k = 1$) Unsicherheit $u(x^*)$ des robusten Mittelwertes berechnet. Dafür hat sich der „Q-Hampel-Algorithmus“ bewährt. Dieser besitzt gemäß den Ausführungen der DIN ISO 13528 [5] bei Anwesenheit von Ausreißern bzw. Extremwerten gegenüber dem oft genutzten „Algorithmus A“ statistische Vorteile. Dieses Vorgehen ermöglicht, dass auf eine aufwendige und oftmals uneindeutige Ausreißer-Identifikation und Elimination verzichtet werden kann. Die Unsicherheit $u(x^*)$ des robusten Mittelwertes berechnet sich mit der Gesamtanzahl der eingereichten Messwerte gemäß der folgenden Formel zu:

$$u(x^*) = 1.25 \cdot \left(\frac{s^*}{\sqrt{N}} \right)$$

Die so ermittelten Werte wurden gemäß Abschnitt 7.8 der DIN 13528 [5] gegen Referenzwerte nach folgendem Kriterium geprüft:

$$\left| \frac{(x_{\text{ref}} - x^*)}{\sqrt{u(x_{\text{ref}})^2 + u(x^*)^2}} \right| < 2$$

Die Referenzwerte wurden anhand der rückführbaren Aktivitätsstandards errechnet, die der Ausgangsmilch hinzugegeben wurden. Wird dieses Kriterium nicht eingehalten, so kann dies als ein Hinweis darauf gewertet werden, dass z. B. die Teilnehmerinnen und Teilnehmer ein gemeinsames Problem bei der Aktivitätsbestimmung hatten. Dies war in diesem Jahr bei der Gamma-Messung von Cs-137 der Fall, da die Aktivitätskonzentration relativ niedrig (ca. 0,18 Bq/l) war und viele Laboratorien den in diesem Fall sehr relevanten Einfluss der Untergrundkorrektur unterschätzt hatten. Daher haben viele Labore signifikant zu hohe Messwerte eingereicht.

Zur Leistungsbewertung wurde für jeden Messwert der jeweilige z- bzw. ζ-score berechnet:

$$z_k = \frac{(x_k - x_{\text{pt}})}{\sigma_{\text{pt}}}$$

$$\zeta_k = \frac{(x_k - x_{\text{pt}})}{\sqrt{u(x_k)^2 + u(x_{\text{pt}})^2}}$$

Dabei bezeichnet x_k den k-ten eingereichten Messwert mit der zugehörigen Unsicherheit, den zugewiesenen Wert, dessen Unsicherheit und die Standardabweichung der Vergleichsanalyse. Die zugewiesenen Werte entsprechen den Ergebnissen der robusten Analyse.

Die Beurteilung erfolgte gemäß dem Bewertungsschema der DIN 17043 [4]:

$|z| \leq 2$ zufriedenstellendes Ergebnis $|\zeta| \leq 2$

$2 < |z| < 3$ fragwürdiges Ergebnis $2 < |\zeta| < 3$

$|z| \geq 3$ nicht zufriedenstellendes Ergebnis $|\zeta| \geq 3$

Ein ungünstiger ζ-score kann verschiedene Ursachen haben. Dies kann auf eine große Abweichung des jeweiligen Messergebnisses x_k vom zugewiesenen Wert x_{pt} (Mittelwert), auf eine Unterschätzung der vom Labor berichteten Unsicherheit $u(x_k)$ des k-ten Messergebnisses x_k oder aber auch auf eine Kombination von beiden hinweisen. Insbesondere für die Unsicherheitsanalyse von radiochemischen Analysen (in diesem Fall bei der Sr-89 und Sr-90 Bestimmung) wird von der Leitstelle auf den „Guide to the expression of uncertainty in measurement“ (GUM) [11] bzw. die Normenreihe DIN 11929:2021:1-4 [10] in Verbindung mit den jeweiligen Messanleitungen des Bundes verwiesen. Diese geben Vorschläge und Vorgaben zur vollständigen Unsicherheitsbetrachtung (inkl. der Beachtung von Typ B-Unsicherheiten) im Allgemeinen und im Fall von ionisierender Strahlung. Auch Rechenbeispiele mit Beispielprojekten für Excel® und UncerRadio [12] sind für viele Analysemethoden verfügbar.

4 Morgen

In Zukunft wird die Leitstelle weiterhin im jährlichen Rhythmus eine Vergleichsanalyse zum Medium „Milch“ anbieten. Insbesondere der Nuklidvektor wird bedarfsgerecht an die Bedürfnisse der amtlichen Messstellen bzw. der aktuellen Lage angepasst. Ein besonders interessanter Ansatz aus Sicht der Leitstelle wäre die Durchführung einer reinen Sr-89 und Sr-90 Vergleichsanalyse. Für diesen Vergleich sollen verschiedene Aktivitätskonzentration der beiden Nuklide in Ansatz gebracht werden, um ggf. auftretende Probleme bei den Messungen der amtlichen Messstellen des Bundes und der Länder identifizieren zu können.

Weiterhin werden die Vergleichsanalysen in Anlehnung an die DIN EN ISO/IEC 17043 [4] geplant und durchgeführt. Durch diese standardisierte Vorgehensweise stellt die Leitstelle einen hohen Qualitätsstandard sicher und hofft, den Messstellen den erforderlichen Nachweis ihrer erfolgreichen Teilnahme an Eignungsprüfungen im Rahmen ihrer Akkreditierung zu erleichtern. Dabei hat sich für die Auswertung die Analyse des robusten Mittelwerts, wie in Abschnitt 3.2 beschrieben, bewährt. Gegebenenfalls können in Zukunft auch wieder offizielle Referenzwerte, beispielsweise von der Physikalisch-Technischen Bundesanstalt (PTB), für die Auswertungen herangezogen werden.

Die Leitstelle wird außerdem sowohl z-score als auch ζ -score Werte als Leistungsindikatoren bereitstellen. Diese werden gemeinsam mit einem individuellen Leistungszertifikat (vgl. Abb. 4) an die teilnehmenden Labore verschickt.

Dear proficiency test participants,

enclosed you will find an initial overview of the results you have achieved.

The final report can be found here:

https://www.openagrar.de/receive/openagrar_mods_00086330

Nuclide	M_1	M_2	x_{pt}	z_1	ζ_1	z_2	ζ_2
K-40	49 ± 1	48 ± 1	49,7 ± 0,3	-0,2	-0,6	-0,5	-1,6
Co-60	1,48 ± 0,05	1,42 ± 0,07	1,498 ± 0,006	-0,3	-0,4	-1,3	-1,1
I-131	183 ± 5	185 ± 4	181,2 ± 0,7	0,3	0,3	0,6	0,9
Ba-133	1,38 ± 0,06	1,4 ± 0,1	1,38 ± 0,01	-0,0	-0,0	0,3	0,2
Cs-134	1,17 ± 0,04	1,09 ± 0,06	1,167 ± 0,008	0,0	0,1	-1,0	-1,3
Cs-137	0,21 ± 0,02	0,20 ± 0,03	0,180 ± 0,005	1,7	1,4	1,1	0,7
Sr-89	3,7 ± 0,3	4,0 ± 0,3	3,1 ± 0,1	0,8	1,9	1,2	2,8
Sr-90	2,2 ± 0,1	2,3 ± 0,1	2,54 ± 0,05	-1,0	-3,0	-0,7	-2,1

all activities in Bq/l

Evaluation:

$|z| \leq 2$ or $|\zeta| \leq 2$: accepted results

$2 < |z| < 3$ or $2 < |\zeta| < 3$: questionable results

$|z| \geq 3$ or $|\zeta| \geq 3$: not accepted results

Abb. 4 Beispiel eines individuellen Ergebnisschreibens mit den jeweils erreichten Leistungen.

In der Zukunft plant die Leitstelle, ihr Spektrum zu erweitern, indem sie Vergleichsanalysen auch wieder für andere Umweltmedien anbietet. Wie in der Vergangenheit bereits durchgeführt, wären beispielsweise Boden, Paniermehl, Grasmehl, Spinatpulver, Babybrei oder aber auch Tee-pulver (zusammen mit der Leitstelle I) vorstellbar.

5 Danksagung

Ein besonderer Dank geht an die nicht genannten Mitarbeiter und Mitarbeiterinnen. Ohne ihre tatkräftige Unterstützung wäre die Planung und Durchführung der Vergleichsanalysen der Leitstelle nicht möglich.

Literatur

Alle aktuellen und viele historische Abschlussberichte zu den am MRI bzw. an den Vorgängerinstitutionen durchgeführten Vergleichsanalysen finden sich unter <https://www.openagrar.de>.

- [1] Gesetz zum Schutz vor der schädlichen Wirkung ionisierender Strahlung: StrlSchG. 2017. Verfügbar unter: <https://www.gesetze-im-internet.de/strlschg/>
- [2] Verordnung zum Schutz vor der schädlichen Wirkung ionisierender Strahlung: StrlSchV. 2018. Verfügbar unter: https://www.gesetze-im-internet.de/strlschv_2018/
- [3] Allgemeine Verwaltungsvorschrift zum integrierten Mess- und Informationssystem zur Überwachung der Radioaktivität in der Umwelt (IMIS) nach dem Strahlenschutzvorsorgegesetz (AVV IMIS). 2006. Verfügbar unter: http://www.verwaltungsvorschriften-im-internet.de/bsvwvbund_13122006_RSII5114349.htm
- [4] DIN EN ISO/IEC 17043:2010-05 Konformitätsbewertung – Allgemeine Anforderungen an Eignungsprüfungen
- [5] DIN ISO 13528:2020-09 Statistische Verfahren für Eignungsprüfungen durch Ringversuche
- [6] Richtlinie zur Emissions- und Immissionsüberwachung kerntechnischer Anlagen (REI).
- [7] Wiechen, A. (1979) Ergebnisse der Vergleichsprogramme Jod-131 in Milch in den Jahren 1977 und 1978. 3. Fachgespräch Überwachung der Umweltradioaktivität: Praktische Probleme bei der Durchführung der Umgebungsüberwachung 288–299. Verfügbar unter: https://www.openagrar.de/receive/openagrar_mods_00013653
- [8] Heine, K. (1979) Ergebnisse des Vergleichsprogramms Gammaskpektrometrie von Milchpulver und Milchasche 1978. 3. Fachgespräch Überwachung der Umweltradioaktivität: Praktische Probleme bei der Durchführung der Umgebungsüberwachung 300–312. Verfügbar unter: https://www.openagrar.de/receive/openagrar_mods_00013654
- [9] Ober F, Haase G, Gil Haenelt T, Vagt T Vergleichsuntersuchung Milch 2022: Abschlussbericht der Leitstelle für die Überwachung der Umweltradioaktivität. MRI, Verfügbar unter: https://www.openagrar.de/receive/openagrar_mods_00086330
- [10] DIN ISO 11929-1:2021-11: Bestimmung der charakteristischen Grenzen (Erkennungsgrenze, Nachweisgrenze und Grenzen des Überdeckungsintervalls) bei Messungen ionisierender Strahlung - Grundlagen und Anwendungen - Teil 1: Elementare Anwendungen, Beuth Verlag GmbH, Berlin, Nov. 2021. Verfügbar unter: <https://www.beuth.de/de/norm/din-en-iso-11929-1/337873649>
- [11] Joint Committee for Guides in Metrology, „Guide to the expression of uncertainty in measurement: JCGM 100:2008“, International Bureau of Weights and Measures, Jan. 2008. Verfügbar unter: <https://www.bipm.org/en/publications/guides/gum.html>
- [12] G. Kanisch, „UncertRadio: Software zur Berechnung charakteristischer Grenzen nach ISO 11929 für Messungen der Aktivität“. Verfügbar unter: <https://www.thuenen.de/de/fachinstitute/fischereioekologie/arbeitsbereiche/meeresumwelt/leitstelle-umweltradioaktivitaet-in-fisch/uncertradio>

[13] Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, nukleare Sicherheit und Verbraucherschutz (BMUV), „Messanleitungen zur Überwachung der Radioaktivität in der Umwelt“, Lose Blatt Sammlung, ISSN: 1865-8725. Verfügbar unter: <https://www.bmu.de/themen/atomenergie-strahlenschutz/strahlenschutz/ionisierende-strahlung/ueberwachung-der-radioaktivitaet-in-der-umwelt/messanleitungen/>

V004: Optische Detektion von Alpha-emittierenden Radionukliden

U. Stolzenberg

Physikalisch-Technische Bundesanstalt (PTB)

Kurzfassung

Radiologische Zwischenfälle, bei denen Radionuklide, die Alphastrahlen emittieren, unabsichtlich oder absichtlich in der Umwelt freigesetzt werden, können Menschen und der Gesellschaft im Allgemeinen erheblichen Schaden zufügen. Zwar hat Alphastrahlung eine kurze Reichweite und lässt sich gut abschirmen, aber sie hat eine sehr hohe strahlenbiologische Wirksamkeit, wenn sie in den Körper gelangt. Um einen optimalen Schutz vor Alphastrahlung zu ermöglichen, muss die räumliche Ausdehnung der Kontamination bekannt sein. Bisher lässt sich Alpha-Strahlung jedoch nur aufwendig mit Kontaminationsmessgeräten im Nahfeld messen. Ein Detektionssystem zur schnellen Messung einer großflächigen Kontamination ist derzeit nicht verfügbar. Im Notfall besteht somit nur die Möglichkeit, die Bevölkerung aus den betroffenen Gebieten zu evakuieren und aufwendige Messungen mit Handmessgeräten durchzuführen. Dieses Vorgehen setzt auch die Einsatzkräfte selbst einem erheblichen Risiko aus. In diesem Beitrag soll ein neuartiges Nachweisverfahren vorgestellt werden, das auf der durch Alphateilchen-induzierten ultravioletten (UV) Lumineszenz der Luft, der so genannten Alpha-Radiolumineszenz, basiert und im Rahmen des EMPIR-Projekts (European Metrology Programme for Innovation and Research) 19ENV02 RemoteALPHA¹ entwickelt wurde. Der Hauptvorteil dieses Verfahren ergibt sich aus der Tatsache, dass UV-Licht über eine beträchtliche Entfernung durch die Luft übertragen werden kann, die um mehrere Größenordnungen größer ist als die Reichweite von Alphateilchen. Dies ermöglicht die Bestimmung von Kontaminationen – aus sicherer Entfernung – und verringert somit das Risiko für das Personal, die Detektionszeit und die Kosten.

1. This project 19ENV02 RemoteALPHA has received funding from the EMPIR programme co-financed by the Participating States and from the European Union's Horizon 2020 research and innovation programme. 19ENV02 RemoteALPHA denotes the EMPIR project reference

V019: Erweiterung des ODL-Messnetzes Niedersachsen

Expansion of the ambient dose rate monitoring network in Lower Saxony

*H. Böttger, N. Denkhaus
NLWKN, Hildesheim, Niedersachsen*

Zusammenfassung

Der Niedersächsische Landesbetrieb für Wasserwirtschaft, Küsten- und Naturschutz (NLWKN) betreibt im Rahmen der Immissionsüberwachung der Kernreaktoren in Niedersachsen ein ODL-Messnetz mit autarken ODL-Sonden. Die 10-minütlich gemessene Ortsdosisleistung wird zusammen mit weiteren Statusdaten (Temperatur, Akkustand, etc.) stündlich per Mobilfunk an den NLWKN in Hildesheim übermittelt. Die Tagesmittelwerte werden zudem der Öffentlichkeit online zur Verfügung gestellt.

Aufgrund der Änderung des Niedersächsischen Katastrophenschutzgesetzes vom 01.01.2019 wird dieses Messnetz nun auf alle kerntechnischen Anlagen mit möglichen Auswirkungen in Niedersachsen ausgeweitet. Dadurch erhöht sich die Anzahl der Messsonden von knapp 30 auf 130.

Für die Umsetzung der Messnetzerweiterung wird zunächst ein Konzept mit einem groben Zeitplan erstellt. Aufgrund unvorhergesehener Umstände wie etwa technischen Problemen oder Lieferschwierigkeiten unterliegt dieser Zeitplan laufenden Veränderungen. Nicht zuletzt ergab sich aus der politischen Situation in Niedersachsen die Anforderung, schnellstmöglich die Schachanlage Asse II in das Messnetz einzubinden. Die aktuelle Standortsuche priorisiert nun das Umfeld von Gorleben. Um neue, geeignete Aufstellflächen zu finden, wird eine vorab durchgeführte Analyse von Kartenmaterial mit zielgerichteten Vor-Ort-Begehungen kombiniert. Dabei zeigt sich, dass öffentliche Einrichtungen und Wasserverbände häufig die Anforderungen an geeignete Aufstellflächen für Messsonden erfüllen können.

Summary

The Lower Saxony State Agency for Water Management, Coastal Protection and Nature Conservation (NLWKN) operates an ODL measuring network with self-sufficient ODL probes as part of the immission monitoring of the nuclear reactors in Lower Saxony. The local dose rate measured every 10 minutes is transmitted hourly by mobile radio to the NLWKN in Hildesheim together with other status data (temperature, battery status, etc.). The daily mean values are also made available to the public online.

Due to the amendment of the Lower Saxony Disaster Protection Act on 01.01.2019, this monitoring network will now be extended to all nuclear facilities with potential impacts in Lower Saxony. This will increase the number of measuring probes from just under 30 to 130.

Initially, a concept with a rough timetable will be drawn up for the implementation of the monitoring network expansion. Due to unforeseen circumstances such as technical problems or delivery difficulties, this schedule is subject to ongoing changes. The political situation in Lower Saxony resulted in the requirement to integrate the Asse II mine into the monitoring network as quickly as possible. The current site search now prioritises the area around Gorleben. In order to find new, suitable set-up areas, a map analysis carried out in advance is combined with targeted

on-site inspections. This shows that public facilities and water associations can often meet the requirements for suitable sites for measuring probes.

1 Warum wird das Messnetz erweitert

Im Aufgabenbereich Strahlenschutz des NLWKN ist die Überwachung kerntechnischer Anlagen und deren Umgebungsüberwachung angesiedelt. Das Radiologische Lagezentrum, die Fachberatung für den Katastrophenschutz und die sachverständige Stelle für den Strahlenschutz gehören ebenfalls zu den Aufgaben.

Kerntechnische Anlagen in Niedersachsen sind die Kernkraftwerke, die Brennelement-Zwischenlager, die Pilotkonditionierungsanlage und die Brennelementefabrik ANF. Als gleichgestellt werden die Endlager Asse II und Konrad mit einbezogen. An der Grenze zu Niedersachsen an der Elbe befinden sich die Kernkraftwerke Schleswig-Holsteins. In Sachsen-Anhalt ist das Endlager Morsleben und in Nordrhein-Westfalen die Urananreicherungsanlage Gronau sowie das Brennelemente-Zwischenlager Ahaus in Nähe der Landesgrenze zu Niedersachsen.

Nach §10c des Niedersächsischen Katastrophenschutzgesetzes werden die entsprechenden kerntechnischen Anlagen, oder gleichgestellte Anlagen zur Lagerung radioaktiver Stoffe, in die Landesnotfallplanung mit einbezogen. Entsprechend soll eine Erweiterung des aus der Kernreaktorfernüberwachung vorhandenen Messnetzes durchgeführt werden.

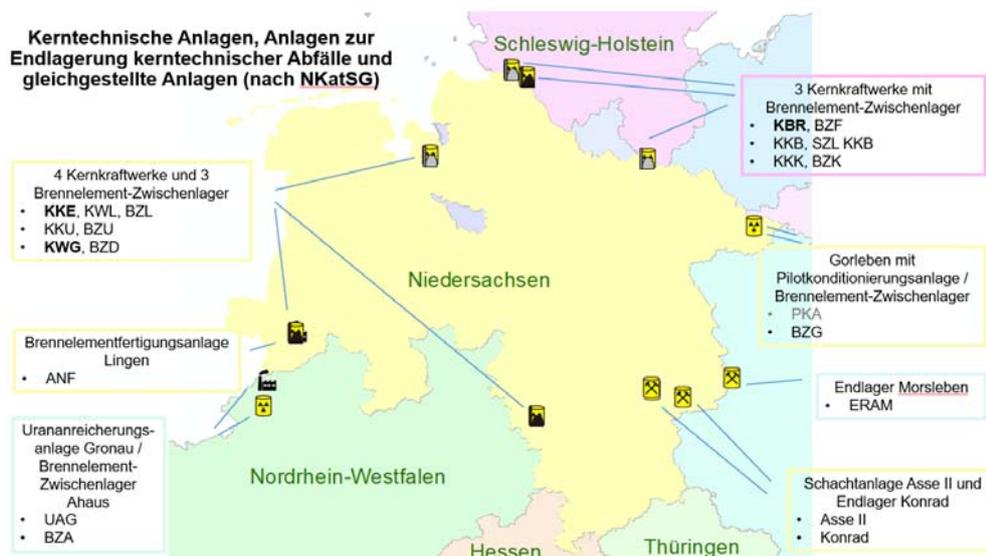


Abb. 1: Anlagen im geplanten Messnetz nach Landesnotfallplanung

2 Verwendete Messtechnik

Für die Umsetzung der Messnetzerweiterung haben wir insgesamt 100 Sonden bei der Firma Envinet bestellt. Davon sollen 7 Sonden alte Messtechnik an bestehenden KFÜ-Standorten ersetzen und 10 Sonden als mobile Sonden für den Einsatz im Ereignisfall vorgehalten werden, sodass 83 Sonden zur Erweiterung des Messnetzes ins Feld gebracht werden.

Für den Einsatz vielfältiger Messtechnik befinden sich verschiedene Modelle in der Beschaffung. Bei 60 dieser Sonden handelt es sich um das Modell MIRA. Sie verfügen über eine interne Batterie und ein Solarpanel zur kontinuierlichen Energieversorgung. Damit ist ein völlig autarker Betrieb möglich. Die Kommunikation erfolgt über LTE, d. h. über eine MultiSIM-Karte, die das jeweils verfügbare Netz auswählt. Die MIRA-Sonden verfügen über einen Temperatur- und

einen Regensensor zur Feststellung der Umgebungsbedingungen. Sie verwenden je ein Niederdosis- und ein Hochdosis-Geiger-Müller-Zählrohr mit automatischer Umschaltung zur Strahlungsdetektion und erreichen so einen Dosisleistungsmessbereich von 10 nSv/h bis 10 Sv/h.



Abb. 2: Sonde Modell MIRA

Bisher sind seitens des NLWKN nur MIRA-Sonden im Einsatz, die Auslieferung des Modells NORA steht noch aus. Die NORA-Sonden unterscheiden sich vor allem in der Messmethodik von den MIRA-Sonden. Anstelle von Geiger-Müller-Zählrohren werden Szintillationsdetektoren aus Kunststoff verwendet.

Daneben befinden sich noch 10 Spektroskopiesonden mit der Bezeichnung SARA in der Beschaffung, die auf die Standorte verteilt werden sollen.

3 Datenverarbeitung

Alle von den Sonden zur Verfügung gestellten Daten laufen in der NMC-Datenzentrale zusammen. Sie ermöglicht einen einfachen Überblick über den Status aller Sonden und erleichtert so die Fehlersuche.

Über benutzerdefinierte Datenansichten können alle aufgezeichneten Werte, wie z. B. die ODL-Daten oder die Batteriespannung der einzelnen Sonden, grafisch dargestellt werden. Das integrierte GIS-Tool ermöglicht die Erstellung von Karten mit frei wählbaren Datentypen.

Es gibt mehrere Betriebsmodi mit einstellbaren Übertragungsintervallen. Im Normalmodus übertragen die Sonden jede Stunde ihre Daten. Bei Überschreiten von benutzerdefinierten Grenzwerten wechseln die Sonden automatisch den Betriebsmodus und senden in einem definierten häufigeren Sendeintervall, z. B. in 10 oder 1-Minuten-Intervallen.

Ein Datenexport in andere Software ist ebenfalls möglich. Wir stellen die Daten unserer Sonden auch dem BfS zur Verfügung.

Die ODL-Messwerte werden auf unserer Internetseite veröffentlicht. Durch Anklicken des jeweiligen Sondenstandortes können zusätzliche Informationen wie Störungen oder Wartungsarbeiten sowie archivierte Messwerte abgerufen werden. Es wurde vereinbart, dass nur die Tagesmittelwerte veröffentlicht werden.



Abb. 3: ODL-Daten auf NLWKN-Website <https://www.odlonline.nlwkn.niedersachsen.de/Karte>

4 Zeitplan und Vorgehen

Für die Umsetzung der Messnetzerweiterung in Niedersachsen haben wir einen Zeitplan mit folgender Vorgehensweise erstellt. Die Ausbringung der Sonden soll in mehreren Umläufen erfolgen, um eine umfassende und gleichmäßige Abdeckung aller Standorte zu gewährleisten. Da die Auslieferung der Sonden durch den Hersteller in mehreren Teilschritten erfolgt, kann so außerdem eine möglichst vielfältige Messtechnik am jeweiligen Standort bereitgestellt werden.

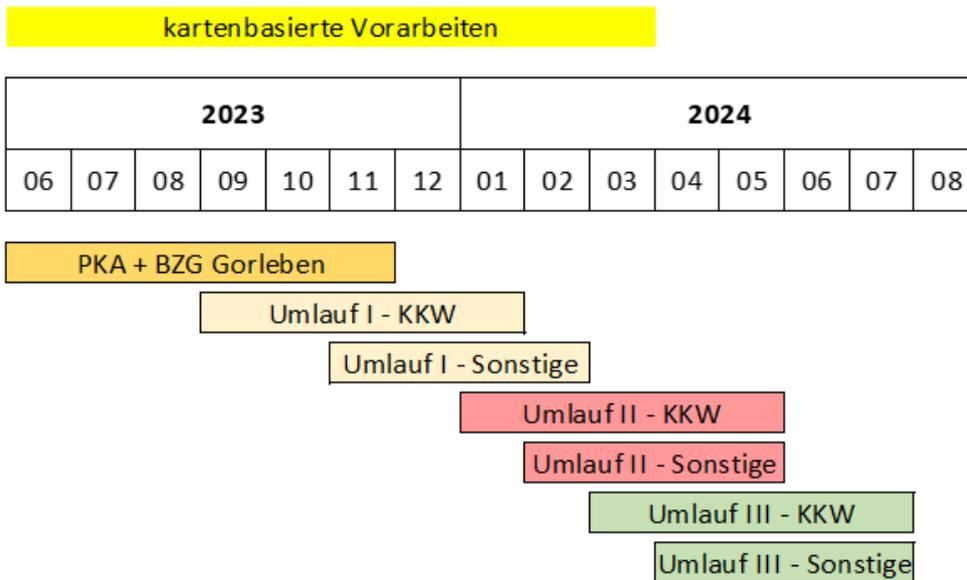


Abb. 4: Zeitplan für die Erweiterung des Messnetzes

Pro Umlauf und Standort werden etwa 2-4 Sonden ausgebracht. Die Standorte werden nach Gefahrenregion eingeteilt und die Standortsuche danach priorisiert. Infolge einer Vorgabe des Ministeriums für Umwelt, Energie und Klimaschutz werden zunächst die Pilotkonditionierungsanlage (PKA) und das Brennelementzwischenlager Gorleben (BZG) priorisiert, nachdem die Ausstattung des Standortes Asse II im letzten Jahr erfolgreich abgeschlossen werden konnte. Grundsätzlich sollen allerdings die KKW in Niedersachsen die höchste Priorität haben, gefolgt von KKW in Grenznähe. Darauf folgen die vorhandenen Zwischenlager für hochradioaktive Stoffe in Niedersachsen und Nordrhein-Westfalen. Den Abschluss bilden die Endlager für schwach- und mittelradioaktive Stoffe, alle zusammengefasst unter Sonstige im Zeitplan.

Bei den Kernkraftwerken wird möglichst eine Sonde pro Sektor aufgestellt, bei den Zwischen- und Endlagern kann allerdings von einer lokal begrenzten Ausbreitung ausgegangen werden, weshalb hier mit einer geringeren Anzahl von Sonden geplant wird, welche möglichst nahe an der jeweiligen Anlage aufgestellt werden sollten.

5 Standortsuche

Zunächst werden geeignete Standorte mithilfe von Satellitenbildern identifiziert. Mit Kartenwerkzeugen wie ArcGIS können diese Standorte dann dargestellt und unter Berücksichtigung eventuell bereits vorhandener BFS-Sonden oder nach Sektor und Entfernung in besser oder schlechter geeignete Standorte kategorisiert werden.

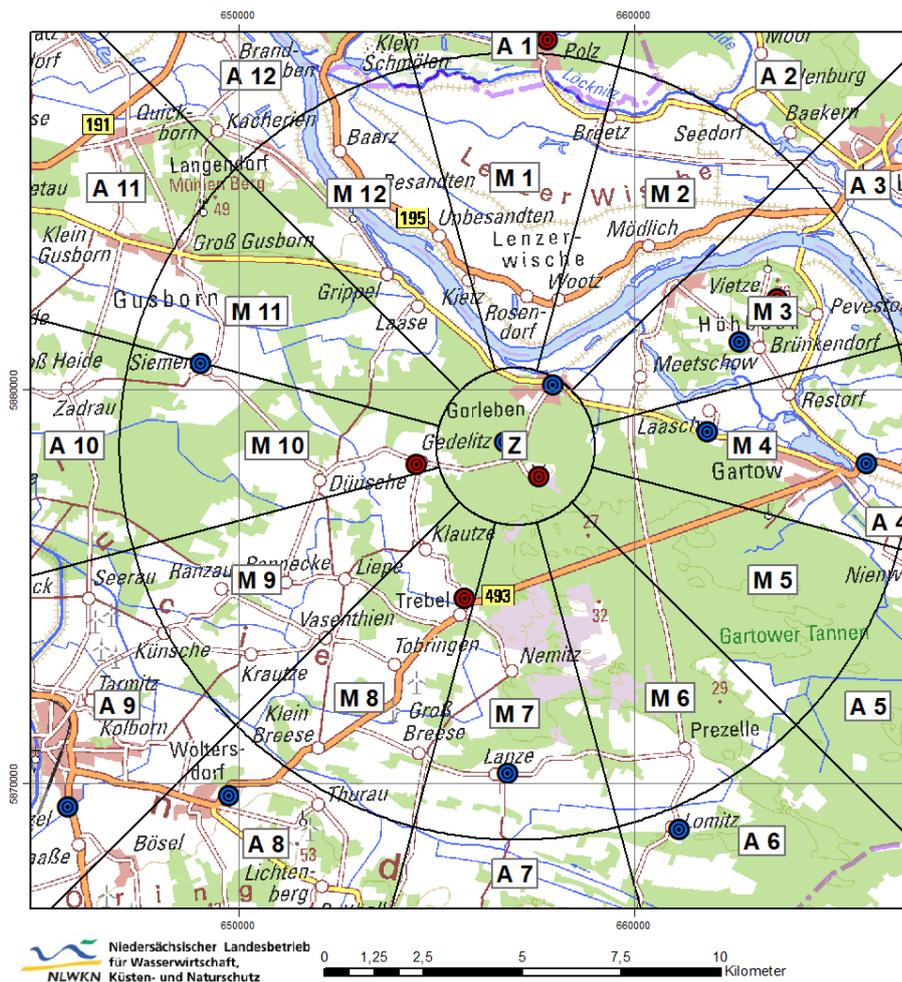


Abb. 5: Mögliche Standorte in der Nähe des BZG (NLWKN-Standorte blau, Bfs-Standorte rot)

Daraufhin erfolgt die Erkundung vor Ort, da sich die tatsächlichen Gegebenheiten meist von den sich in den Satellitenbildern darstellenden unterscheiden. Sollte sich dieser Standort weiterhin als gut geeignet darstellen, kann die Anfrage beim Grundstückseigentümer und der Abschluss des Gestattungsvertrags folgen, wonach nur noch die Aufstellung der Sonde zu erfolgen hat.

6 Herausforderungen

Während der Messnetzerweiterung sind wir bereits auf einige Herausforderungen gestoßen. Allem Voran kam es beim Hersteller der Sonden zu Lieferschwierigkeiten, was erhebliche Verzögerungen bei der Umsetzung zur Folge hatte.

Dazu kommt, dass uns in der Vergangenheit einige Solarmodule gestohlen wurden, was zu einer Gefährdung der Betriebskontinuität, einem erhöhten Wartungsaufwand und damit nach Aufgabe dieses Standortes zu einem weiteren benötigten Standort führt. Aufgrund der Diebstahlproblematik erschwert sich die Standortsuche, da die Standorte möglichst auf unzugänglichem Gelände geplant werden sollten.

Weiterhin sind die Eigentümer von Privatgrundstücken schwer zu ermitteln und die Aufstellung einer Sonde im eigenen Garten wird eher kritisch gesehen, sodass diese bei der Standortsuche möglichst nicht berücksichtigt werden.

Insbesondere in Gorleben hat sich die Standortsuche aufgrund der großen Waldflächen als schwierig erwiesen, da die Energieversorgung der Sonden über Solarmodule erfolgt.

Nicht zuletzt schlägt die Anfrage an einigen Standorten große Wellen und es muss viel Aufklärungsarbeit geleistet werden.

7 Erfahrungen

Im Allgemeinen lässt sich sagen, dass das ODL-Messnetz eine schnelle und auf Messwerten basierende Reaktion auf radiologische Notfälle ermöglicht. Es dient als Frühwarnsystem, auf dessen Grundlage dann etwa Maßnahmenempfehlungen in radiologischen Lagebildern abgegeben werden können.

Unsere bisherigen Erfahrungen mit der Messnetzerweiterung haben gezeigt, dass öffentliche Einrichtungen wie Wasserverbände, Polizeistationen oder Feuerwehren meist gut geeignet sind und die Aufstellung der Sonde dort schnell und unkompliziert erfolgen kann.

Abschließend lässt sich sagen, dass sich die Messnetzerweiterung als herausfordernd gestaltet und feste Zeitpläne aufgrund vieler äußerer Umstände schwer einzuhalten sind.

Internationale Kooperation, maschinelles Lernen in der Umweltüberwachung

Zusammenfassung der Sitzung: Internationale Kooperation, maschinelles Lernen in der Umweltüberwachung

P. Bringel¹, M.-O. Aust²

¹Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, nukleare Sicherheit und Verbraucherschutz (BMUV), Bonn

²Thünen-Institut für Fischereiökologie, Bremerhaven

In der Session „Internationale Kooperation, maschinelles Lernen in der Umweltüberwachung“ wurden in vier Fachvorträgen sowohl luft- und bodengestützte Messungen in der Tschornobyl-Sperrzone als auch computergestützte Ansätze für die Simulation von Messkampagnen sowie der Vorauswertung von Messereignissen präsentiert.

Herr Stobl eröffnete die Session mit einem Beitrag zu Aero-Gamma-Messungen in der Tschornobyl-Sperrzone, die im September 2021 für zehn Tage auf Einladung der Ukraine stattfand. Im Zuge dieser Kampagne wurden 97 % der Fläche der Sperrzone, die insgesamt 2 600 km² umfasst, befliegen. Weiterhin gab es 183 Messorte am Boden als Qualitätssicherung für die Aero-Gamma-Messungen. Die erzielten Ergebnisse der Hubschraubermessungen stimmten grundsätzlich mit denen vorheriger Kampagnen überein und deuteten auf eine Tiefenverlagerung radioaktiver Stoffe weitgehend ohne lateralen Transport hin.

Im nachfolgenden Vortrag ging Herr Koschine auf die Erkenntnisse ein, die bei der Verwendung simulierter Spektren für die Aero-Gammaspektrometrie im Rahmen von Notfallschutzübungen gewonnen wurden. Insbesondere wurde auf die Daten, die für die Modellierung von Aero-Gamma-Transsekten erforderlich sind, die Erstellung der Messstrategie sowie den Datenfluss innerhalb der Übungen eingegangen. Ziel ist es dabei, den Ablauf der Übungen so realitätsnah wie möglich zu gestalten. Eine Nachfrage bezog sich auf die Anzeige der simulierten Messdaten für den Anwender. Diese können sowohl für die Höhe als auch für bodengestützte Messungen angezeigt werden.

Der Vortrag von Herrn Esch schloss an den Vortrag von Herrn Strobl an und erläuterte die Tschornobyl-Messkampagne aus dem September 2021 für bodengestützte Messungen. Insgesamt wurden in der Tschornobyl-Sperrzone an neun Messtagen 186 Messorte angefahren. Die Ergebnisse stimmten gut mit denen der Aero-Gammaspektrometrie überein. Aus dem Auditorium wurde eine Nachfrage zu praktischen Strahlenschutzmaßnahmen gestellt. Diese bestanden im Einsatz persönlicher Schutzausrüstung, dem Auskleben der Fahrzeuge mit Folie und regelmäßigen Kontaminationsmessungen.

Zum Abschluss berichtete Herr Breitzkreutz über den Einsatz künstlicher Intelligenz in Messnetzen, in denen spektrometrierende Sonden eingesetzt werden. Algorithmen aus dem Bereich des maschinellen Lernens wurden erfolgreich sowohl zur Optimierung der Sondenparameter, der Ermittlung von Korrekturparametern als auch zur Erkennung von Abweichungen vom Hintergrundspektrum für bis zu zehn künstliche Radionuklide angewendet. Nachgefragt wurde, ob das Trainieren der Algorithmen mit Werten aus der Vergangenheit die Auswertung zukünftiger Messungen beeinflussen könnte. Herr Breitzkreutz führte dazu aus, dass die Algorithmen entsprechende Sicherheitsmaßnahmen enthielten und sich außerdem ein Mensch mit dem Ergebnis auseinandersetzen müsse, um Fehler zu vermeiden.

V030: Aero-gammaskpektrometrische Messung der Umweltradioaktivität in der Sperrzone Tschornobyls

*C. Strobl¹, A. Muhr¹, B. Seiler¹, M. Thomas¹, F. Loske¹, L. Burger¹,
C. Cronfeld¹, M. Pattantyús-Ábrahám¹, J. Surbirge², F. Schneider²,
U.-K. Schkade², R. Schnell², I. Krol², U. Gerstmann²*

¹Bundesamt für Strahlenschutz, Oberschleißheim

²Bundesamt für Strahlenschutz, Berlin

Kurzfassung

In den vergangenen 35 Jahren wurde viel Arbeit in die Nachsorge des kerntechnischen Unfalls im Reaktor-Block 4 des Kernkraftwerkes bei Tschornobyl investiert. Wie sich die radiologische Lage in der Sperrzone um Tschornobyl seitdem verändert hat, wurde im September 2021 untersucht. Auf Einladung der Staatlichen Agentur der Ukraine zur Verwaltung der Sperrzone (SAUEZM) führte das Bundesamt für Strahlenschutz (BfS) vom 3. bis 19. September 2021 in Zusammenarbeit mit der Bundespolizeifliegergruppe (BPOLFG) Messungen der Umweltradioaktivität zur Neukartierung der radiologischen Situation in der Sperrzone von Tschornobyl durch.

Großräumige Kartierung mit verschiedenen Messmethoden:

Rund um den verunfallten Reaktor sind weite Gebiete noch immer hoch kontaminiert. Daher wurde die großräumige Untersuchung der dortigen radiologischen Situation hauptsächlich mittels hubschraubergestützter Messsysteme durchgeführt. Diese wurde durch detailliertere bodengestützte Messungen sowie durch die Auswertung entnommener Bodenproben ergänzt. Vor Ort wurden die Messteams vom staatlichen Unternehmen SSE Ecocentre, das mit der Umweltüberwachung der Sperrzone betraut ist, unterstützt.

Im Rahmen des Beitrags wird über die Planung und Durchführung der radiologischen Neukartierung der Sperrzone von Tschornobyl, sowie über die Auswertung der Messdaten berichtet. Darüber hinaus werden die Ergebnisse und die Relevanz der Messdaten im Kontext des Einmarsches russischer Truppen in die Region diskutiert.

V013: Erkenntnisse aus Notfallschutzübungen im Umgang mit simulierten Messdaten bei Hubschraubergestützten Messungen ionisierender Strahlung

T. Koschine¹, A. Muhr², B. Seiler², R. Hanfland², M. Thomas², C. Strobl², R. Schnell¹, I. Krol¹

¹Bundesamt für Strahlenschutz, Berlin

²Bundesamt für Strahlenschutz, Oberschleißheim

Kurzfassung

Das Bundesamt für Strahlenschutz hat die Möglichkeit, mithilfe von speziellen Messsystemen Gammastrahlung von einem Hubschrauber aus zu messen. Dieses Verfahren wird Aero-Gamma-spektrometrie genannt.

Solche Hubschraubergestützten Messungen liefern einen wichtigen Beitrag, um im Notfall schnell eine großräumige Darstellung der radiologischen Lage eines kontaminierten Gebietes zu erhalten. Um das reibungslose Zusammenspiel aller verschiedenen Notfallschutzsysteme in Deutschland sicherzustellen, finden regelmäßig Übungen statt.

Im Rahmen dieser Übungen besteht die Möglichkeit, die Gammaortsdosisleistung mithilfe von komplexen Prognosemodellen sowohl orts- als auch zeitabhängig zu simulieren. Über eine spezielle Schnittstelle können die simulierten Daten direkt im Messsystem im Hubschrauber angezeigt werden. Somit wird den Operatoren eine Möglichkeit geschaffen, direkt und fundiert zu reagieren. In einem weiteren Schritt ist es mithilfe einer neuen selbstentwickelten Software möglich, auch den Hubschrauberflug selbst realitätsnah zu simulieren. Auf diese Weise kann das Team der Aero-Gammaspektrometrie auch dann an Übungen teilnehmen, wenn kein Hubschrauber zur Verfügung steht. Beide Methoden der Simulation wurden bereits erfolgreich in zwei unterschiedlichen Notfallschutzübungen eingesetzt.

In diesem Vortrag werden die Aero-Gammaspektrometrie als Teil dieser Notfallschutzübungen sowie Erkenntnisse im Umgang mit simulierten Daten vorgestellt. Darüber hinaus werden die Relevanz der simulierten Messdaten sowie die sich aus dem Umgang mit simulierten Messdaten ergebenden Konsequenzen für die Aero-Gammaspektrometrie dargestellt.

V043: Messkampagne Tschornobyl 2021 – Beitrag von bodengestützten Messungen zur großflächigen radiologischen Neukartierung der Sperrzone von Tschornobyl als deutsch-ukrainisches Gemeinschaftsprojekt

Contribution of ground-based measurements to the large-scale radiological remapping of the Chernobyl exclusion zone as a German-Ukrainian joint project

D. Esch, M. Bleher, S. Seifert
Bundesamt für Strahlenschutz

Zusammenfassung

Messkräfte des Bundesamtes für Strahlenschutz (BfS) waren 2021 auf Einladung der State Agency of Ukraine on Exclusion Zone Management (SAUEZM) in der Sperrzone von Tschornobyl im Rahmen eines gemeinsamen Messeinsatzes mit dem SSE Ecocentre tätig. Ziel des Einsatzes war es, die Sperrzone auf ukrainischem Gebiet umfänglich radiologisch neu zu kartieren. Mit Unterstützung durch den Flugdienst der Bundespolizei (BPOL) wurden hierzu flächendeckend hubschraubergestützte (gamma-)spektrometrische Messungen durchgeführt. Zusätzlich wurde an ca. 200, über die Sperrzone verteilten Messflächen ein Messprogramm, bestehend aus mobiler Ortsdosisleistungsmessung, In-situ Gammaskpektrometrie sowie Bodenprobenahme mit anschließender Analyse, umgesetzt. Diese Messungen dienten dazu, die Aero-Gammadaten zu verifizieren und um ergänzende Informationen zur Tiefenverteilung von Nukliden im Boden zu erhalten. In diesem Beitrag werden die wichtigsten Erkenntnisse und Messergebnisse dieses Gemeinschaftsprojekts vorgestellt.

Summary

At the invitation of the State Agency of Ukraine on Exclusion Zone Management Measurement (SAUEZM), staff from the Federal Office for Radiation Protection (BfS) worked in the Chornobyl exclusion zone in 2021 as part of a joint measurement operation with the SSE Ecocentre. The aim of the operation was to comprehensively remap the exclusion zone on Ukrainian territory radiologically. With the support of the Federal Police Air Service (BPOL), helicopter-borne (gamma) spectrometric measurements were carried out. In addition, a measurement program consisting of mobile local dose rate measurement, in-situ gamma spectrometry and soil sampling with subsequent analysis was implemented at around 200 measuring points spread across the exclusion zone. These measurements were used to verify the aero-gamma data and to obtain additional information on the depth distribution of nuclides in the soil. This article presents the most important findings and measurement results from this joint project.

1 Erste Messübung 2016 und zweite Messübung 2018

Im Rahmen einer ersten Messübung im Jahr 2016 wurden mit ukrainischen Partnern eine radiologische Erkundung, die Charakterisierung ausgewählter Gebiete und die Entnahme von Bodenproben durchgeführt. Dabei wurden neben mobilen ODL-Messgeräten und In-situ-Gammaskpektrometern testweise auch ein UAV-System eingesetzt. Während dieser Messübung wurde

außerdem der Abschirmfaktor verschiedener KfZ bestimmt und das BfS-Personal für den Einsatz in real kontaminierten Gebieten trainiert. Dabei wurden wertvolle Erfahrungen für einen möglichen Einsatz nach einem kerntechnischen Unfall gesammelt und die Eignung der Messtechnik unter realen Bedingungen nachgewiesen. Während einer zweiten Messübung im Jahr 2018 konnten die Erfahrungen beim Messen in urbanen Gebieten erweitert und die Zusammenarbeit mit den ukrainischen Partnern vertieft werden.

2 Anfrage 2019 aus der Ukraine

Im Jahr 2019 erfolgte eine Anfrage der SAUEZM an BMUV und BfS zur Unterstützung bei einer radiologischen Neukartierung der Sperrzone von Tschornobyl. Vorgesehen waren ein kombinierter Einsatz von Aerogamma- und bodengestützten Messungen sowie die Entnahme von Bodenproben durch BfS und BPOL in Zusammenarbeit mit dem „Chornobyl Center for Nuclear Safety, Radioactive Waste and Radioecology“ und dem „State Specialized Enterprise Ecocenter“. Die Realisierung konnte durch die aufkommende Covid-19 Pandemie und die komplexen Ressortabstimmungen leider erst 2021 stattfinden.

3 Bodengestützte Messungen während der Messkampagne 2021

Im Rahmen der Messkampagne wurden an neun Tagen fahrzeuggestützte ODL-Messungen, ODL-Messungen mit Rucksacksystemen, In-situ-Gammamessungen und die Entnahme von Bodenproben an 186 Messpunkten in fast dem gesamten Gebiet der Sperrzone von Tschornobyl durchgeführt.

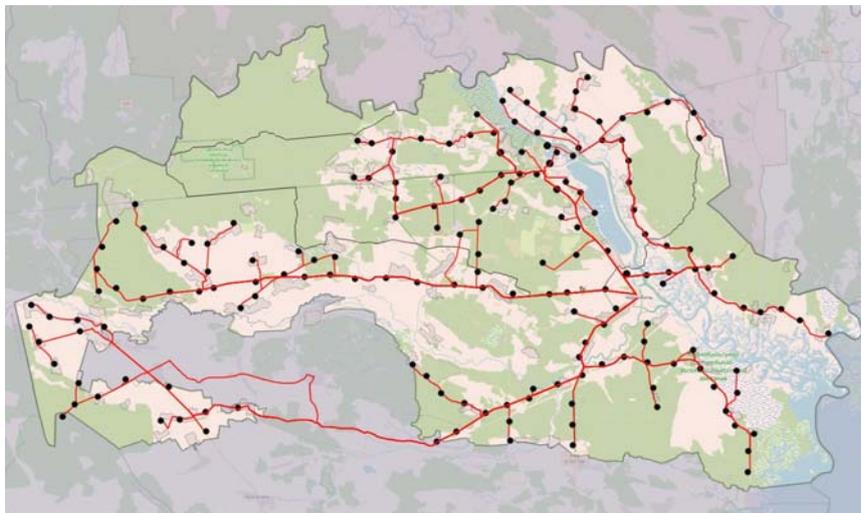


Abb. 1: Messauftrag am Boden



Abb. 2: Messungen am Boden

Die an den Messpunkten genommenen Bodenproben konnten vor Ort im Labor des SSE-EcoCenter ausgewertet und so für jeden Messpunkt ein lokales Bodenprofil und die Tiefenverteilung von Cs-137 bestimmt werden.

4 Auswertung der Messdaten

Bereits in den beiden Messübungen in den Jahren 2016 und 2018 hatte eine Auswertung von Bodenproben gezeigt, dass sich der Hauptteil der Aktivität von Cs-137 in einer Tiefe von ca. 10 cm befindet. Daher wurden die In-situ-Gammaspektrometriemessungen der Messkampagne einheitlich an allen Messpunkten mit einem Geometriefaktor für 10 cm Eindringtiefe durchgeführt. Mit Hilfe der aus den Bodenproben gewonnenen Tiefenverteilungen für alle Messpunkte konnte dann im Rahmen der Auswertung jeweils ein spezifischer Korrekturfaktor bestimmt werden (Abbildung 3).

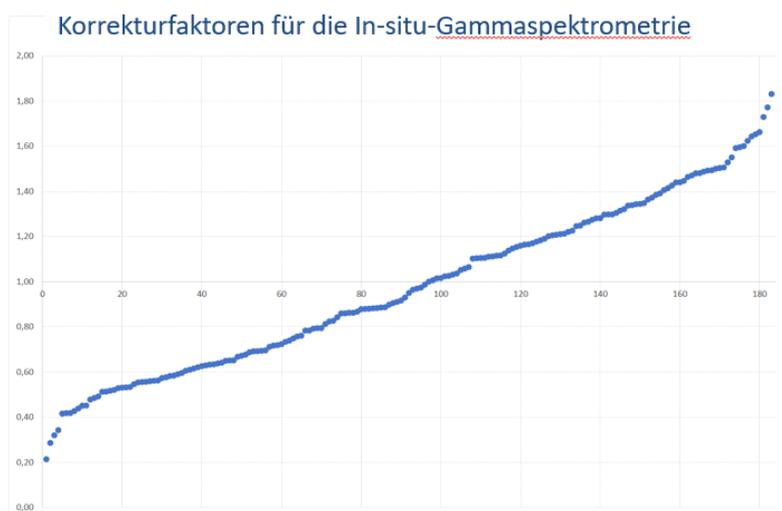


Abb. 3: Die aus den Tiefenverteilungen von Cs-137 ermittelten Korrekturfaktoren für alle Messpunkte

Diese spezifischen Korrekturfaktoren ermöglichten die Durchführung einer Reanalyse der In-situ-Gammaspektrometriemessungen und damit ein realistischeres Ergebnis für die Aktivitätsflächenbelegung am Boden.

Der Vergleich der so gewonnenen Daten mit den Ergebnissen der Aerogammamessungen zeigt eine gute Übereinstimmung (Abbildung 4).

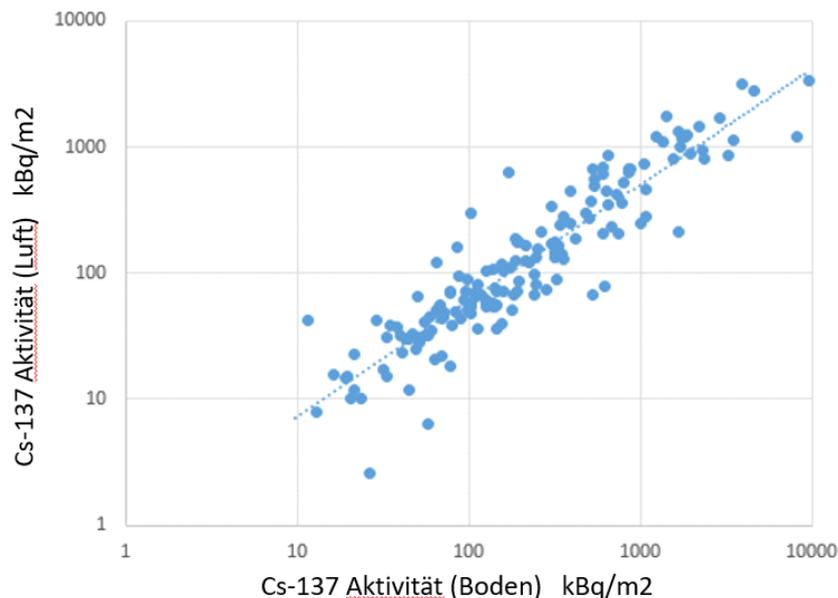


Abb. 4: Vergleich der Aerogammamessungen mit den In-situ-Messungen am Boden

5 Schlussfolgerungen

Die Messkampagne zur radiologischen Neukartierung der Sperrzone von Tschornobyl mittels Aerogammamessungen, Messungen am Boden und der Entnahme von Bodenproben wurde 2021 erfolgreich durchgeführt. Dabei waren Erfahrungen aus vorherigen Messübungen in den Jahren 2016 und 2018 eine wichtige Grundlage für die Planungen. Die Durchführung der Messungen und die Entnahme der Bodenproben auf den umfangreichen Messrouten wurde vom SSE-Ecocenter, dem Chornobyl-Center und weiteren ukrainischen Fachorganisationen unterstützt. Die Auswertung und Zusammenführung der Messdaten zeigen eine gute Übereinstimmung von Aerogamma- und Bodenmessungen.

V003: Maschinelles Lernen in der gammaspektroskopischen Umweltüberwachung

H. Breitkreutz¹, L. Curcuraci¹, J. Mayr¹, M. Bleher², S. Seifert², U. Stöhlker³

¹Scienta Envinet, 85540 Haar

²Bundesamt für Strahlenschutz

³Ehemals Bundesamt für Strahlenschutz

Kurzfassung

Messnetze in der Umweltüberwachung bestehen meist aus einer größeren Zahl von ODL-Sonden, ergänzt von einer kleineren Zahl spektroskopischer Detektoren. Letztere bieten durch die Möglichkeit der Nuklididentifizierung eine größere Informationsvielfalt, stellen dadurch aber auch höhere Anforderungen an die Messtechnik, den Nutzer und die Interpretation der Messergebnisse. Um spektroskopische Detektoren in der Umwelt überhaupt in größerer Zahl kosteneffizient nutzen zu können, werden meist Szintillatoren mit geringer oder mittlerer Energieauflösung, kleiner Größe und/oder ausgeprägtem Temperaturgang gewählt (NaI, LaBr3), was die Analyse insbesondere bei komplexen Nuklidvektoren zusätzlich erschwert.

In einem ersten Schritt wird daher eine Temperaturstabilisierung des Detektors mit Hilfe eines Long-Short-Term-Memory neuronalen Netzes (LSTM) vorgenommen, das aus der Temperatur- und Zählratenhistorie die Regelgröße des Detektors, Gain oder HV, vorhersagt.

Danach werden die Spektren, nun korrekt energiekalibriert, hinsichtlich des Einflusses von Niederschlag klassifiziert, um den Effekt von ausgewaschenen Radonfolgeprodukten korrekt berücksichtigen zu können. Dies wird für Einzelspektren mit Hilfe von Decision Trees und Ada-Boost erreicht, für Zeitreihen mit noch höherer Präzision wiederum durch ein LSTM. Als Eingabedaten für die Klassifizierer dient das Ergebnis einer Full Spectrum Analysis (FSA), d. h. einer Rekonstruktion der gemessenen Spektren aus simulierten Einzelnuklidspektren.

Abschließend werden die Spektren einer Anomalieerkennung basierend auf Mahalanobis-Distanzen unterzogen und die Nuklidauswertung mittels eines an Transformer angelehnten Multi-Head-Attention-Models durchgeführt. Eingabedaten sind hier die Eckdaten der im Spektrum identifizierten Peaks. Die Ergebnisse, insbesondere in komplexen Spektren, übertreffen die klassischer Nukliderkennungsalgorithmen deutlich.

**Umweltüberwachung im Wandel der Zeiten,
Konsequenzen aus dem aktuellen
Strahlenschutzrecht, Praxiserfahrung**

Zusammenfassung der Sitzung: Umweltüberwachung im Wandel der Zeiten, Konsequenzen aus dem aktuellen Strahlenschutzrecht, Praxiserfahrungen

A. Dalheimer¹, U. C. Gerstmann²

¹Deutscher Wetterdienst (DWD)

²Bundesamt für Strahlenschutz (BfS)

Im ersten Beitrag berichteten Frau Rupprecht vom NLWKN und Frau Werner vom BfS über die Durchführung der CORE21-Übung. Ziel der ersten Übung auf der Grundlage des neuen StrlSchG von 2017 war die Überprüfung und Verbesserung der Zusammenarbeit zwischen dem radiologischen Lagezentrum des Landes Niedersachsen mit dem radiologischen Lagezentrum des Bundes. Es wurden sowohl aus der Sicht des Landes Niedersachsen als auch aus der Sicht des RLZ Bund berichtet, wo die Zusammenarbeit reibungslos funktionierte, wo Verbesserungsbedarf erkannt wurde und wo Probleme auftraten.

Herr Diener vom BfS berichtete über die Grundlagen und Änderungen in der AVV Tätigkeiten mit Stand von 2020. Es werden die verschiedenen Transportpfade radioaktiver Stoffe und die daraus resultierende Exposition des Menschen betrachtet. Die Neuerungen aus den §§ 100 und 101 der StrlSchV wurden im Einzelnen dargestellt.

Frau Eberhardt von der PTB berichtete in einem viel diskutierten Beitrag über das europäische Forschungsprojekt MetroPOEM. Ziel des Projekts ist eine metrologisch fundierte Verbindung zwischen der Zählung von radioaktiven Zerfällen und der Zählung von Atomen mittels Massenspektrometrie-Systemen. Damit sollen verbesserte Messmethoden zur Bestimmung kleinster Aktivitäten von langlebigen radioaktiven und stabilen Umweltschadstoffen entwickelt werden. Entscheidend dafür ist die Verfügbarkeit von isotonenreinen Referenzmaterialien. SI-rückführbare, zertifizierte Referenzmaterialien für eine Reihe von anorganischen Umweltschadstoffen sollen im Rahmen des Projekts entwickelt werden.

Frau Ebert vom DWD stellte den Stand der Entwicklung eines neuen Dropsondensystems zum Einsatz in Messflugzeugen vor. Die Dropsonden sollen zur Lokalisierung und Bestimmung von radioaktiv kontaminierten Luftmassen in der Atmosphäre dienen. Zur Vermeidung einer Gefährdung des fliegenden Personals und der Kontaminationen des Messflugzeugs werden die Sonden oberhalb der kontaminierten Luftmassen abgeworfen. Die Übermittlung der Messdaten erfolgt online in Echtzeit an das Messflugzeug und von dort per Satellitenverbindung an die DWD-Zentrale.

Frau Bieringer vom BfS berichtete über ersten Erfahrungen aus der Umsetzung der Maßnahmen zum Aufbau einer Stabsstruktur für das radiologische Notfallzentrum des Bundes. Der Krisenstab ist das zentrale Element, der in einem Notfall aus Fachleuten verschiedener Bundesbehörden und der GRS gebildet wird und unter der Leitung des BMUV agiert. Zur Weiterbildung der beteiligten ca. 120 Personen musste ein sehr umfangreiches Fortbildungsprogramm aus Präsenz-, Online- und Hybridveranstaltungen aufgesetzt werden. Die Kompetenz der Beteiligten soll kontinuierlich aktualisiert und in Übungen überprüft werden.

V020: Prozess der Lagebilderstellung anhand der Beispiele „Notfallschutzübung CORE-2021“ und „Situationsdarstellung zur radiologischen Lage in der Ukraine“

Process of creating a situation report using the examples “Emergency protection exercise CORE-2021” and “Situation report of the radiological situation in Ukraine”

K. Rupprecht¹, M. Werner²

¹Niedersächsischer Landesbetrieb für Wasserwirtschaft, Küsten und Naturschutz, Hildesheim, Deutschland

²Bundesamt für Strahlenschutz, Neuherberg bei München, Deutschland

Zusammenfassung

Core-21: Nach dem Unfall in Fukushima wurde der Notfallschutz nach Vorgaben der Europäischen Richtlinie 2013/59/Euratom in Deutschland neu geordnet. Laut Strahlenschutzgesetz von 2017 ist bei überregionalen Notfällen, wie zum Beispiel ein Unfall in einem deutschen Kernkraftwerk, auch das Radiologische Lagezentrum des Bundes zuständig und erstellt das Radiologische Lagebild. Dieses Radiologische Lagebild muss bundesweit einheitlich sein und erfolgt deshalb in enger Abstimmung mit dem regionalen Lagezentrum des Landes, insbesondere da auch im Abschlussbericht der hochrangigen Bund-Länder-AG „Einheitliches radiologisches Lagebild“ auf die besonderen radiologischen Fachkompetenzen der Länder mit Kernkraftwerken hingewiesen wird.

Zur Überprüfung und ständigen Verbesserung der Zusammenarbeit finden im Rahmen der CORE-Übungen in Deutschland regelmäßig Notfallübungen mit dem Bund und einem Bundesland mit einer operationellen kerntechnischen Anlage statt. Die CORE-2021-Übung soll die bereits hervorragende Zusammenarbeit des Radiologischen Lagezentrums des Bundes mit dem Radiologischen Lagezentrum Niedersachsen weiter erproben und verbessern.

Situationsdarstellung Ukraine: Seit dem Beginn des russischen Überfalls in der Ukraine berichtet das BfS in Zusammenarbeit mit dem BMUV über die aktuelle radiologische Lage und die der Kernkraftwerke in der Ukraine. Die Berichte werden zurzeit zweimal pro Woche erstellt und enthalten radiologische Informationen, Messdaten und Ausbreitungsrechnungen. Die Berichte werden den Bundes- und Landesbehörden über ELAN zur Verfügung gestellt und gehen per Mail an Bundeswehr, NATO und weitere Institutionen.

Summary

Core-21: Following the accident in Fukushima, emergency preparedness was reorganized in Germany in accordance with European Directive 2013/59/Euratom. According to the Radiation Protection Act of 2017, the Federal Radiological Situation Centre is responsible for nationwide emergencies, such as an accident at a German nuclear power plant, and prepares the radiological situation report. This national radiological situation report has to be harmonized by close coordination with the responsible Federal Radiological Situation Centre. Also, because among others, the final report of the high-level federal-state working group “uniform radiological situa-

tion report” emphasizes the excellent radiological expertise of the federal states with nuclear power plants.

In Germany emergency exercises involving the federal government and a federal state with an operational nuclear facility take place regularly. These exercises are part of the CORE exercises, which are performed to review and continuously improve cooperation between the federal States and the federal government. The CORE-2021 exercise is intended to intensify the already excellent cooperation between the Federal Radiological Situation Centre and the Radiological Situation Centre of Lower Saxony.

Situation report about radiological situation in Ukraine: Since the beginning of the Russian invasion of Ukraine, BfS publishes in coordination with the BMUV situation reports about the radiological situation in Ukraine and its nuclear power plants. The reports are now prepared twice a week and give up-to-date information, radiological measurement data and dispersion calculations. They are made available to the federal states via ELAN and via e-mail to the German Armed Forces, NATO and various other institutions.

1 Übungsdesign

Die Notfallschutzübung wurde 2021, mitten während der Corona-Pandemie, als zwei Teilübungen durchgeführt. Geplant, vorbereitet und begleitet wurde die Übung durch eine aus Vertretern von Bundes- und Landesbehörden zusammengesetzte Arbeitsgruppe.

Das von der GRS speziell für diese Übung ausgearbeitete Szenario entspricht einem radiologisch signifikanten Notfall gemäß Szenario 1 des allgemeinen Notfallplans [1] (Deutsches Kernkraftwerk vor Brennelementfreiheit - Überregionaler Notfall). Der Vorfall ereignet sich im fiktiven Kernkraftwerk „Referenzanlage“, welches sich am Standort Grohnde befindet.

Die Übung wurde als zwei separate Teilübungen geplant. Übungstag 1 ist im Wesentlichen der Prognosephase vorbehalten, Tag 2 setzt mit einem zeitlichen Abstand von ungefähr fünf Wochen als Messübung das Szenario von Übungstag 1 fort.

Um den Prozess der Lagebilderstellung zu erläutern, wird hier der erste Übungstag mit der Zusammenarbeit der Stäbe RLZ-Bund und RLZ-Land betrachtet. Das wichtigste Übungsziel dieser Teilübung ist die Erstellung von gemeinsamen Lagebildern von Bund und dem Land Niedersachsen.

Das RLZ-Bund setzt sich aus verschiedenen Stäben zusammen die sich auf dem BMUV, das BfS und die GRS, die den Stab A des BMUV unterstützt, verteilen. Die Stäbe des BMUV bestehen aus Stab A (Anlage), Stab S (Strahlenschutz), Stab J (Recht), Stab K (Kommunikation) und dem GZ (Geschäftszimmer). Beim BfS gibt es Stab L (Lagebild) und Stab M (Messen). Die Kopfstelle im BMUV leitet das Radiologische Lagezentrum des Bundes (RLZ) in einem Ereignisfall. Weitere bundesweite Organisationen, die dem RLZ zuarbeiten, sind unter anderem die Strahlenschutzkommission (SSK), das Gemeinsame Melde- und Lagezentrum (GMLZ) des BBK, der Deutsche Wetterdienst (DWD) und die Kerntechnischer Hilfsdienst GmbH (KHG).

Auf Länderebene sind das Niedersächsische Umweltministerium (NMU), der Niedersächsische Landesbetrieb für Wasserwirtschaft, Küsten- und Naturschutz (NLWKN), bei dem das RLZ-Niedersachsen angesiedelt ist sowie das Niedersächsische Innenministerium (NMI) in die Übung eingebunden. Das NMU und NMI repräsentieren den interministeriellen Krisenstab des Landes (IKMS). An der Erstellung des Lagebilds ist nur der NLWKN beteiligt.

Zur Übermittlung der Lagebilder und weiterer Informationen wurde die vom BfS betriebene „Elektronische Lagedarstellung für den Notfallschutz“ (ELAN) genutzt. Für die Übung wurde in

ELAN ein gemeinsamer Bereich eingerichtet, für den alle Übungsteilnehmer einschließlich der Beobachter als Nutzer registriert wurden.

2 *Übungsziele des Übungstages 1 - Prognosen*

Der eigentliche Schwerpunkt des ersten Übungstags liegt in der Zusammenarbeit des RLZ Bund mit den zuständigen Länderbehörden in Niedersachsen, insbesondere die Abstimmung mit dem RLZ NI. Als wesentlicher Teil dieser Zusammenarbeit sind der Informationsaustausch, die fachliche Zusammenarbeit bei der Bewertung der radiologischen Lage sowie Abstimmungen bezüglich der Presse- und Öffentlichkeitsarbeit zu sehen. Zur Überprüfung dieser Aspekte eignen sich am besten die Vorfreisetzungsphase (Prognose) und die Freisetzungsphase eines radiologisch signifikanten Notfalls gemäß Szenario 1, also ein deutsches Kernkraftwerk vor Brennelementfreiheit, und somit ein überregionaler Notfall.

Eine Schlüsselstelle dieser Zusammenarbeit ist die Verknüpfung der RODOS-Rechnung Niedersachsens, welche den „Nahbereich“ bis 100 km Entfernung von der Anlage abbildet, mit der darauf aufgesetzten Fernbereichs-Rechnung des Deutschen Wetterdienstes (DWD) über 100 km und dem daraus erstellten Lagebild des RLZ Bund. Dabei übernimmt der Bund die RODOS-Prognoserechnungen für den Nahbereich des Landes Niedersachsen und rechnet den Fernbereich ab 100 km Entfernung unter Verwendung von entsprechenden DWD-Prognosen. Darüber hinaus besonders wichtig in diesem Zusammenhang ist die Abstimmung von Vorschlägen für Empfehlungen von Schutzmaßnahmen auf der Bund-Land-Ebene. Insbesondere betrifft dies die Sofortmaßnahmen „Evakuierung“, „Verbleiben im Haus“ und „Einnahme von Jodtabletten“.

Als weiteres wichtiges Übungsziel ist die Erprobung der internen Arbeitsabläufe innerhalb einzelner RLZ-Bund- und Land-Einheiten zu sehen. Besonders beim RLZ Bund verteilen sich die einzelnen Stäbe auf unterschiedliche Behörden (BfS, BMUV und GRS) und Orte. Innerhalb des BfS ist der Stab L in Neuherberg bei München und der Stab M in Freiburg, Berlin, Salzgitter, München, Bonn und Rendsburg verteilt. Die GRS sitzt mit ihrem Stab Strahlenschutz in Köln, der wiederum dem Stab A des BMUV in Bonn zuarbeitet. Die weiteren Stäbe des BMUV sitzen in Bonn. Die Stäbe K gibt es beim BMUV in Bonn und beim BfS in München. Alle müssen sich untereinander abstimmen. Der Aufbau des RLZ NI ist übersichtlicher und beschränkt sich bei dieser Übung auf den NLWKN, aber auch hier müssen die internen Arbeitsabläufe für einen reibungslosen Ablauf klar definiert sein.

3 *Ablauf des 1. Übungstages*

3.1 Aus Sicht Niedersachsens

Für die Mitarbeiter des NLWKN in Niedersachsen und die dort bereits eingetroffenen Beobachter begann die Übung um 06:50 Uhr mit einer Alarmierung auf Reaktorschnellabschaltung (RESA) über die KFÜ-Rufbereitschaft. Betroffen war das fiktive Kernkraftwerk „Referenzanlage“. Die Nachfrage beim durch NMU simulierten Betreiber bestätigte die RESA. Als Grund wurde ein Dampferzeuger-Heizrohrleck mit offenstehendem Frischdampf-Sicherheitsventil angegeben. Auswirkungen außerhalb der Anlage wären derzeit nicht zu erwarten. Diese Information wurde an die Aufsichtsbehörde, das NMU weitergegeben. Außerdem wurden die landeseigenen ODL-Sonden in der Umgebung der Anlage in den Intensivbetrieb (Datenübertragung im 10-Minuten Rhythmus) gesetzt. Eine Information über den Intensivbetrieb wurde im CalWeb der Niederlande eingestellt und diese somit im Rahmen der bilateralen Vereinbarungen informiert. Es wurde eine Ausbreitungsrechnung mit aktueller Wetterlage mithilfe des KFÜ durchgeführt, um die potenziell betroffenen Gebiete zu bestimmen. Des Weiteren wurde ein Ereignis „CORE-2021“ im ELAN Länderbereich angelegt. Zur weiteren Abschätzung potenziell betroffener

Gebiete wurde eine RODOS Prognose-Rechnung mit konservativem Quellterm (FKA) und Freisetzungsbeginn am selben Tag um 09:00 Uhr gestartet.

Um 08:00 erreichte das RLZ-NI ein Fax des Betreibers mit der Meldung, dass die Kriterien für Kat-Voralarm erfüllt sein. Daraufhin wurde das RLZ-NI in vollem Umfang in Betrieb genommen, ein Schichtplan aufgestellt und das NMU, die NLWKN Hausspitze, die Messdienste sowie die Pressestelle informiert. Außerdem wurde Kontakt zur Rufbereitschaft des RLZ beim BfS aufgenommen.

Um 08:30 Uhr trat der interministerielle Krisenstab der niedersächsischen Landesverwaltung, bestehend aus NMI und NMU, zusammen. Um 10:00 Uhr wurde der Kat-Fall in Niedersachsen ausgerufen. Im weiteren Verlauf der Übung gab es insgesamt sieben Lageberichte des Betreibers. Es wurden sechs RODOS Rechnungen durchgeführt und auf deren Basis vom RZL-Bund, unter Beteiligung des RLZ-Land, sechs Lagebilder erstellt. Nicht alle Lagebilder schafften es über das Entwurfsstadium, weil die zugrunde liegenden Betreiberinformationen zum entsprechenden Zeitpunkt nicht mehr aktuell waren. Die zeitliche Abfolge der Lageberichte des Betreibers war sehr eng getaktet, sie erfolgten vormittags alle 1,5 h und anschließend im Stundenrhythmus.

Alle Dokumente, Meldungen und Informationen wurden über ELAN ausgetauscht. In den ersten Stunden der Übung traten Performanzprobleme bei der Anwendung von ELAN auf, diese konnten aber durch die Administratoren beim BfS behoben werden.

Im RLZ NI waren vier Personen durchgängig tätig, zwei weitere Personen wurden zeitweise hinzugezogen. Die wahrzunehmenden Aufgaben und Funktionen bestanden z. B. in der Kontrolle von Messwerten (KFÜ und ODL-Messnetz), der Durchführung von Ausbreitungsrechnungen, der ständigen Entgegennahme von Informationen sowie deren prompter Weitergabe, Abstimmungen mit dem RLZ-Bund sowie die Teilnahme an Lagebesprechungen. Parallel wurde im Verlauf der Übung die Einsatzbereitschaft der Messdienste hergestellt (fiktiv) sowie eine Messstrategie erarbeitet und an die jeweils aktuelle Lage angepasst. Auf Anfrage des IMKS wurde eine Dosisabschätzung für die Einsatzkräfte durchgeführt.

Um 16:00 Uhr wurde Tag 1 der Übung mit der Betreibermeldung „Anlage im sicheren Zustand, keine weiteren Freisetzungen“ beendet.

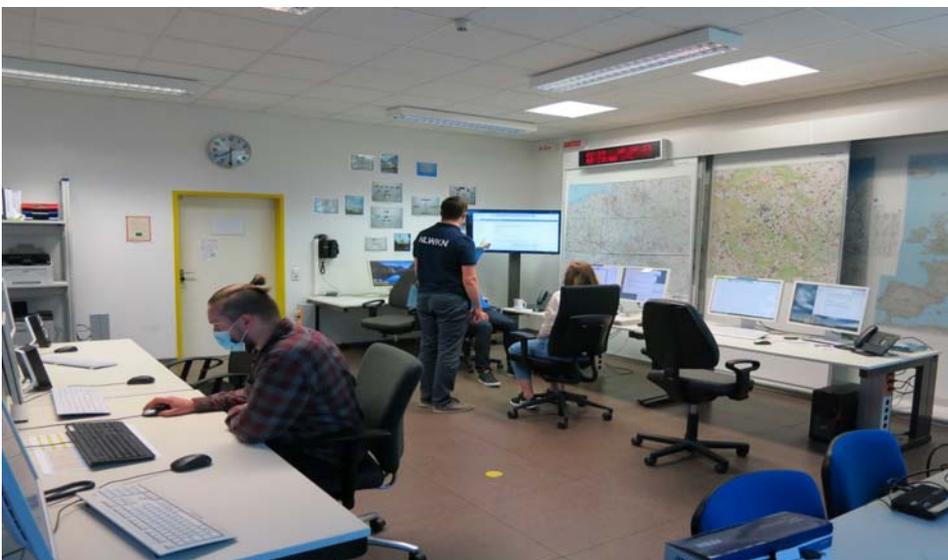


Abb. 1: RLZ NI im NLWKN während der CORE-2021 Übung

3.2 Aus Sicht des BfS

Der Stab Lagebild, Stab L, im BfS erstellt das Radiologische Lagebild des Bundes. Dazu bedarf es der Zuarbeit verschiedener Stäbe und Institutionen. Intern arbeiten Stab Lagebild und Stab Messen des BfS eng zusammen, die sich mit der Kopfstelle im Bundes-Umweltministerium (BMUV) und dessen Stäbe abstimmen. Beteiligt sind auch die GMLZ bei der Alarmierung, der Deutsche Wetterdienst für die aktuelle Wetterlage vor Ort und für die Ausbreitungsrechnungen im Anschluss an die Nahbereichs-RODOS-Rechnungen und zur CORE-2021-Übung das Land Niedersachsen (s. Abbildung 2).

Das Radiologische Lagebild des Bundes (RLB) besteht normalerweise aus acht Kapiteln. Zusätzliche Kapitel beinhalten die internationalen Auswirkungen eines radiologischen Unfalls und Worst-Case-Szenarien.

Im Stab Lagebild gibt es zu jedem Kapitel des Radiologischen Lagebildes eine Personen-Rolle, die für dessen Erstellung zuständig ist. Diese Rolle benötigt immer Zuarbeit externer Stäbe und Institutionen, wie zum Beispiel BMUV und Deutscher Wetterdienst (DWD). Bei der Core-21 war es aufgrund der komplexen Abläufe und häufigen notwendigen Rückfragen nicht möglich, den geplanten Stundentakt für die Erstellung des Radiologischen Lagebildes einzuhalten. Relativ problemlos und sehr schnell gestaltete sich die Übernahme der RODOS-Rechnungen aus Niedersachsen. Genauso schnell erfolgte auch die anschließende Abstimmung zu Kapitel 7a (Katastrophenschutzmaßnahmen „Verbleiben im Haus“, „Ausgabe von Jodtabletten“, „Einnahme von Jodtabletten“ und „Evakuierungen“) mit dem Radiologischen Lagezentrum Niedersachsen. Verzögerungen verursachten unter anderem das Warten auf die Ergebnisse der Fernbereichsrechnungen durch den Deutschen Wetterdienst, die Abstimmung zum Anlagenzustand mit Stab A des BMUV (der von der Gesellschaft für Reaktorsicherheit, GRS unterstützt wurde) sowie die Revidierung von bereits vom BfS an die RLZ-Kopfstelle beim BMUV übermittelten Lagebilder-Entwürfe, vor allem bedingt durch den Eingang neuer Betreibermeldungen bevor das Lagebild-Bund freigegeben worden war.

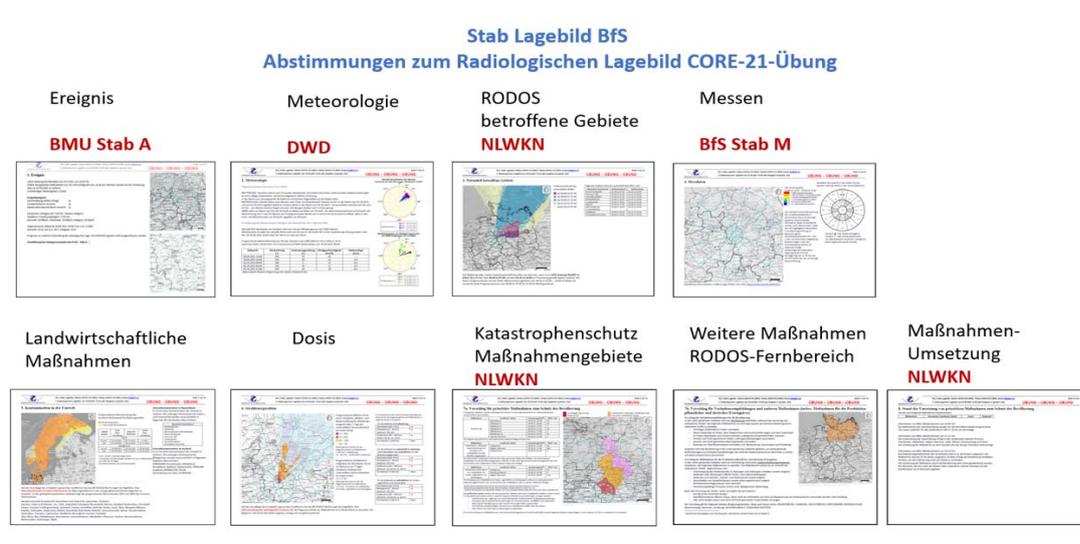


Abb. 2: Stab Lagebild – Kapitel des Radiologischen Lagebildes des Bundes (RLB) und die Abstimmungen der einzelnen Kapitel mit verschiedenen internen und externen Stäben bei der CORE-2021 Übung

4 Schlussfolgerungen

Die internen Abläufe innerhalb der RLZ sowie die Kommunikation und fachliche Abstimmung zwischen BfS und NLWKN bezüglich der Lagebilder, insbesondere das Kap. 7a „prioritäre Maßnahmen“ betreffend, liefen sehr gut und ohne zeitliche Verzögerungen.

Zwar traten zu Beginn der Übung kleinere Probleme beim Abgleich der unterschiedlichen Bereiche des ELAN auf (ELAN Bund und ELAN Niedersachsen), diese wurden jedoch in den ersten Stunden der Übung durch die ELAN Administratoren behoben, und ELAN bestätigte sich als sehr wirkungsvolles Kommunikationsmedium.

Die Frequenz der Betreibermeldungen „Lageberichte“ war sehr eng getaktet. Nach anfänglich etwa 1,5 h erfolgten die Lageberichte zuletzt im Stundenrhythmus. Da die Lagebilder diverse Abstimmungsschritte zu durchlaufen hatten, waren diese teilweise bei ihrer Freigabe schon veraltet. Im Extremfall wurden 3 h von der Betreibermeldung bis zur abschließenden Freigabe des Lagebildes benötigt.

In Zukunft soll der Prozess der Lagebilderstellung und Freigabe effizienter gestaltet werden.

Dieser beginnt mit der Umsetzung der Betreibermeldung in eine RODOS-Ausbreitungsrechnung (NLWKN), dann folgt die Erstellung eines Lagebildentwurfs, insbesondere von Kap. 7a (BfS), welches bezüglich der Katastrophenschutz-Sofortmaßnahmen mit dem beteiligten Bundesland abzustimmen ist. Im Anschluss erfolgen die Abstimmungen innerhalb der verschiedenen Stäbe des RLZ Bund, die viel Zeit beanspruchten.

Von der Fertigstellung der RODOS-Rechnung bis zu einem Lagebildvorschlag für Kap. 7a dauerte es zwischen 10 und 20 Minuten, die Abstimmung des Kap. 7a zwischen BfS und NLWKN erfolgte unverzüglich telefonisch und erledigten sich schnell und effizient. Die telefonische Abstimmung bezüglich des Kapitels 7a des Lagebildes muss zusätzlich schriftlich fixiert werden.

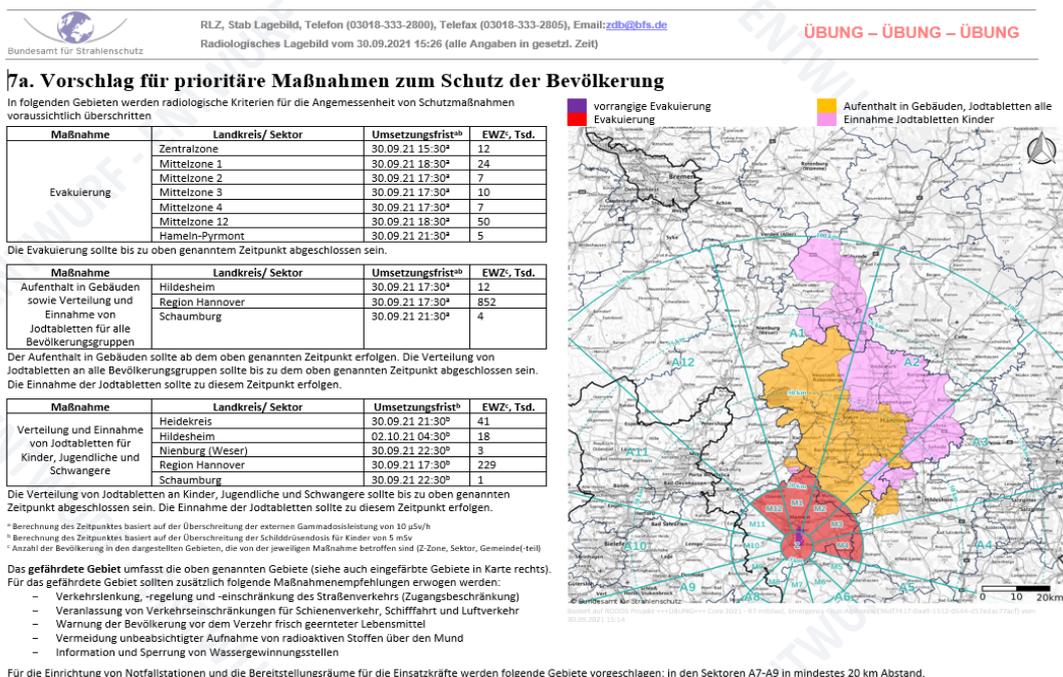


Abb. 3: Kap. 7a des Radiologischen Lagebilds

Die hohe Anzahl von Betreibermeldungen mit unterschiedlichen Quelltermen entfachte die Diskussion, ob in ähnlichen Fällen zukünftig nicht besser auf den HERCA-WENRA-Ansatz zurückgegriffen werden kann. Der HERCA-WENRA-Ansatz sieht folgende Entfernungen für den Katastrophenschutz (prioritäre Maßnahmen im Katastrophenfall) in einem radiologischen Notfall vor:

- Durchzuführende Maßnahmen nach HERCA-WENRA: Evakuierung bis 5 km (Zentralzone); bis 100 km Jodblockade
- Vorplanung nach HERCA-WENRA: Bis 20 km Evakuierung; bis 100 km Jodblockade und Aufenthalt in Gebäuden, Jodtabletten für Kinder und Schwangere bis 300 km

Es geht bei diesem Ansatz im Wesentlichen darum, von einer kleinräumigen Maßnahmenempfehlung zu einer einheitlichen, großflächigen überzugehen. Werden wie bei der Core-21 die Maßnahmenempfehlungen in der Vorfreisetzungsphase zu detailliert auf kleine Gebiete zugeschnitten, sind die betroffenen Gebiete - und die Bevölkerung - bei jeder Änderung von Freisetzungszeitpunkt- oder Wetterprognosen neu zu ordnen. Nach HERCA-WENRA vermeiden die Katastrophenschutz-Stäbe möglicherweise übereilte Anpassungen der Maßnahmengebiete.

6 Ukraine – Situationsdarstellung des BfS

Seit Beginn des russischen Überfalls auf die Ukraine am 24. Februar 2022 erstellt das BfS regelmäßig Situationsdarstellungen. Zu Beginn des Krieges wurden diese Berichte täglich, aktuell zweimal wöchentlich erstellt. Sie enthalten unter anderem neueste Informationen des ukrainischen Betreibers, der nationalen ukrainischen Aufsichtsbehörde, der Internationalen Atom-Aufsichtsbehörde (IAEA) zum Anlagenzustand der dortigen vier Kernkraftwerksstandorte und weiterer Anlagen mit radiologischem Inventar. Messdaten liefern unter anderem die IAEA und Nicht-Regierungs-Organisationen. Vom Deutschen Wetterdienst kommen mehrmals täglich Ausbreitungsrechnungen für die dortigen Kernkraftwerks-Standorte und einmal täglich ein aktueller Wetterbericht zur Ukraine. Bisher gab es keine erhöhten radiologischen Messwerte, außer zu Beginn des Krieges im Februar 2022 als die russischen Truppen mit Panzern auf dem Weg nach Kiew durch das Tschornobyl-Gelände fuhren. Möglicherweise wurden die Messwert-Erhöhungen durch technische Effekte verursacht.

Die Situationsdarstellungen werden mit dem BMUV abgestimmt und Länderbehörden, Bundeswehr, NATO und weiteren Institutionen zur Verfügung gestellt.

Frühere Berechnungen des BfS haben ergeben, dass aufgrund eines schweren Unfalls in Saporischschja keine Katastrophenschutzmaßnahmen in Deutschland notwendig sind. Möglicherweise wären Auswirkungen auf die landwirtschaftliche Produktion zu erwarten. Allerdings ist Deutschland nur bei etwa 17 % der Wetterlagen vom Standort Saporischschja betroffen.

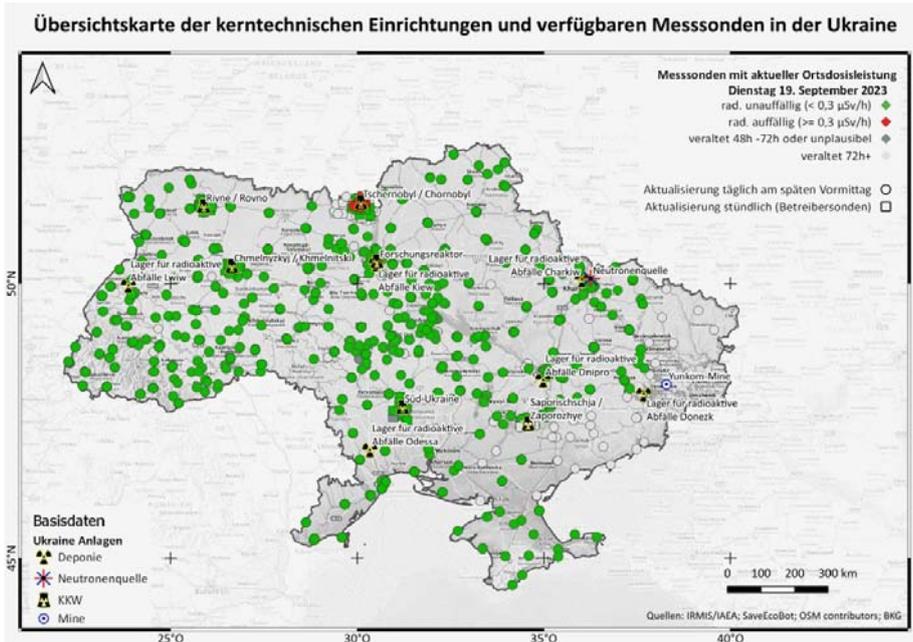


Abb. 4a: Ukraine, Anlagen mit radioaktivem Material, verfügbare Messsonden mit Messwertstatus, Stand: 19.09.2023 08:00 MESZ.

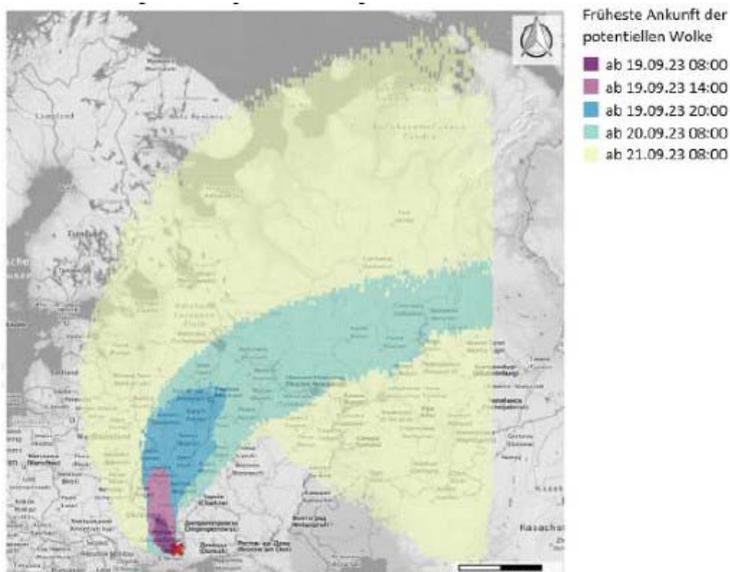


Abb. 4b: Ausbreitungsrechnung Saporischschja am 19.09.2023 (190. Situationsdarstellung Ukraine)

7 Literatur

[1] Allgemeiner Notfallplan

V033: Novellierung der Allgemeinen Verwaltungsvorschrift zur Ermittlung der Exposition von Einzelpersonen der Bevölkerung durch genehmigungs- oder anzeigebedürftige Tätigkeiten (AVV Tätigkeiten)

Amendment of the General Administrative Regulation on the Determination of the Exposure of Members of the Public to Practices Requiring Authorisation or Notification (AVV Practices)

A. Diener

Bundesamt für Strahlenschutz, Neuherberg, Deutschland

Zusammenfassung

Die AVV Tätigkeiten enthält Modellvorgaben für die Ermittlung der Strahlenexposition der Bevölkerung, die durch die Ableitung radioaktiver Stoffe mit Luft und Wasser sowie durch ionisierende Strahlung aus Anlagen und Einrichtungen infolge von „Tätigkeiten“ im Sinne des Strahlenschutzgesetzes entsteht. Es werden die Transportpfade radioaktiver Stoffe in der Atmosphäre und in Oberflächengewässern, die Ablagerung auf oberirdischen Pflanzenteilen und dem Boden, der Transfer in der Nahrungskette sowie die resultierende äußere und innere Exposition des Menschen betrachtet. Hiermit können die zuständigen Genehmigungs- und Aufsichtsbehörden die Expositionen von Einzelpersonen der Bevölkerung durch ionisierende Strahlung ermitteln, entweder konservativ im Rahmen von Genehmigungs- und Anzeigeverfahren (prospektive Berechnung) oder realitätsnah für das vorhergehende Kalenderjahr (retrospektive Berechnung).

Summary

The AVV Practices (AVV Tätigkeiten) contains model specifications for determining the radiation exposure of the population that can arise from the discharge of radioactive substances with air and water as well as from ionising radiation from installations and facilities as a result of “practices” (“Tätigkeiten”) according to the Radiation Protection Act. The transport pathways of radioactive substances in the atmosphere and in surface waters, the deposition onto above-ground plant parts and onto soil, the transfer in the food chain and the resulting external and internal exposure of humans are considered. This enables the responsible regulatory authorities to assess the exposure of members of the public to ionising radiation, either conservatively within the context of licensing and notification procedures (prospective assessment) or in a realistic way for the preceding calendar year (retrospective assessment).

1 Ziel der Berechnungsvorschrift

Die Allgemeine Verwaltungsvorschrift (AVV) Tätigkeiten [1] enthält Vorgaben (mathematische Modelle, Modellparameter und Modellannahmen) für die Ermittlung der Exposition der Bevölkerung, die durch die Ableitung radioaktiver Stoffe mit Luft und Wasser sowie durch ionisierende Strahlung aus Anlagen und Einrichtungen infolge von Tätigkeiten im Sinne des Strahlenschutzgesetzes entsteht (§ 100 und § 101 Strahlenschutzverordnung (StrlSchV)).

Mit dieser Berechnungsvorschrift wird für Einzelpersonen der Bevölkerung in Genehmigungsverfahren von Anlagen oder Einrichtungen die zu erwartende Exposition (prospektive Dosismittlung) berechnet oder für die kalenderjährliche Berichterstattung die erhaltene Exposition (retrospektive Dosismittlung) realitätsnah ermittelt. Die Berechnungsvorschrift wurde umfassend überarbeitet, und die aktualisierte AVV Tätigkeiten ist seit September 2020 rechtsgültig. In dieser Zusammenfassung liegt der Fokus auf den wesentlichen Neuerungen der AVV Tätigkeiten.

2 Vorgehensweise bei der Ermittlung der Exposition

Zuerst werden die radioaktiven Kontaminationen der Umweltmedien (Oberflächengewässer, Böden, Sedimente, Atmosphäre) über die Transportpfade radioaktiver Stoffe (Ablagerung luftgetragener Radionuklide auf oberirdischen Pflanzenteilen und Böden, Beregnung landwirtschaftlicher Flächen, Transfer von Radionukliden in die Nahrungsmittel) berechnet (Abb. 1). Die AVV Tätigkeiten ist hierfür ein Werkzeugkasten, um spezifisch für jeden Standort die relevanten Transportpfade modellieren zu können.

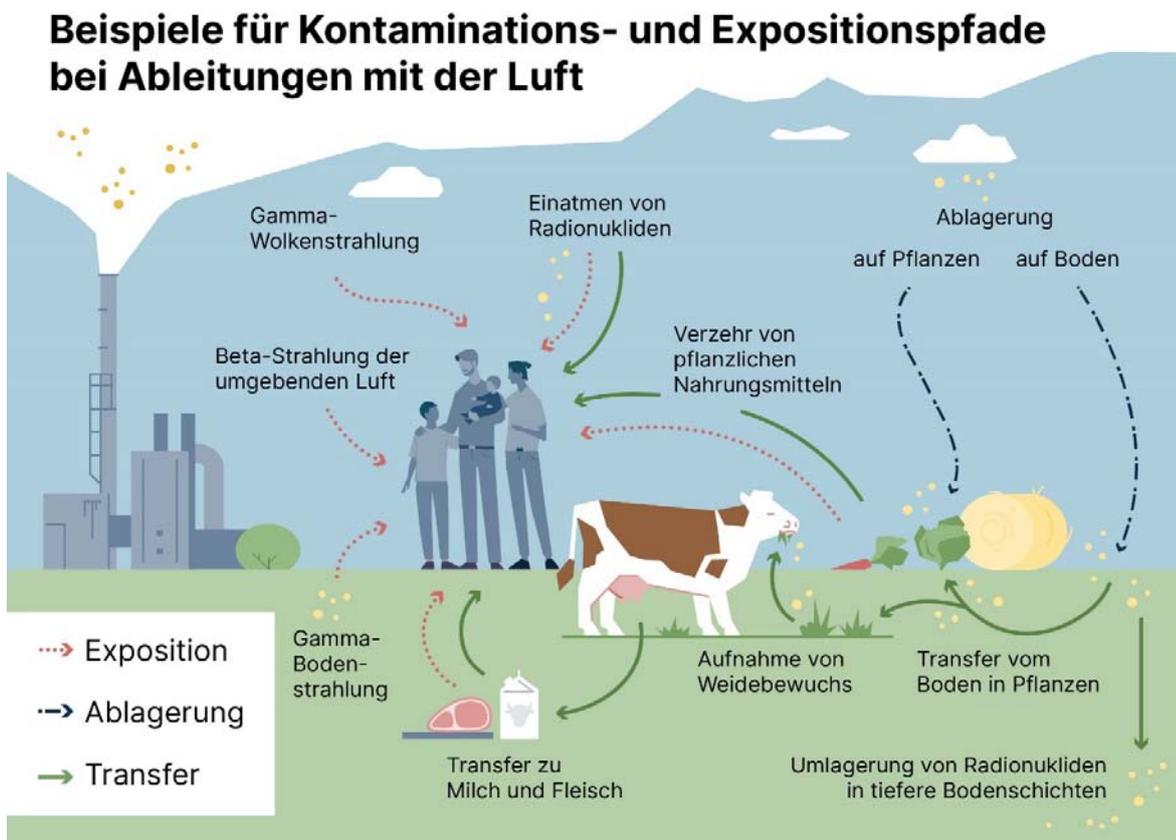


Abb. 1: Beispiele für die Kontaminations- und Expositionspfade bei Ableitungen mit Luft, die zu einer Umweltkontamination und dadurch zu einer Exposition der Bevölkerung führen (Quelle: BfS).

Darauffolgend wird die Exposition von Einzelpersonen der Bevölkerung bestimmt. Bei der Exposition infolge Ableitungen mit Wasser wird die äußere Exposition durch Aufenthalt auf Sediment und die innere Exposition durch Aufnahme radioaktiver Stoffe mit Lebensmitteln oder Muttermilch durch den Säugling betrachtet. Bei der Exposition infolge Ableitungen mit Luft sind die

äußere Exposition durch Beta- und Gammasubmersion sowie Gammabodenstrahlung und die innere Exposition durch Inhalation und Ingestion die relevanten Pfade (Abb. 1).

Bei der Bestimmung der Exposition wird die effektive Dosis von Einzelpersonen der Bevölkerung aus der berechneten Kontamination der Umweltmedien und der Lebensmittel, aus Festlegungen zu den menschlichen Lebensgewohnheiten (Atemraten, Verzehrswerten, Aufenthaltszeiten im Freien und in Gebäuden) und den Wirtschaftsweisen in der Landwirtschaft berechnet.

Anstelle von realen Personen, die in der Umgebung der Anlage oder Einrichtung leben, wird die repräsentative Person im Sinne der ICRP für die Berechnung der Exposition an der ungünstigsten Einwirkungsstelle herangezogen (s. Kap. 3). Zusätzlich ist die Exposition durch die Direktstrahlung aus einer Anlage oder Einrichtung zu berücksichtigen (s. Kap. 6).

3 Ziele und Grundsätze

In der AVV Tätigkeiten sind verschiedene Ziele und Grundsätze angegeben, die unabhängig vom Kontaminations- und Expositionspfad und dem Umweltmedium gelten. Die wichtigsten Änderungen in der Berechnungsgrundlage sind im Folgenden aufgeführt:

- Durch zahlreiche Annahmen ungünstiger Bedingungen ist die Berechnung der Exposition auch in der überarbeiteten AVV Tätigkeiten immer noch konservativ, so dass eine Unterschätzung der realen Expositionen von Einzelpersonen der Bevölkerung nicht zu erwarten ist. Die retrospektiv ermittelte Exposition sollte aber so realistisch wie mit vertretbarem Aufwand möglich sein und bspw. die bekannten Aufenthaltszeiten und -orte von Einzelpersonen der Bevölkerung zugrunde gelegt werden.
- Die prospektive und retrospektive Ermittlung der Exposition sind im Wesentlichen konzeptionell einheitlich gestaltet. Allerdings sind bei Genehmigungsverfahren die Nutzungsmöglichkeiten in der Umgebung des Betriebsgeländes zu betrachten, wohingegen bei der kalenderjährlichen retrospektiven Ermittlung der Exposition die reale Nutzung des Umgebungsgebietes bevorzugt heranzuziehen ist, um die Expositionspfade möglichst realitätsnah abzubilden. Für die prospektive Berechnung der Exposition muss außerdem die berechnete effektive Dosis mit expositionspfadspezifischen Faktoren multipliziert werden. Diese Faktoren wurden ergänzt, da die effektiven Dosen der verschiedenen Expositionspfade insgesamt weniger konservativ berechnet werden. Bei Iodisotopen muss die effektive Dosis mit radionuklidspezifischen Faktoren multipliziert werden. Dies ist erfolgt, da die Organodosisgrenzwerte in § 47 StrlSchV (2001) entfallen sind.
- Die Strahlenexposition ist für die repräsentative Person im Sinne der ICRP zu ermitteln. Für diese fiktive Person sind ungünstige, aber keine unrealistischen Lebensgewohnheiten (Aufenthaltszeiten und Aufenthaltsorte, Atemraten, Verzehrswerten) anzunehmen. Im Unterschied zur vorherigen Fassung (AVV zu § 47 StrlSchV (2001)) sind extreme Lebensgewohnheiten, wie bspw. physiologisch unmögliche Verzehrswerten oder ein Daueraufenthalt im Freien an der ungünstigsten Einwirkungsstelle, ausgeschlossen. Die Parameterwerte sind derart gewählt, dass die repräsentative Person eine gegenüber dem Durchschnitt der Bevölkerung höhere, aber keine unrealistische effektive Dosis erhält.
- Es sind künftig für die Berechnung der Exposition die ungünstigsten Einwirkungsstellen im Freien und in Gebäuden zu betrachten, wobei jedoch unmögliche Situationen prinzipiell auszuschließen sind. Die ungünstigsten Einwirkungsstellen sind die Stellen in der Umgebung einer Anlage oder Einrichtung, bei denen aufgrund der Verteilung der abgeleiteten radioaktiven Stoffe in der Umwelt und der ionisierenden Strahlung aus der

Anlage oder Einrichtung durch Aufenthalt oder durch den Verzehr dort erzeugter Lebensmittel die höchsten Expositionen der repräsentativen Person zu erwarten sind.

4 Prospektive Berechnung der Exposition

Die prospektive Berechnung der zu erwartenden Exposition von Einzelpersonen der Bevölkerung nach § 100 StrlSchV wird im Rahmen von Genehmigungs- und Anzeigeverfahren angewendet. Zum Nachweis, dass die Grenzwerte für Einzelpersonen der Bevölkerung eingehalten werden, sind für die repräsentative Person sowohl die Exposition infolge von Ableitungen mit Luft oder Wasser allein (§ 100 Abs. 1 StrlSchV mit Verweis auf § 99 StrlSchV) als auch die Summe der Expositionen infolge von Ableitungen mit Luft und Wasser und der Exposition durch Direktstrahlung (§ 100 Abs. 1 StrlSchV mit Verweis auf § 80 StrlSchG) zu berechnen.

Die Pflicht zur Dosiermittlung in Genehmigungs- und Anzeigeverfahren entfällt gemäß § 100 Abs. 2 StrlSchV in einigen Fällen, so zum Beispiel bei Anlagen zur Erzeugung ionisierender Strahlung, die lediglich einer Anzeige bedürfen, weil ihre Ortsdosisleistung (in § 17 Abs. 1 StrlSchG) festgelegte Kriterien einhält, bei Röntgeneinrichtungen, die im Zusammenhang mit der Anwendung am Menschen oder in der Tierheilkunde eingesetzt werden oder bei Kleinemittenten (nach § 102 Abs. 2 Satz 1 StrlSchV).

Der Leitgedanke bei der prospektiven Expositionsrechnung ist, dass ungünstige generische Lebensgewohnheiten und generische Werte für die Modellparameter angenommen werden, jedoch unmögliche Szenarien ausgeschlossen sind. Beispiele dafür sind:

- Bei Ableitungen mit Luft hat eine Berechnung der atmosphärischen Ausbreitung auf Grundlage einer langjährigen Wetterstatistik oder der Zeitreihe eines repräsentativen Jahres zu erfolgen.
- Bei Ableitungen mit Wasser sind langjährige Mittelwerte der Wasserführung der Vorfluter und der Fließzeiten anzusetzen.
- Es sind die zu genehmigenden bzw. die zu erwartenden Höchstwerte für die Emissionen sowie die berechnete maximale Direktstrahlung in der Umgebung des Standortes anzunehmen.
- Es sind alle potenziellen Expositionspfade unter Berücksichtigung der Nutzungsmöglichkeiten in der Umgebung des Standorts anzunehmen.
- Es sind generische Aufenthaltszeiten und -orte der repräsentativen Person anzusetzen, die in Anlage 11 Teil B Tabelle 3 der StrlSchV vorgegeben sind.

Durch die zu genehmigende Anlage oder Einrichtung könnte es zu einem Zusammenwirken mehrerer Quellen kommen. Hierfür sind in der AVV Tätigkeiten räumliche Kriterien und Dosiskriterien angegeben, dass zusätzlich zur eigentlichen Quelle weitere Quellen zu berücksichtigen sind.

5 Retrospektive Berechnung der Exposition

Die retrospektive Berechnung der Exposition von Einzelpersonen der Bevölkerung muss für das vorhergehende Kalenderjahr für Anlagen oder Einrichtungen durchgeführt werden, wenn Tätigkeiten erfolgen, die in § 101 StrlSchV aufgeführt sind. Die Pflicht zur Ermittlung der erhaltenen Dosis entfällt gemäß § 101 Abs. 2 StrlSchV in einigen Fällen. Beispiele dafür sind Röntgeneinrichtungen und Störstrahler, Tätigkeiten im Zusammenhang mit der Anwendung am Tier in der Tierheilkunde und Tätigkeiten nach § 4 Abs. 1 Nr. 1 und 7 StrlSchG in den Fällen, in denen die effektive Dosis 0,1 Millisievert im Kalenderjahr nicht überschreitet.

Der Leitgedanke bei der retrospektiven Expositionsrechnung ist, dass standortspezifische Verhältnisse sowie aktuelle repräsentative statistische Daten im betrachteten Zeitraum berücksichtigt werden. Einige Beispiele für eine realitätsnahe Berechnung sind:

- Bei Ableitungen mit Luft erfolgt die Berechnung der atmosphärischen Ausbreitung mittels Lagrange-Partikelmodell auf Grundlage der meteorologischen Daten des betrachteten Zeitraums.
- Bei Ableitungen mit Wasser sind die Mittelwerte der Wasserführung der Vorfluter und der Fließzeiten im betrachteten Zeitraum heranzuziehen.
- Es sind die gemessenen oder bilanzierten tatsächlichen Emissionen sowie die gemessene oder berechnete Direktstrahlung der Anlage oder Einrichtung im betrachteten Zeitraum heranzuziehen.

Die retrospektive Ermittlung der Exposition ist prinzipiell quellenbezogen, und es wird in der Regel kein Zusammenwirken mehrerer Quellen berücksichtigt. Die Betrachtung des Zusammenwirkens mehrerer Quellen nach § 101 Abs. 3 StrlSchV könnte dann erforderlich sein, wenn zum Beispiel aufgrund ungünstiger meteorologischer oder hydrologischer Verhältnisse eine Überschreitung der Grenzwerte zu erwarten ist. Dies könnte der Fall sein, wenn die tatsächlichen Mittelwerte im betrachteten Zeitraum ungünstiger als die langjährigen Mittelwerte sind.

6 Exposition durch Direktstrahlung

Nach der novellierten AVV Tätigkeiten ist nun auch die ionisierende Strahlung aus Anlagen oder Einrichtungen einschließlich der Streustrahlung (Direktstrahlung) und die daraus resultierende effektive Dosis für Einzelpersonen der Bevölkerung zu erfassen. Diese Strahlung kann von einer radioaktiven Quelle oder einem technischen Gerät ausgehen.

Die zu berücksichtigenden Einflussgrößen sind das Radionuklidinventar und dessen räumliche Verteilung sowie Typ, Standort und Betriebszustände (Betriebszeiten, Betriebsdauern, Strahlgeometrie usw.) des technischen Geräts, bei dessen Betrieb ionisierende Strahlung erzeugt wird. Heranzuziehen sind auch die Normen zum baulichen Strahlenschutz sowie sonstige technische und bauliche Maßnahmen, die abschirmend wirken oder auf sonstige Weise die Ortsdosisleistung während des Betriebs reduzieren. Für die Dosisberechnung sind auch die Aufenthaltsdauern und Aufenthaltsorte der repräsentativen Person in den für die Bevölkerung zugänglichen Bereichen in der Umgebung der Anlage oder Einrichtung wichtig.

Die Berechnung kann entfallen, wenn der Dosisbeitrag zur gesamten Exposition der repräsentativen Person 10 % nicht überschreitet und die Dosisgrenzwerte für die Bevölkerung eingehalten werden. Dieser Nachweis kann mit vereinfachten, konservativen Ansätzen erfolgen. Eine Hilfestellung zur Ermittlung der Exposition durch Direktstrahlung ist das vom BfS verfasste Dokument „Leitfaden zur Ermittlung der Exposition von Einzelpersonen der Bevölkerung durch ionisierende Strahlung aus Anlagen oder Einrichtungen (Direktstrahlung)“ [2]. Dieser Text mit Stand November 2019 wurde den Aufsichtsbehörden der Bundesländer übermittelt.

Das Problem bei der Bestimmung der Exposition durch Direktstrahlung ist, dass es keine vereinfachten Berechnungsverfahren gibt, die die Vielfalt der Anwendungsfälle angemessen abdecken würden. Die Berechnung der Strahlungsfelder kann mithilfe von komplexen Simulationsverfahren nach Stand von Wissenschaft und Technik oder, falls anwendbar, mit vereinfachten Verfahren durchgeführt werden. Hierfür können unter Umständen auch die Normen zum baulichen Strahlenschutz herangezogen werden [2]. Dies hängt jedoch vom betrachteten Einzelfall ab. Für die retrospektive Ermittlung der Exposition sind auch Messungen zulässig und bei höheren Ortsdosen bzw. Ortsdosisleistungen auch empfohlen.

7 Fazit und Ausblick

Die AVV Tätigkeiten wurde umfassend überarbeitet und ist nun auf dem Stand von Wissenschaft und Technik. Die Berechnungsgrundlage ist ein Werkzeugkasten, um spezifisch für jeden Standort die relevanten Transportpfade modellieren zu können. Eine zentrale Neuerung in der AVV Tätigkeiten ist die Möglichkeit, realitätsnah die retrospektive Berechnung der Exposition durchführen zu können, indem standortspezifische Verhältnisse berücksichtigt und standortspezifische Modellparameter angewendet werden.

Ein Erläuterungstext zur AVV Tätigkeiten mit umfangreichen Begründungen ist aktuell in Arbeit. Um die Ingestionsdosis von Einzelpersonen der Bevölkerung zu berechnen, werden die altersspezifischen Verzehrsmengen aus Anlage 11 Teil B Tab. 1 StrlSchV herangezogen. Auf der Grundlage eines Forschungsvorhabens der GRS über die alters- und produktgruppenspezifische Auswertung der in Deutschland erhobenen Verzehrdaten wird diese Tabelle in absehbarer Zeit erneuert.

8 Literatur

- [1] Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, nukleare Sicherheit und Verbraucherschutz: Allgemeine Verwaltungsvorschrift zur Ermittlung der Exposition von Einzelpersonen der Bevölkerung durch genehmigungs- oder anzeigebedürftige Tätigkeiten vom 8. Juni 2020. AVV Tätigkeiten. Fundstelle: BAnz AT 16.06.2020 B3.
- [2] Bundesamt für Strahlenschutz: Leitfaden zur Ermittlung der Exposition von Einzelpersonen der Bevölkerung durch ionisierende Strahlung aus Anlagen oder Einrichtungen (Direktstrahlung). Stand November 2019. Unveröffentlicht.

V040: Metrologie zur Harmonisierung der Messungen von Umweltschadstoffen in Europa - MetroPOEM

D. Arnold¹, J. Eberhardt¹, L. Flierl¹, O. Rienitz¹, A. Pramann¹, D. Zapata-García¹, J. Vogl², P.S. Prem², V. Lourenço³, L. Chambon³, H. Isnard³, M. Mazánová⁴, J. Sochorová⁴, T. Zuliani⁵, T. Goltnik⁵, L. Rován⁵, M. Štok⁵, J. Noireaux⁶, M. Kamarainen⁷, E. Iloniemi⁷, B. Ari Engin⁸, S. Z. Can⁸, O. Cankur⁸, A. İşleyen⁸, V. Hansen⁹, T. Ulrich⁹, R. Andreasen⁹, X. Hou¹⁰, J. Qiao¹⁰, D. Pröfrock¹¹, D. Wippermann¹¹, T. Zimmermann¹¹, S. Winkler¹², S. Fichter¹², A. Wallner¹², C. Schöpke¹³, I. Johansen¹³, V. Yasin¹³, M.R. Ioan¹⁴, M. Virgolici¹⁴, C. Olaru¹⁴, R. Badea¹⁴, C. Walther¹⁵, A. Lehnert¹⁵, J. Irrgeher¹⁶, S. Lancaster¹⁶, A. Epov¹⁶, S. Chernonozhkin¹⁶, S. Wagner¹⁶, S. Jerome¹⁷, L. Skipperud¹⁷, K.A. Jensen¹⁷, S. Salminen-Paatero¹⁸, I. Vukanac¹⁹, I. Čeliković¹⁹, M. Rajačić¹⁹, M. Djurašević¹⁹, J.K. Nikolić¹⁹, M. Christl²⁰, H. Perez Tribouillier²⁰, D. Malinovskiy²¹, S. Hill²¹, H. Goenaga-Infante²¹, S. Strelkopytov²¹, B. Russell²², H. Mohamud²², H. Thompkins²²

¹Physikalisch-Technische Bundesanstalt (PTB), Braunschweig, Deutschland

²Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung (BAM), Berlin, Deutschland

³Commissariat à l'énergie atomique et aux énergies alternatives (CEA), Saclay, Frankreich

⁴Cesky Metrologický Institut (CMI), Prag, Tschechien

⁵Institut Jožef Stefan (JSI), Ljubljana, Slowenien

⁶Laboratoire national de métrologie et d'essais (LNE), Paris, Frankreich

⁷Sateilyturvakeskus (STUK), Vantaa, Finnland

⁸Türkiye Bilimsel ve Teknolojik Arastırma Kurumu (TÜBİTAK), Ankara, Türkei

⁹Aarhus Universitet (AU), Aarhus, Dänemark

¹⁰Danmarks Tekniske Universitet (DTU), Lyngby, Dänemark

¹¹Helmholtz-Zentrum Hereon GmbH (Hereon), Geesthacht, Deutschland

¹²Helmholtz-Zentrum Dresden - Rossendorf e. V. (HZDR), Dresden, Deutschland

¹³Institutt for energiteknikk (IFE), Kjeller, Norwegen

¹⁴Institutul National de Cercetare-Dezvoltare pentru Fizica si Inginerie Nucleara 'Horia Hulubei' (IFIN-HH), Măgurele, Rumänien

¹⁵Gottfried Wilhelm Leibniz Universität Hannover (LUH), Hannover, Deutschland

¹⁶Montanuniversität Leoben (MUL), Leoben, Österreich

¹⁷Norges miljø- og biovitenskapelige universitet (NMBU), Ås, Norwegen

¹⁸Helsingin Yliopisto (UH), Helsinki, Finnland

¹⁹Institut za nuklearne nauke Vinča Institut od nacionalnog značaja za Republiku Srbiju, Univerzitet u Beogradu, (VINČA), Belgrad, Serbien

²⁰Eidgenössische Technische Hochschule Zürich (ETHZ), Zürich, Schweiz

²¹LGC Limited (LGC), Teddington, Großbritannien

²²NPL Management Limited (NPL), Teddington, Großbritannien

Zusammenfassung

Die Ambitionen des europäischen Grünen Deals, den Eintrag von Umweltschadstoffen auf null zu senken, erfordert die Entwicklung hochempfindlicher Techniken zum Nachweis kleinster Mengen von Schadstoffen und zur Bestimmung der Isotopenverhältnisse. Die Massenspektro-

metrie ist eine Schlüsselmesstechnik für die Bestimmung nicht-radioaktiver Schadstoffe und gewinnt zunehmend an Bedeutung für die Messung langlebiger Radionuklide. Das europäische Forschungsprojekt MetroPOEM, das im Oktober 2022 begann und eine Laufzeit von drei Jahren hat, soll eine metrologisch fundierte Verbindung herstellen zwischen der Zählung radioaktiver Zerfälle und der „Zählung“ von Atomen, mittels verschiedener Massenspektrometrie-Systeme. Dabei sollen die Vorteile, Limitierungen, Messunsicherheiten und Nachweisgrenzen diverser Typen von Massenspektrometern verglichen werden. Um dies zu erreichen, werden im Projekt Referenzmaterialien hergestellt, SI-rückführbare Messverfahren entwickelt und Ringvergleiche durchgeführt.

1 Bedarf

Das Projekt unterstützt die Strategie des Europäischen Metrologie Netzwerkes (EMN) Überwachung der Umweltverschmutzung (POLMO: Pollution Monitoring) und des EMN Strahlenschutz (Radiation Protection). Basierend auf deren Strategien gibt es einen großen Bedarf, die Datenqualität im Rahmen der Überwachung und der Dokumentation der Verschmutzung von Luft, Wasser und Boden zu verbessern. Zusätzlich fehlen die passende Rückführungskette und entsprechende Qualitätskontrollen, so dass die Vergleichbarkeit und die Belastbarkeit der Messungen beeinträchtigt sind.

Um radioaktive Isotope und stabile toxische Elemente in der Umwelt zu bestimmen, sind schnelle, sensitive und kosteneffektive analytische Methoden notwendig. Massenspektrometrische Techniken besitzen ein großes Potenzial, um diese Anforderungen zu erfüllen. Trotz der steigenden Anwendungen der Single-Kollektor ICP-MS (induktiv gekoppelte Plasma-Massenspektrometrie), kann dieses Potenzial nicht vollständig umgesetzt werden, da die Techniken erst mit rückführbaren Multi-Element Referenzmaterialien validiert sein müssen. Allerdings sind Multi-Element Referenzmaterialien zumeist nicht verfügbar und auch Einzel-Element Referenzmaterialien existieren nur für eine geringe Anzahl an Elementen. Gleichwohl werden Referenzmaterialien sehr dringend benötigt, um massenspektrometrische Messungen zu kalibrieren, da es während der Messungen Massendiskriminierungseffekte gibt.

Das technische Komitee Ionisierende Strahlung von EURAMET und das EMN Strahlenschutz veröffentlichten ein Dokument, welches detailliert den metrologischen Bedarf der Rückführbarkeit der Messungen von Radionuklidkonzentrationen in der Umwelt beschreibt. Dieses Thema bezieht sich auf den Punkt des „Null-Schadstoff-Ziels für eine schadstofffreie Umwelt“ aus dem europäischen Grünen Deal. Dementsprechend gibt es einen hohen Bedarf, die modernen massenspektrometrischen Techniken für Messungen von radioaktiven und nicht-radioaktiven toxischen Elementen in Überwachungslaboratorien zu verwenden. Allerdings setzt das voraus, dass zertifizierte Referenzmaterialien rückführbar auf das SI zur Verfügung stehen.

2 Ziele

Das allgemeine Ziel dieses Projektes ist es, die Lücke zwischen den radiometrischen Techniken und der Massenspektrometrie zu schließen und eine Verbindung zwischen der Messung der Aktivität (Bq) und der Stoffmenge (mol) eines Isotops herzustellen. Dabei geht es in erster Linie um die Charakterisierung und Bestimmung der radioaktiven und stabilen Umweltschadstoffe (langlebige Radionuklide und stabile toxische Elemente) durch die Anwendung beider Methoden, wodurch Messunsicherheiten verkleinert und Nachweisgrenzen verbessert werden.

Die wissenschaftliche Arbeit in diesem Projekt gliedert sich in vier Hauptbereiche:

- Ermittlung und Vergleich der Selektivität und der Nachweisgrenzen verschiedener Typen von Massenspektrometern (AMS, HR-ICP-MS, ICP-MS/MS, ICP-QMS, MC-ICP-MS, SIMS,

SNMS, TIMS) unter Verwendung von Aktivitätsnormal-Lösungen für die Elemente Uran, Neptunium, Plutonium und Americium.

- Weiterentwicklung der Messverfahren für die Isotopenverhältnisse stabiler (z.B. Li, B, Cr, Cd, Ni, Sb, Pb) und langlebiger radioaktiver Umweltschadstoffe (z. B. Uran) durch die Entwicklung neuer und verbesserter massenspektrometrischer Methoden mit kleinen Messunsicherheiten.
- Herstellung eines flüssigen (Meerwassermatrix) und eines festen Referenzmaterials (synthetisches Silikat), aufgestockt mit den radioaktiven Isotopen ^{237}Np , ^{234}U , ^{235}U , ^{236}U , ^{238}U , ^{239}Pu , ^{240}Pu , ^{241}Am und ^{90}Sr .
- Entwicklung eines SI-rückgeführten, zertifizierten Referenzmaterials für Isotopenverhältnisse anorganischer Umweltschadstoffe (Li, B, Cr, Cd, Ni, Sb, Pb, U) in Übereinstimmung mit den Anforderungen der Norm EN ISO 17034 (Allgemeine Anforderungen an die Kompetenz von Referenzmaterialherstellern).

3 Fortschritte über dem aktuellen Stand von Wissenschaft und Technik

3.1 Gemessene Selektivitäten und Nachweisgrenzen von verschiedensten Typen von Massenspektrometern für ausgewählte radioaktive Umweltschadstoffe unter Verwendung von Einzel- und Misch-Aktivitätsnormallösungen

Nicht-radiometrische Techniken zeigen ein großes Potenzial für die Messungen von radioaktiven Schadstoffen. Allerdings fehlen die Rückführbarkeit und Validierung dieser Methoden. Dieses Projekt wird über den aktuellen Stand von Wissenschaft und Technik hinaus gehen und die Einsatzmöglichkeiten von verschiedensten Massenspektrometern ermitteln, wie zum Beispiel:

- Massenspektrometer mit Quadrupolmassenfilter und induktiv gekoppelter Plasmaionenquelle (ICP-QMS)
- Massenspektrometer mit Tandemoption und induktiv gekoppelter Plasmaionenquelle (ICP-MS/MS)
- Massenspektrometer mit magnetischem Sektorfeld mit Mehrfachauffänger und induktiv gekoppelter Plasmaionenquelle (MC-ICP-MS)
- Sekundärionen Massenspektrometer (SIMS)
- Thermionenmassenspektrometer (TIMS)
- Beschleuniger Massenspektrometer (AMS)
- Induktiv gekoppeltes Plasma Flugzeit-Massenspektrometer (ICP-TOF-MS)
- Sekundär-Neutralteilchen-Massenspektrometer (SNMS)
- Hochauflösendes Massenspektrometer mit magnetischem Sektorfeld und induktiv gekoppelter Plasmaionenquelle (HR-ICP-SF-MS)
- Massenspektrometer mit dreifachem Quadrupolmassenfilter und induktiv gekoppelter Plasmaionenquelle (ICP-QQQ-MS)

Dies wird erreicht, indem Einzel- und Mischaktivitäts-Normallösungen von Aktiniden (^{237}Np , ^{234}U , ^{235}U , ^{236}U , ^{238}U , ^{239}Pu , ^{240}Pu , ^{241}Am) mit den genannten Massenspektrometern gemessen werden, deren Aktivitäten sich unterhalb der relevanten Freigrenzen befinden. Dabei wird ein Fokus auf die Eigenschaften der Geräte mit derzeitigen Messherausforderungen gelegt. Das Ziel ist es, Nachweisgrenzen unterhalb der derzeitigen gesetzlichen Grenzen zu erhalten, die

relevant für die Umweltüberwachung sind. Zusätzlich sollen isobare Interferenzen reduziert werden und die Ergebnisse mit denen der klassischen Methoden für die Bestimmung von radioaktiven Zerfällen verglichen werden. Dafür wurde ein passender Bereich der Radionuklide für diesen Vergleich ausgewählt. Dieser basiert auf der Halbwertszeit ($500 \text{ a} < T_{1/2} < 4 \times 10^9 \text{ a}$), der Anwesenheit von spektralen Interferenzen, die für eine akkurate Messung überwunden werden müssen, und der genauen Bestimmung des Isotopenverhältnisses ($^{239}\text{Pu}/^{240}\text{Pu}$, $^{236}\text{U}/^{238}\text{U}$), um Isotopenquellen zuordnen zu können.

3.2 SI-rückführbare Messmethoden für Isotopenverhältnisse von stabilen Umweltschadstoffen

SI-rückführbare Isotopenverhältnisse für Lithium, Blei und Uran als Pilotelemente mit relativen Messunsicherheiten $< 0.01 \%$ sollen erzielt werden. Diese Methode basiert auf der *ab-initio* Kalibrierung für SI-rückführbare Isotopenverhältnisse, die keine *a priori* Annahmen beinhaltet und erstmals für das Dreisotopensystem Magnesium im Jahre 2016 veröffentlicht wurde. Dieses Vorgehen wird auf andere Multiisotopensysteme übertragen und wird die Basis sein, um das erste Isotopenreferenzmaterial (Beispiel Lithium) neu zu zertifizieren, deren Isotopenverhältnisse rückführbar auf das SI sind und $u_{\text{rel}} \leq 0.01 \%$ aufweisen. Bei vielen stabilen Elementen sind angereicherte Isotope nicht verfügbar oder der benötigte Unsicherheitsbetrag rechtfertigt nicht die Kosten und den Aufwand, um den Ansatz der gravimetrischen Isotopenmischungen zu verfolgen. Generell würde nur dieser Ansatz gewährleisten Isotopenverhältnisse zu erhalten, die auf das SI rückführbar sind. Weniger kostenintensive und aufwendige Ansätze basierend auf inter-Element Normalisierung werden entwickelt, um quantitative Elementanalytik und Isotopenverhältnisse bestimmen zu können.

3.3 Vergleiche zwischen Laboren mit zwei neuen Referenzmaterialien, die radioaktive Schadstoffe enthalten

Bereits vorhandene radioaktive Referenzmaterialien (RM) und zertifizierte Referenzmaterialien (CRM), die für Umweltproben für massenspektrometrische Messungen verwendet werden können, sind sehr begrenzt vorhanden, und normalerweise enthalten die Zertifikate nicht alle relevanten Parameter, z. B. Isotopenverhältnisse. Dieses Projekt wird über den derzeitigen Stand der Wissenschaft hinaus gehen und zwei Referenzmaterialien (flüssig und fest) entwickeln. Diese RMs werden die radioaktiven Schadstoffe Uran, Neptunium, Plutonium und Americium enthalten und innerhalb eines Laborvergleichs ihre erste Anwendung finden. Dieser Laborvergleich wird die unterschiedlichen Parameter der Massenspektrometer aufzeigen, wie Nachweisgrenzen, benötigte Probenpräparation, Probeneinlassmethoden, Bearbeitungszeit und Unsicherheitsbudgets. Diese Referenzmaterialien sollen zukünftig zur Qualitätssicherung verwendet werden.

3.4 Kalibrierung des single-Kollektor ICP-MS: wässriges zertifiziertes Referenzmaterial mit stabilen Schadstoffen

Ein zertifiziertes Isotopenreferenzmaterial mit Meerwassermatrix soll für die anorganischen Schadstoffe Lithium, Bor, Chrom, Cadmium, Blei und Uran entwickelt werden. Die Konzentrationen dieser Schadstoffe werden im Umweltbereich liegen. Zukünftig soll mit diesem Material die Kalibrierung eines single-Kollektor ICP-MS erfolgen, analytische Prozeduren validiert werden und Messungen zur Qualitätssicherung erfolgen.

4 Folgen und Konsequenzen

4.1 Folgen für die Industrie

Dieses Projekt wird Messmethoden für die Bestimmung und Charakterisierung von radioaktiven Isotopen und stabilen Schadstoffen möglich machen und harmonisieren. Das unterstützt das Ziel des europäischen Grünen Deals, ein „Null-Schadstoff-Ziel für eine schadstofffreie Umwelt“. Institute zur Überwachung der Umwelt oder die Betreiber von Anlagen, die betreffende Schadstoffe (Li, B, Cr, Ni, Cd, Sb, Pb, U, Np, Pu und Am) emittieren, werden von deren Messungen in diesem Projekt sehr stark profitieren. Die in diesem Projekt generierten Informationen werden die Anwender von ICP-MS Geräten darin unterstützen, das passendste Gerät (von AMS, HR-ICP-MS, ICP-MS/MS, ICP-QMS, MC-ICP-MS bis Einzel-Kollektor ICP-MS) für die benötigte Anwendung auszuwählen. Demzufolge können Anwender, die planen in eines der verfügbaren ICP-MS Modelle zu investieren, fundiertere Entscheidungen treffen. Die europaweite Kollaboration wird die Basis für zukünftige Laborvergleiche sein, deren Fokus die Bestimmung von Elementen in verschiedensten Umweltproben sein wird. Dabei werden ICP-MS basierte Techniken gegenüber dem Zählen der Zerfälle beträchtliche Vorteile aufweisen. Die neu entwickelten Referenzmaterialien (RM) adressieren den permanenten Bedarf, passende und relevante Referenzmaterialien (bezogen auf die Matrix und den Analyten) herzustellen. Mit diesen RMs können aktuelle Messmöglichkeiten validiert werden.

4.2 Folgen für die Metrologie

Die wissenschaftlichen Ergebnisse werden sowohl validierte und rückführbare analytische Prozeduren für die Bestimmung von Schadstoffkonzentrationen liefern als auch für die Bestimmung von Quellen und Überwachungen von Kontaminationen von Schadstoffen durch die Messung von Isotopenverhältnissen. Dadurch werden metrologische Lücken geschlossen und eine Harmonisierung der verschiedensten Methoden gewährleistet, die derzeit für die Bestimmung von Isotopenverhältnissen angewendet werden, um Prozesse im Umweltbereich und anthropogene Konsequenzen zu untersuchen.

Die Kombination der Expertise von Isotopenverhältnismessungen aus dem beratenden Komitee für die Stoffmenge: Metrologie in der Chemie und Biologie (CCQM) und Messungen der Radioaktivität aus dem beratenden Komitee für die ionisierende Strahlung (CCRI) wird neue und innovative Methoden für die Anwendung der Massenspektrometrie liefern, um die Bestimmung von Halbwertszeiten zu verbessern.

4.3 Folgen für relevante Standards

Dieses Projekt wird ein verbessertes System und die metrologische Infrastruktur schaffen, die direkt die Anwendungen der folgenden EU-Regularien oder EU-Richtlinien unterstützen:

- Richtlinie 2013/51/EURATOM DES RATES (22. Oktober 2013): Festlegung von Anforderungen an den Schutz der Gesundheit der Bevölkerung hinsichtlich radioaktiver Stoffe in Wasser für den menschlichen Gebrauch
- Richtlinie 2013/59/EURATOM DES RATES (05. Dezember 2013): Festlegung grundlegender Sicherheitsnormen für den Schutz vor den Gefahren einer Exposition gegenüber ionisierender Strahlung und zur Aufhebung der Richtlinien 89/618/Euratom, 90/641/Euratom, 96/29/Euratom, 97/43/Euratom und 2003/122/Euratom
- Konsolidierte Fassung des Vertrags zur Gründung der Europäischen Atomgemeinschaft, Kapitel 3 – Der Gesundheitsschutz, Artikel 35: Jeder Mitgliedstaat schafft die notwendi-

gen Einrichtungen zur ständigen Überwachung des Gehalts der Luft, des Wassers und des Bodens an Radioaktivität sowie zur Überwachung der Einhaltung der Grundnormen. Die Kommission hat Zugang zu diesen Überwachungseinrichtungen; sie kann ihre Arbeitsweise und Wirksamkeit nachprüfen.

- EU-Verordnung Nr. 995/2010 des Europäischen Parlaments und des Rates vom 20. Oktober 2010 über die Verpflichtungen von Marktteilnehmern, die Holz und Holzzeugnisse in Verkehr bringen: Bestimmung der Strontiumisotopenzusammensetzung
- EU-Verordnung Nr. 2729/2000, 2220/2004, 2030/2006, 555/2008 und 1169/2011: Herkunft von Lebensmitteln
- Richtlinie 2009/29/EC, Entscheidung Nr. 406/2009/EC, Richtlinie 2009/31/EC: Klimaforschung ($\delta^{11}\text{B}$), Treibhausgase ($\delta^{13}\text{C}$), Kohlenstoffspeicher (möglicherweise anwendbar für den geologischen Zugang von Strontium und Neodym)

Durch die Einführung neuer Wege für die Rückführungskette, werden verschiedenste Methoden im Bereich der Schadstoffüberwachung kombiniert, so dass die Nachweisgrenzen sinken. Dadurch wird die Umwelt besser geschützt und neue Werkzeuge für komplexe Studien in der Beobachtung des Klimas geliefert.

4.4 Langzeitfolgen für Umwelt und Wirtschaft

Die Integration von äußerst anspruchsvollen MS-Methoden wie beispielsweise die AMS und die SIMS vergrößert beträchtlich die Möglichkeiten zur Umweltüberwachung oder forensische Studien. Dadurch wird auch die Harmonisierung dieser Methoden mit gängigeren angewendeten ICP-MS Systemen gefördert. Die Ergebnisse werden dazu beitragen, hoch-sensitiv und wirtschaftlich diese Umweltverschmutzung zu überwachen. Die Verwendung von ICP-MS Methoden im Bereich der Routine-Umweltüberwachung ermöglicht die schnelle Bestimmung von Multielement-Schadstoffen (sowohl radioaktive als auch stabile toxische Elemente) innerhalb einer Probe. Diese Fähigkeit im Zusammenhang mit dem hohen automatisierten Probendurchsatz von ICP-MS Systemen erlaubt es, mehr Probeninformationen von einer einzigen Messung zu erfassen. Diese Faktoren werden helfen, schnelle und detaillierte Zuordnungen von Umweltschadstoffen innerhalb definierter Gebiete zu erlauben. Demzufolge können Sanierungsstrategien sehr zielsicher und mit einer guten Auflösung erfolgen. Die Kosten für diese Aktivitäten werden reduziert, ohne dass die Wirksamkeit vermindert wird.

Die Entwicklung von validierten und verfolgbareren Methoden wird das gesellschaftliche Vertrauen in die Messung und Quantifizierung von Schadstoffen verbessern. Dies betrifft verschiedenste Sektoren, sowohl die Hersteller, industrielle Stilllegungen, den Langzeit-Rückbau und Sanierung von alten und nicht mehr verwendeten Kernenergieanlagen. Die akkurate Klassifizierung des Abfalls ermöglicht öffentliches Vertrauen und gewährleistet die korrekte Planung für zukünftige Infrastruktur, beispielsweise den Umfang für Sanierungsprogramme.

Die Projektergebnisse werden in verschiedensten Feldern angewendet werden, wie die Routine-Echtzeitüberwachung der Umwelt, Notfallschutz, geologische Datierung und Studien des Klimawandels mithilfe von Isotopenverhältnissen, und andere Aktivitäten, wie die nukleare Forensik, Rückbau von nicht-nuklearer Industrie (wie beispielsweise die Ölindustrie) und radiopharmazeutische Einrichtungen, bei denen langlebige radioaktive Substanzen verwendet werden. Die Kollaborationen zwischen europäischen Laboren, die aus diesem Projekt hervorgegangen sind, werden noch lange über die Projektlaufzeit hinaus weiter gehen.

5 Danksagung

Das Projekt (21GRD09 MetroPOEM) wird finanziert aus dem Forschungsprogramm „Europäische Partnerschaft für Metrologie“ der Europäischen Union, kofinanziert von den Mitgliedsstaaten.

6 Literatur

- [1] <https://www.npl.co.uk/euramet/metropoem>
- [2] <https://www.euramet.org/repository/research-publications-repository-link/>

V010: Flugzeuggestützte Radioaktivitätsmessungen in der Troposphäre mit Hilfe von Dropsonden

D. Ebert¹, A. Wieser², R. Maser³, A. Dalheimer¹

¹Deutscher Wetterdienst (DWD), Offenbach

²Karlsruher Institut für Technologie (KIT), Karlsruhe

³enviscope GmbH, Frankfurt a.M.

Kurzfassung

Der Deutsche Wetterdienst ist gesetzlich beauftragt in Krisenfällen, bei denen radioaktive Stoffe in die Atmosphäre eingebracht werden, luftfahrzeuggestützte Radioaktivitätsmessungen vorzunehmen. Diese sollen der Bestimmung der Größe und der Lage des atmosphärischen Kontaminationsgebietes sowie der Bestimmung von Dosisleistungen und Nuklidvektor dienen.

Für diese Messaufgabe testet der DWD in Kooperation mit dem KIT den Einsatz von Fallsonden, die von einem Flugzeug abgesetzt werden. Dafür wird ein neu entwickelter Dosisleistungssensor in das Dropsondensystem KITsonde integriert. Für August 2023 sind Erprobungsflüge geplant, bei denen der in eine Dropsonde integrierte Dosisleistungssensor aus einem Learjet über einem militärischen Sperrgebiet abgesetzt werden soll.

Ergebnisse und Erfahrungen dieses Erprobungsfluges sind Gegenstand unseres Beitrages für das 16. Fachgespräch zur Überwachung der Umweltradioaktivität in Kiel in 2023.

V054: Schulungen/Weiterbildungen für den Radiologischen Notfallschutz

Training courses for radiological emergency preparedness and response

P. Bieringer¹ und D. Hansmann²

¹*Bundesamt für Strahlenschutz, Freiburg*

²*Bundesamt für Strahlenschutz, Berlin*

Zusammenfassung

Im Strahlenschutzgesetz (StrlSchG) werden die Zuständigkeiten für den Radiologischen Notfallschutz und für Maßnahmen zum Schutz der Bevölkerung in der Bundesrepublik Deutschland geregelt. Die Zuständigkeit auf Bundesebene liegt hier beim Radiologischen Lagezentrum des Bundes, dessen Aufgaben in einer Besonderen Aufbauorganisation (BAO) erfüllt werden. Die Akteure dieser BAO müssen durch Fortbildungen und Trainings auf diese Aufgaben vorbereitet werden.

Summary

The Radiation Protection Act (StrlSchG) pools responsibility for emergency response and measures to protect the public. The diverse tasks can only be fulfilled in a special organisational structure (BAO). The members of this BAO must be prepared for these tasks through further education and training.

1 Was regelt das Strahlenschutzgesetz zum Radiologischen Lagezentrum des Bundes (RLZ)

Das Strahlenschutzgesetz gliedert sich in 4 Hauptteile:

- Teil I: Strahlenschutz bei geplanten Expositionssituationen
- Teil II: Strahlenschutz bei Notfallexpositionssituationen
- Teil III: Strahlenschutz bei bestehenden Expositionssituationen
- Teil IV: Expositionsübergreifende Vorschriften

In Teil II wird in § 106 die Errichtung des Radiologischen Lagezentrums des Bundes (RLZ) durch das BMUV geregelt. Weiter werden dem RLZ in diesem Paragraphen unter anderem folgende Aufgaben zugeordnet:

- die Erstellung eines radiologischen Lagebildes und
- die Übermittlung dieses Lagebildes an die zuständigen Landes- und Bundesbehörden,
- die Koordination von Schutzmaßnahmen und Information der Bevölkerung und
- die Koordination der Messungen des Bundes und der Länder

Bei der Wahrnehmung dieser Aufgaben wird das BMUV vom BfS, vom Bundesamt für die Sicherheit der nuklearen Entsorgung (BASE), von der Gesellschaft für Anlagen- und Reaktorsicherheit (GRS) und vom Bundesamt für Bevölkerungsschutz und Katastrophenhilfe (BBK) unterstützt.

Aufgrund der Komplexität dieser Aufgaben und der Vielzahl der in einem radiologischen Notfall am RLZ beteiligten Institutionen kann der gesetzliche Auftrag des RLZ nicht aus der Allgemeinen Aufbauorganisation (AAO) heraus erfüllt werden. Daher wird der am RLZ beteiligte Teil des Bfs in eine Stabsstruktur, die Besondere Aufbauorganisation (BAO) überführt.

2 Die Stabsstruktur des RLZ-Bund

Beim BMUV ist die Kopfstelle des RLZ mit der Geschäftsstelle und seinen Stäben A (Anlagentechnik), S (Strahlenschutz), J (Recht) und K (Kommunikation) angesiedelt. Die GRS steht Stab A beratend zur Seite.

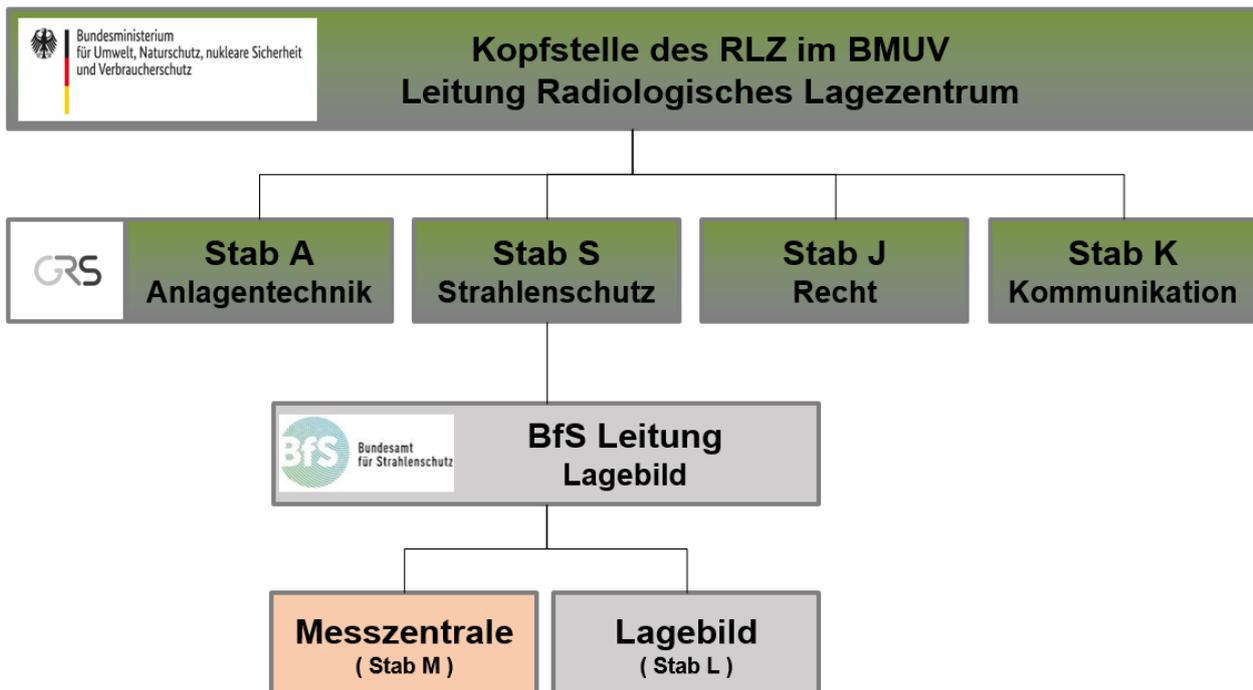


Abb. 1: Stabsstruktur des RLZ

Unter Stab S des BMUV schließt sich die Stabsstruktur des Bfs mit der Leitung Lagebild und den Stäben L (Lagebild) und M (Messzentrale) an.

In der BAO werden zeitweise 9 verschiedenen Rollen im Stab Lagebild und 27 Rollen im Stab Messzentrale besetzt. Die Aufgaben, die in den einzelnen Rollen erfüllt werden müssen, gehören meistens nicht zum Tagesgeschäft der eingesetzten Personen. Um die Einsatzbereitschaft des RLZ vor diesem Hintergrund sicherzustellen, werden die einzelnen Akteure auf ihre Rollen in der BAO durch Schulungen/Weiterbildungen vorbereitet.

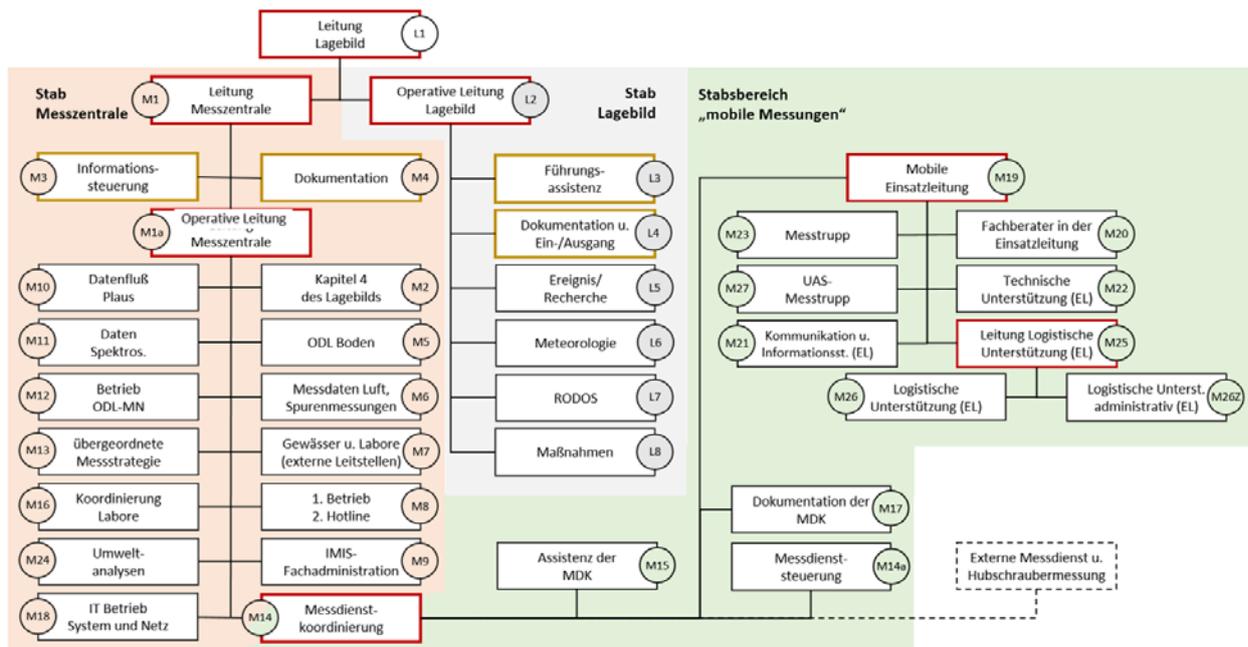


Abb. 2: Organigramm des Stabs L (grau unterlegt) und Stabs M (rot/grün unterlegt) im BfS

3 Die drei Wissensarten nach De Jong & Ferguson-Hessler

In der Pädagogischen Lehre werden verschiedene Arten von Wissen unterschieden. De Jong und Ferguson-Hessler unterscheiden zwischen folgenden 3 Wissensarten:

- Konzeptuelles/Deklaratives Wissen
Deklaratives Wissen ist reines Faktenwissen, wie z. B. Strahlenschutzrechtliche Grundlagen, Aufbau und Organisation des RLZ, Kommunikation im RLZ, Erstellung des Lagebildes und Umgang mit der vorhanden Software und Werkzeugen.
- Prozedurales Wissen
Das prozedurale Wissen ist das Wissen darüber, welche Handlungen zum Erfolg führen. Dieses Wissen kann durch Einüben des Faktenwissens erzielt werden. Das Einüben erfolgt über Trainings und kleine Modulübungen.
- Situatives Wissen
Das situative Wissen ist die Fähigkeit, das Erlernte und Trainierte in realen Situationen sicher anwenden zu können.

4 Schulungen der RLZ-Akteure im BfS

Im Jahr 2020 wurde im BfS ein Schulungskonzept entworfen, um die RLZ-Akteure für die Aufgaben des Strahlenschutzgesetzes § 106 zu qualifizieren und somit die Einsatzbereitschaft sicherzustellen. Aus dem Konzept können vier Schulungskategorien abgeleitet werden:

- Allgemeine Grundlagen des RLZ
- Rollenspezifische Grundlagen
- Außerplanmäßige Schulungen
- Schulungen für Externe

Um Wirksamkeit und Effizienz bei der Erfüllung der allgemeinen Qualitätsziele des RLZ/BfS sicherzustellen, wird das RLZ/BfS nach der DIN EN ISO 9001:2015 zertifiziert. Die Zertifizierung umfasst auch das Wissensmanagement, dessen Kernaufgabe darin liegt, das notwendige Wissen zur Durchführung der Prozesse festzuhalten, aufrechtzuerhalten und für alle Mitarbeiter verfügbar zu machen. Aus diesem Grund wurde eine Rollen-Fortbildungsmatrix erstellt, die für jede RLZ-Rolle festlegt, welche Inhalte aus den jeweiligen Schulungskategorien für den rollenspezifischen Kompetenzerwerb/-erhalt geschult werden sollen. Aus dieser Rollen-Rollen-Fortbildungsmatrix kann sicher jeder Rolleninhaber einen individuellen, auf seine Rolle zugeschnittenen Schulungsplan erstellen.

Die anstehenden Schulungen und das Schulungsformat werden den Rolleninhabern durch eine monatliche Rundmail angekündigt.

Gleichzeitig werden regelmäßig Trainings und Modulübungen angeboten, um die Schulungen zu ergänzen und die Schulungsinhalte zu festigen.

Die Teilnahme an den Schulungen ist freiwillig. Sie wird aber von den Rollenverantwortlichen bei der Besetzung der Rollen berücksichtigt.

5 Lessons learned

Noch im Jahr 2020 starteten die Fortbildungen mit einer zweiwöchigen Schulungsveranstaltung, aufgrund von Covid19 allerdings nur als online-Veranstaltung. Die Erfahrung daraus zeigt, dass es schwierig ist, so viele Personen für diesen Zeitraum aus ihrem Tagesgeschäft zu nehmen. Daher wurde beschlossen, die Schulungen mehr arbeitsbegleitend mit mehr Einzelterminen durchzuführen.

Von April 2022 bis März 2023 wurden ca. 100 Schulungsstunden angeboten, 2/3 davon rein digital oder in hybridem Format. An den meisten Schulungsterminen nahmen ca. 25 bis 30 Personen teil.

Zum Ausbau der Schulungen sollen zukünftig mehr Synergien innerhalb des BfS genutzt werden, da der Bedarf für Fortbildungen nicht nur im Notfallschutz vorhanden ist. Dafür sollen auch weiterhin qualitativ hochwertige digitale Inhalte erstellt werden und durch den Einsatz eines Learning Management Systems zur Verfügung gestellt werden.

6 Ausblick

Zukünftig sollen neue digitale Schulungsformate erprobt werden. Stichworte wären Mobile Learning, Micro Learning, Online-Kollaboration, Virtual und Augmented Reality und Gamification.

Der Themenbereich der Schulungsangebote soll auf Schwerpunktthemen aus dem Strahlenschutz erweitert werden, und die Wissensvermittlung soll auch für Akteure außerhalb des BfS geöffnet werden. Als ein erster Schritt findet 2023 ein gemeinsamer Workshop mit Vertretern des Katastrophenschutzes der Bundesländer statt.

7 Literatur

- [1] de Jong, T., & Ferguson-Hessler, M. G. M. (1996). Types and qualities of knowledge. *Educational Psychologist*, 31(2), 105–113. https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1207/s15326985ep3102_2

Optimierung der Messstrategien

Zusammenfassung der Sitzung: Optimierung der Messstrategien

G. Haase¹, J. Bieringer²

¹Max Rubner-Institut, Kiel

²Bundesamt für Strahlenschutz, Freiburg

In IMIS werden für bestimmte Umweltbereiche erhöhte Cs-137-Aktivitätskonzentrationen gemeldet, die darin oft als „nicht repräsentativ“ geführt werden. Dies wird von Herrn Ernst kritisch hinterfragt, da erhöhte Messwerte auf eine erfolgte Freisetzung hindeuten können. Herr Ernst erläutert, dass anhand radioökologischer Erkenntnisse, der Auswertung von 255 Messungen an Indikatorpflanzen aus Mecklenburg-Vorpommern und der Durchführung von sequenziellen Extraktionen dieser Effekt der erhöhten Cs-137-Aktivitäten einer Erklärung nähergebracht werden konnten. Insbesondere wurde gezeigt, dass anhaltende Trockenheit die Aufnahme von Cäsium (und Kalium) über die Wurzeln begünstigt. Hiervon betroffen sind insbesondere Flachwurzler. Zum Vergleich: Be-7 wird nicht über die Wurzeln aufgenommen und zeigt daher keinen entsprechenden Effekt.

Herr Mirsch vom Deutschen Wetterdienst (DWD) erklärte die unterstützende Funktion der 38 ortsfester in-situ-Gammaspektrometriesysteme des DWD zu den mobilen Messeinheiten des Bundes und der Länder. Die in den Messhütten verbauten HPGe-Detektoren werden elektrisch gekühlt und liefern kontinuierlich Messergebnisse. Aus dem bundesweiten Messnetz liegt somit eine schnelle Übersicht über den Nuklidvektor sowie die Ausdehnung eines kontaminierten Gebietes vor. Allerdings waren die für den Betrieb der Systeme notwendigen Klimageräte für die Messhütten nicht robust genug, was vermehrt Ausfälle und Reparaturen der Klima- und Messtechnik nach sich zog. Letztlich wurde eine langjährige Beschaffungslinie verlassen und eine neue Generation von Messgeräten zusammen mit Komplettlösungen für die Messhütten eingekauft. Die Leistungsfähigkeit und Stabilität dieser neu beschafften Komplettsysteme ist nach dreijährigem Betrieb sehr vielversprechend.

Herr Adam beschreibt den Niedersächsischen Landesbetrieb für Wasserwirtschaft, Küsten- und Naturschutz (NLWKN) als unabhängige Messstelle für die interne Auswertung und für die Ermittlung der Gamma-Ortsdosis mittels Thermolumineszenzdosimetrie (TLD) (REI-Programmpunkte A2.1.1, A.4:1.1). Zurzeit gibt es 300 Dosimeterstandorte mit halbjährlichem Wechselturnus. In Anbetracht der Anzahl der Standorte ermöglicht der Betrieb einer eigenen Auswertestelle flexible Reaktionen, z. B. bei eventuell zusätzlich erforderlichen Wechseln. Es wurde die Labororganisation mit dem entsprechenden Personaleinsatz, besonders die Abläufe im Routinebetrieb sowie in einem potenziellen Störfall aufgezeigt. Die Eigenschaften und Spezifikationen der verwendeten Geräte (Auswertegerät, Dosimeter, Seibersdorf-Kapseln) wurden erläutert. Die Auswertestelle verfügt mit einer Anlage zur Bestrahlung einzelner Dosimeter (Cs-137) über die Möglichkeit, eigene Kalibrierungen durchzuführen.

V006: Umweltracer-Experiment zur Klärung von „nicht repräsentativen“ Messwerten

Environmental trace elements usage to elucidate “not presentable” measurements

T. Ernst^{1,2}

¹Radioaktivitätsmessstelle im Landesamt für Umwelt,
Naturschutz und Geologie, Stralsund, Mecklenburg-Vorpommern

²Radonvorsorge im Landesamt für Umwelt,
Naturschutz und Geologie, Güstrow, Mecklenburg-Vorpommern

Zusammenfassung

Eine Reihe von Messwerten, die als „nicht repräsentativ“ charakterisiert wurde, wirft Fragen zum Umgang mit erhöhten Messwerten auf. Mit der „richtigen“ Arbeitshypothese und einer radioökologischen Plausibilitätsprüfung wird eine Feststellung, ob es zu einer aktuellen Freisetzung von radioaktiven Stoffen gekommen ist, möglich. Die notwendige Analytik ist dabei in einer minimal ausgestatteten IMIS-Messstelle durchführbar. Darüber hinaus erschließt diese Vorgehensweise radioökologisches Basiswissen.

Summary

A set of metrics characterized as ‘not representative’ raises questions about how to handle elevated metrics. With the ‘correct’ working hypothesis and a radioecological plausibility check, it is possible to determine whether there has been a recent release of radioactive substances. The necessary analysis can be carried out in a minimally equipped IMIS measuring point. Moreover, this approach reveals basic radioecological knowledge.

1 Methodik der Überwachung mit Indikatorpflanzen

Eine Arbeitshypothese, welche falsch negative Aussagen der Überwachung der Umweltradioaktivität verhindert, sollte lauten: „Ein Eintrag von radioaktiven Stoffen künstlichen Ursprungs ist vorhanden!“ Die Umsetzung der Arbeitshypothese erfordert eine Begründung, warum eine aktuelle Freisetzung radioaktiver Stoffe ausgeschlossen wird. Dazu ist der Informationsgehalt der IMIS-Proben zugrunde zu legen. Lediglich die Annahme, dass eine ¹³⁷Cs-Vorbelastung statt einer ¹³⁷Cs-Freisetzung vorliegt, könnte zu einer falsch negativen Aussage führen.

1.1 Der Informationsgehalt von IMIS-Proben

Der Informationsgehalt von IMIS-Proben ergibt sich aus der Entnahme von Immissionsstichproben und dem verfolgten Depositionsmodell, das der Immission von freigesetzten radioaktiven Stoffen künstlichen Ursprungs zugrunde gelegt wird. Der Informationsgehalt bezieht sich auf den Zeitraum eines Eintrages, dessen Aktivitätskonzentrationen und dessen Herkunftsweg. Durch die Beprobung von Indikatorpflanzen wird der „langfristige Verlauf“ der Aktivitätskonzentrationen von Radionukliden in der Umwelt anhand von Stichproben erfassbar gemacht. Von Messwert zu Messwert wird jedoch „nur“ der Zeitraum einer Wachstumsperiode verfolgt. Weiterreichende Informationen laufen der Annahme zuwider, dass die Deposition über den Luft-

pfad erfolgte. Das Depositionsmodell und die Arbeitshypothese verlangen somit eine Aussage, in welcher Höhe im Verlauf des Wachstums der Probenbestandteile ein Eintrag luftgetragener radioaktiver Stoffe erfolgt ist.

1.2 Methodik zur Bewertung der Relevanz von Messwerten

Aussagen innerhalb der Betriebsarten Normalbetrieb und Intensivbetrieb sind an die geforderten Nachweisgrenzen (siehe Abb. 1) gebunden. Erst wenn Messwerte die geforderten Nachweisgrenzen überschreiten, ist eine analytische Aussage möglich. Insofern lässt sich die Relevanz von Aktivitätskonzentrationen am Vielfachen der Nachweisgrenzen festmachen. Die geforderten Nachweisgrenzen sind die untere Modellierungsgrenze für die Betroffenheit der Bevölkerung. So ermöglicht der Normalbetrieb, eine jährliche Dosis der allgemeinen Bevölkerung – ab wenigen 10 µSv – ermitteln zu können. Im Intensivbetrieb liegen die Nachweisgrenzen und damit die Jahresdosen um ca. Faktor Zehn höher. Damit ist bei einem Messwert, welcher die geforderte Nachweisgrenze des Intensivbetriebes erreicht, von einer dosisrelevanten Freisetzung auszugehen.

geforderte Nachweisgrenze (NWG)

 abgeleitete NWG für den IMIS-Normalbetrieb

Messwerte

 Faktor zwei = Erwartungswert für Standardabweichungen bei Umweltprozessen

 Freisetzung?; Bei fehlender **Vorbelastung** zu erwägen!

 Messwert >> geforderte NWG

 Freisetzung ist zu postulieren!

 Messwert > NWG für den Intensivbetrieb

 möglicherweise dosisrelevante Freisetzung!



 dosisrelevante Freisetzung ist nachgewiesen!

Abb. 1: Modell vielfacher Nachweisgrenzen

Entsprechend dieser Vorgehensweise ist bei den hier diskutierten Messwerten von einer dosisrelevanten Freisetzung auszugehen, da die gemessenen ¹³⁷Cs-Aktivitätskonzentrationen die geforderte Nachweisgrenze im Normalbetrieb um Faktor 80 überstiegen.

1.3 Prüfung von Messwerten

Nach der Arbeitshypothese ist bei einem Anstieg von Aktivitätskonzentrationen über ein Mehrfaches der geforderten Nachweisgrenzen hinaus eine aktuelle Freisetzung radioaktiver Stoffe zu postulieren. Nur durch eine Überprüfung der Gültigkeit dieses Postulats kann eine Freisetzung ausgeschlossen werden. Eine Charakterisierung von Messwerten als „nicht repräsentativ“ erfüllt diese Bedingungen nicht. Entsprechend der Arbeitshypothese und der AVV IMIS hat gemäß Punkt 8. a bis f eine weitreichende Plausibilitätsprüfung stattzufinden [1]. Die Prüfung umfasst die Bereiche Qualitätssicherung, Depositionsgeschehen und den Einfluss angrenzender Umweltkompartimente. Die Einhaltung der Qualitätssicherung ist eine Mindestaufgabe der Landesmessstelle (vgl. 8. a bis c AVV IMIS). Die Prüfungen, welche nicht den Messwert, sondern die Einordnung in das Umweltgeschehen im Fokus haben, entsprechen einer radioökologischen Prü-

fung. Diese Prüfung obliegt den Leitstellen (vgl. 8. d bis f AVV IMIS). Eine radioökologische Prüfung ist der eigenen Landesmessstelle jedoch ausdrücklich in der AVV IMIS freigestellt. Hierzu wird von der „Leitung der Messstellen“ und der „Betreuung der Messtechnik“ Kenntnisse in der Radioökologie abverlangt [2].

Eine Charakterisierung von hohen Messwerten als nicht repräsentativ, wie sie auch in diesem Fall durch die Leitstelle erfolgt ist, widerspricht der Arbeitshypothese und dem zwingenden Postulat einer erfolgten Freisetzung. Das gilt insbesondere dann, wenn keine entsprechenden Ergebnisse einer Plausibilitätsprüfung vorliegen. Dass mit vorhandenen Mitteln und überschaubarem Aufwand die Gültigkeit des Depositionsmodelles einer Probe überprüft werden kann, wird im Folgenden aufgezeigt.

2 Plausibilitätsprüfung in der Landesmessstelle

Die Einhaltung der Qualitätssicherung und korrekte Durchführung der Analytik konnte über die Einhaltung der Akkreditierungsbedingungen gemäß DIN EN ISO/IEC 17 025 nachgewiesen werden (vgl. 8. a bis c AVV IMIS). Der Ausschluss einer atmosphärischen Freisetzung von ^{137}Cs ist somit über eine radioökologische Plausibilitätsprüfung zu begründen.

2.1 Radioökologische Plausibilitätsprüfung

Die gemessene ^{137}Cs -Aktivitätskonzentration von 44 Bq kg^{-1} (TM) an Nadeln eines Jahrganges ist im Vergleich mit Messwerten aus anderen Bundesländern nicht außergewöhnlich. Somit sind die Messwerte als plausibel einzuschätzen. Gemäß der Arbeitshypothese hat es damit wiederholt atmosphärische Freisetzung von ^{137}Cs auch in anderen Bundesländern, insbesondere in Bayern, gegeben.

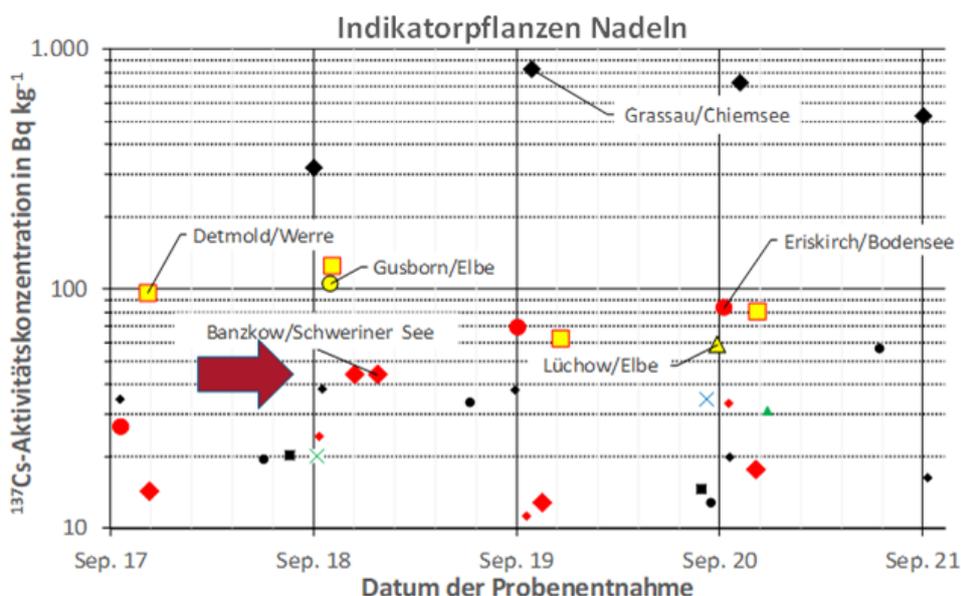


Abb. 2: Verlauf der ^{137}Cs -Aktivitätskonzentrationen an einjährigen Nadeln im Bundesgebiet.

Wahrscheinlicher ist jedoch, dass die Ursache der erhöhten Werte an der im Jahre 1986 erfolgten ^{137}Cs -Deposition der Böden liegt. Anlass für diese Vermutung gibt die Abstufungen der ^{137}Cs -Werte. So wurden entsprechende ^{137}Cs -Vorbelastungen – außerhalb von Bayern – u. a. auch an der Elbe, südlich vom Schweriner See und im entfernteren Wassereinzugsgebiet der Werre ermittelt. Abb. 2 zeigt auch hier erhöhte ^{137}Cs -Aktivitätskonzentrationen in Nadeln auf.

Eine ^{137}Cs -Aufnahme könnte über Resuspension oder Aufnahme aus dem Boden erfolgt sein. Wobei nur die Resuspension dem Depositionsmodell der Probenentnahme entspricht, welches an das Auftreten von nasser und/oder trockener Deposition gebunden ist.

Eine vermehrte Aufnahme von im Boden – vor langer Zeit – deponiertem ^{137}Cs durch die Pflanze resultiert aus einem kapillaren Aufstieg von Bodenwasser. Hier kommt vor allem die Transpiration zum Tragen. Transpiration beschreibt den Übergang des Wassers von der flüssigen in die gasförmige Phase an den Grenzflächen der Pflanze. Bei Nadelbäumen entsteht ein Sog im flachen Wurzelraum durch die zur Verdampfung zur Verfügung stehende Pflanzenoberfläche. Dieser Sog führt sowohl zu einer Akkumulation von Radionukliden im Oberboden als auch zur ^{137}Cs -Aufnahme in die Pflanze hinein. Abb. 3 zeigt entsprechend einen ^{137}Cs -Anstieg in Zeiten von temporärer Trockenheit, die den Sog von Pflanzen verstärkt. Besonders deutlich ist eine temporäre Trockenheit vor dem Auftreten der erhöhten Messwerte aus Banzkow zu erkennen. Ein Schluss auf eine aktuelle Freisetzung wäre somit unzutreffend.

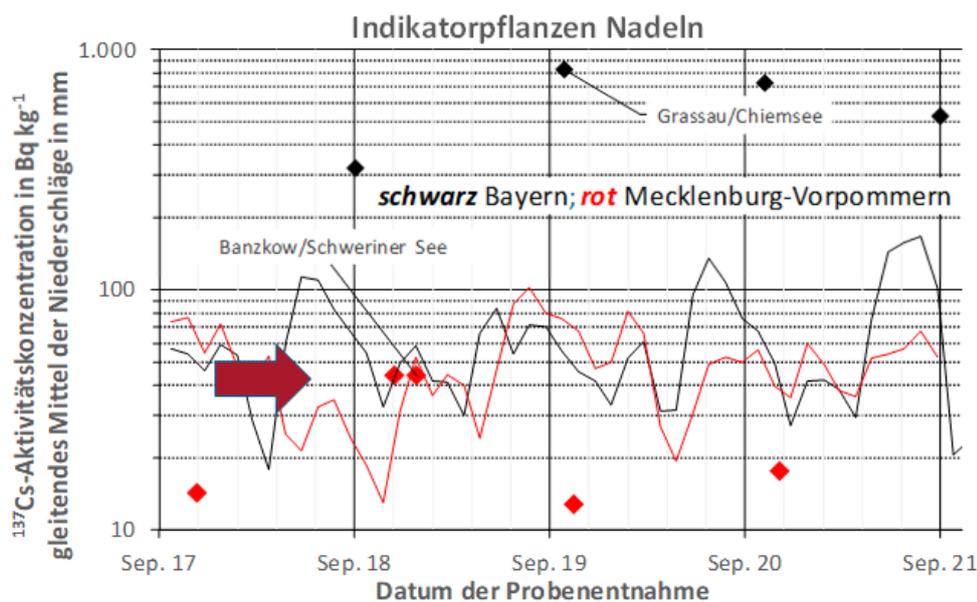


Abb. 3: Verlauf der Aktivitätskonzentrationen und mittleren Niederschlagshöhen

Da der Informationsgehalt von Nadeln – in Summe – ein ganzes Jahr umfasst, die Wachstumsperiode jedoch von Mai bis Oktober abläuft, sollten nur die dort aufgetretenen Niederschlagshöhen berücksichtigt werden.

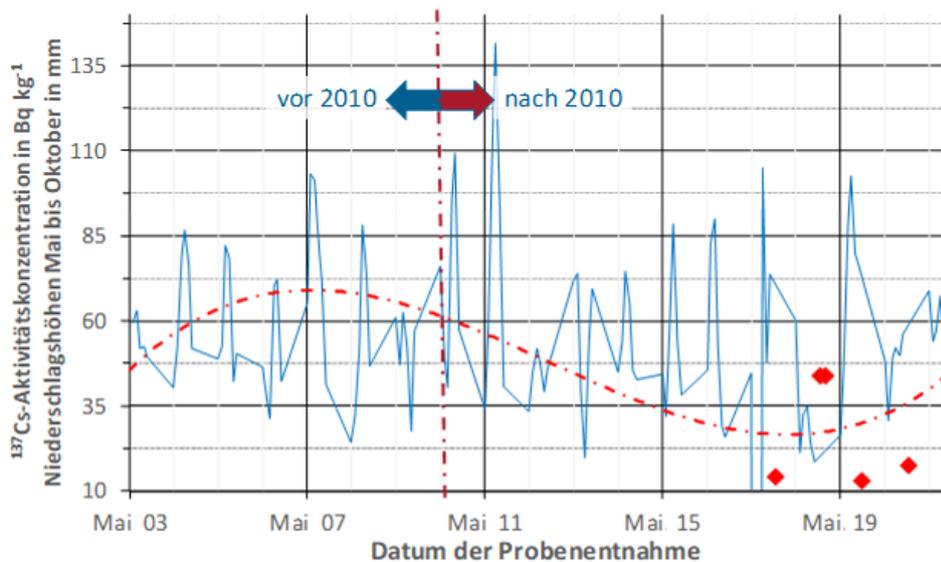


Abb. 4: Verlauf der mittleren Niederschlagshöhen von Mai bis Oktober vor und nach 2010

Abb. 4 zeigt seit dem Jahr 2010 eine Tendenz zu abnehmenden mittleren Niederschlagshöhen.

Die Auswertung von Messwerten an Indikatorpflanzen, welche die geforderte Nachweisgrenze überschritten haben, bildet Abb. 5 für die Zeiträume vor und nach dem Jahr 2010 ab. Ausgewertet wurden 255 Messwerte im Zeitraum von Januar 2003 bis Juni 2019. Davon übertrafen 73 Messungen die geforderte Nachweisgrenze von $0,5 \text{ Bq kg}^{-1}$. Die gelb/blau-Kreis-Segment-Kombination zeigt, dass 71 % der Messwerte für das Gebiet hoher Depositionsdichten – bei Banzkow – ermittelt wurden, wobei das größte Segment die Messwerte an Nadeln seit 2010 widerspiegelt.

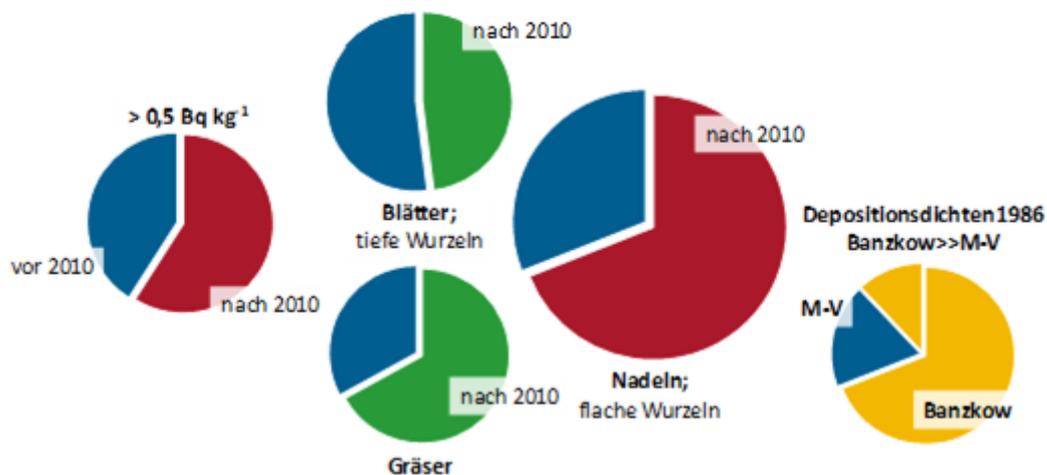


Abb. 5: Verlauf der mittleren Niederschlagshöhen von Mai bis Oktober vor und nach 2010

Mit dem Auswahlkriterium „ ^{137}Cs -Messwert größer als $5,0 \text{ Bq kg}^{-1}$ “ reduziert sich die Anzahl auf 14 Messergebnisse, die alle ihren Ursprung in Banzkow haben. Damit ist ein eindeutiger Bezug zur Vorbelastung aus dem Jahr 1986 hergestellt. Es bleibt aber zu klären, ob die erhöhten ^{137}Cs -Messwerte nicht infolge von Resuspension und einer erneuten luftgetragenen ^{137}Cs -Deposition entstanden sind.

2.2 Tracer-Experiment zur Klärung des Depositionsweges

Um eine luftgetragene ^{137}Cs -Deposition nachzuweisen, ist zu klären, ob die gemessenen ^{137}Cs -Aktivitätskonzentrationen an Indikatorpflanzen aus Sorptionsphänomenen resultierten. Sorptionen sind die Folge von unspezifischen thermodynamisch reversiblen Wechselwirkungen an Oberflächen. Auf der Oberfläche von Nadeln erfolgt immer auch die Adsorption von atmosphärisch gebildetem ^7Be . Eine ^7Be -Aufnahme der Pflanzen über den Boden ist aufgrund der hinreichend kurzen Halbwertszeit von 53,29 Tagen sehr unwahrscheinlich. ^7Be bietet sich als Umwelttracer für den Nachweis einer luftgetragenen Deposition an. ^{137}Cs kann mittels Isotopenverdünnung von Oberflächen durch eine Kaltextraktion freigesetzt werden. Entscheidend sind ein Überangebot an ^{133}Cs und eine hinreichend hohe Kontaktzeit mit der Oberfläche. ^{133}Cs fungiert darüber hinaus auch als Trägermaterial, um weitere Sorptionen zu vermeiden. ^7Be wird der Extraktion mit einem Großteil folgen, auch wenn hier kein nuklidspezifisch wirksamer Träger zugegeben werden konnte. Durchgeführt wird die Kaltextraktion in einem geschlossenen Gefäß, das ständig geschüttelt wird. Das Lösungsmittel besteht aus Wasser, dem CsCl im Massenverhältnis $^{133}\text{Cs} : ^{137}\text{Cs}$ von $1 \times 10^{11} : 1$ zugesetzt wurde.

Um eine bodengetragene ^{137}Cs -Aufnahme nachzuweisen, ist zu klären, ob ^{137}Cs ein Bestandteil der Pflanzenmatrix geworden ist. Als Alkalimetall liegt ^{137}Cs genauso wie Kalium vorwiegend als wasserlösliche Verbindung vor. Gelingt es durch einen Energieeintrag und die Auswahl eines geeigneten Lösungsmittels, die Matrix der Nadeln einer ^{137}Cs -Extraktion zugänglich zu machen, sollte sowohl ^{137}Cs als auch Kalium aus den Nadeln herausgelöst werden können. Da makroskopische Kalium-Mengen aufgrund des hydrodynamisch beeinflussten Konzentrationsgradientens im Boden von der Pflanze aufgenommen werden, entspricht dieser Vorgang einer ^{137}Cs -Aufnahme, wenn ebenfalls ein makroskopischer Träger zur Verfügung steht. Dies ist unter anderem durch Nitrat gegeben, das aus der natürlichen Bodenversauerung entsteht. Folgerichtig kann das Radionuklid ^{40}K als Umwelttracer für den Nachweis einer bodengetragenen ^{137}Cs -Aufnahme eingesetzt werden. Als Lösungsmittel bietet sich die wässrige Lösung der Kaltextraktion an. Der Energieeintrag erfolgt über eine Soxhlet-Apparatur. Im Soxhlet wird das per Kühler kondensierte heiße Lösungsmittel auf das erwärmte Extraktionsgut getropft, bis ein Überlauf das Lösungsmittel wieder in einen Siedekolben, der unterhalb des Soxhlets angebracht ist, zurückführt. Anschließend beginnt der Zyklus erneut, bis das Extraktionsgut wieder vollständig mit Lösungsmittel bedeckt ist. Dabei verhindert eine Extraktionshülse, dass Extraktionsgut den Überlauf zusetzt. Auf eine Extraktionshülse ist jedoch zu verzichten, da deren Filtereigenschaften zu einem Verlust an Radionukliden führen würde. Der Überlauf ist lediglich mit Papierfiltermaterial zu schützen.

Aufgrund anlogem Verhaltens der Nuklid-Tracer-Paarungen $^{137}\text{Cs}/^7\text{Be}$ oder $^{137}\text{Cs}/^{40}\text{K}$ kann nun nach Durchführung der Kaltextraktion und der Soxhlet-Extraktion auf den vorliegenden Depositionsweg geschlossen werden.

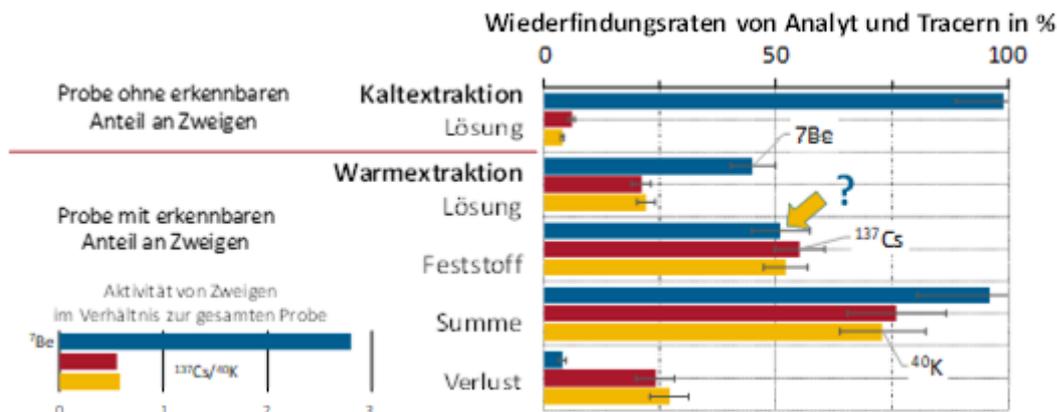
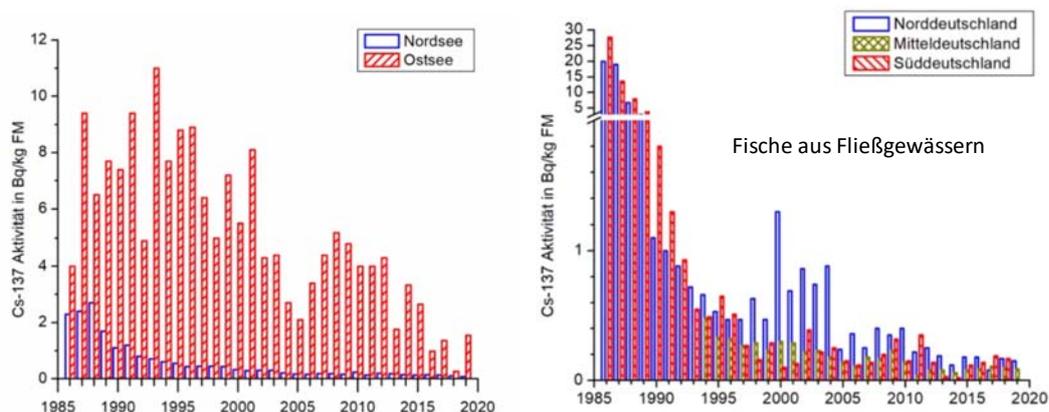


Abb. 6: Ergebnis der ^{137}Cs -Extraktionen

Aus der Abb. 6 ist zu entnehmen, dass die Paarung $^{137}\text{Cs}/^{40}\text{K}$ vergleichbare Wiederfindungsraten aufweist, während die Paarung $^{137}\text{Cs}/^{7}\text{Be}$ signifikante Abweichungen zeigt. Einzig der hohe ^{7}Be -Anteil im Feststoff verwundert. Dieser ist auf einen geringen, aber gegenüber der Probe der Kaltextraktion höheren Anteil an kleinsten Zweigen in der Probe der Soxhlet-Extraktion zurückzuführen. Damit lag ein höherer ^{7}Be -Eintrag in der Warmextraktionsprobe vor, was sich aus den Aktivitätsverhältnissen der Abb. 6 unten links ergibt. Darüber hinaus konnte aufgrund des Fehlens eines Trägers und dem Aufquellen der Zweige eine erneute Sorption an einer vergrößerten Oberfläche erfolgen. Damit ist der Nachweis erbracht, dass trotz hoher ^{137}Cs -Messwerte keine aktuelle ^{137}Cs -Freisetzung erfolgt ist.

2.2 Radioökologisch analoge Vorgänge



M.-O. Aust, P. Nogueira; Leitstelle Johann Heinrich von Thünen-Institut, Institut für Fischereieökologie

Abb. 7: Abfall ^{137}Cs -Aktivitätskonzentrationen in Fischen [3]

Dass Böden als zusätzliche Radionuklid-Quellen für angrenzende Umweltkompartimente fungieren, lässt sich vielfach beobachten. So treten u. a. in Fischen erhöhte ^{137}Cs -Aktivitätskonzentrationen auf, die anscheinend nicht den ^{137}Cs -Zerfallsbedingungen entsprechen, was Abb. 7 zeigt.

Die Tendenzen zwischen Nord- und Ostsee und die erhöhten Werte in norddeutschen Fließgewässern nach dem Jahr 1997 können jedoch durch eine horizontale ^{137}Cs -Verlagerung aus Böden heraus erklärt werden. Dabei bestimmt die Ausprägung der Wassereinzugsgebiete den zeitlichen Verlauf des zusätzlichen ^{137}Cs -Eintrages. Je weniger Neigung die Wassereinzugsge-

biete aufweisen und je größer das Einzugsgebiet ist, umso später erfolgt der ^{137}Cs -Eintrag. Auf eine kleinteilige Verlagerung von ^{137}Cs auf eine Bodenbeobachtungsfläche der kerntechnischen Anlage ASSE wurde bereits in den 14. Fachgesprächen hingewiesen [4]. Die derzeit prominenteste Erscheinung dieser Art ist die Aufklärung des „Wildschwein Paradoxon“, bei der ^{137}Cs im Oberboden aus den Kernwaffentests der 50er und 60er Jahre nachgewiesen werden konnte [5]. Die diesen Phänomenen zugrunde liegenden Mechanismen werden anhand des Umwelttracers ^{129}I in [6] umfassend beleuchtet.

8 Literatur

- [1] Allgemeine Verwaltungsvorschrift zum integrierten Mess- und Informationssystem zur Überwachung der Radioaktivität in der Umwelt (IMIS) nach dem Strahlenschutzvorsorgegesetz (AVV-IMIS) vom 13. Dezember 2006, https://www.verwaltungsvorschriften-im-internet.de/bsvwvbund_13122006_RSII5114349.htm (24.11.2023)
- [2] Empfehlung zur Mindestausstattung von Landesmessstellen nach Strahlenschutzvorsorgegesetz, Arbeitskreis Umweltradioaktivität, dem Fachausschuss Strahlenschutz zur Kenntnis gegeben am 13. Juli 2015, eingestellt im Dokumentensystem IMIS.
- [3] 2.5.5 Fische und Produkte des Meeres und der Binnengewässer [online]. In: Bundesamt für Strahlenschutz, Umweltradioaktivität und Strahlenbelastung: Jahresbericht 2020. Seite 65ff, <https://doris.bfs.de/jspui/bitstream/urn:nbn:de:0221-2023092039261/3/Jahresbericht2020.pdf> (24.11.2023)
- [4] Schriftenreihe Fachgespräch Überwachung der Umweltradioaktivität, 14. Fachgespräch - Freiburg, 24. – 26.03.2009, T. Ernst REI-/IMIS-Daten zum Abgleich radioökologischer Modelle am Beispiel von Böden, Seite 120, (23.11.2023)
- [5] Presseinformation Leibniz Universität Hannover: Das Wildschwein-Paradoxon - endlich gelöst 31.08.2023 <https://www.uni-hannover.de/de/universitaet/aktuelles/online-aktuell/details/news/das-wildschwein-paradoxon-endlich-geloest> (24.11.2023) Originalpublikation: Felix Stäger, Dorian Zok, Anna-Katharina Schiller, Bin Feng, and Georg Steinhauser: Disproportionately High Contributions of 60 Year Old Weapons- ^{137}Cs Explain the Persistence of Radioactive Contamination in Bavarian Wild Boars, American Chemical Society 30.08.2023 <https://doi.org/10.1021/acs.est.3c03565> (24.11.2023)
- [6] T. Ernst, Dezember 2003, Dissertation, Anthropogenes Iod-129 als Tracer für Umweltprozesse - Ein Beitrag zum Verhalten von Spurenstoffen bei der Migration in Böden und beim atmosphärischen <https://www.repo.uni-hannover.de/bitstream/handle/123456789/6212/37628126X.pdf?sequence=1&isAllowed=y> (23.11.2023)

V018: Die TLD-Auswertestelle des Landes Niedersachsen

The TLD Evaluation Centre of the State of Lower Saxony

H. Adam, J. Jahns

Niedersächsischer Landesbetrieb für Wasserwirtschaft, Küsten- und Naturschutz

Zusammenfassung

Der Niedersächsische Landesbetrieb für Wasserwirtschaft, Küsten- und Naturschutz (NLWKN) betreibt im Rahmen der Umgebungsüberwachung der kerntechnischen Anlagen in Niedersachsen als unabhängige Messstelle eine interne Auswertestelle für die Ermittlung der Gamma-Ortsdosis mittels Thermolumineszenzdosimetrie (TLD) (REI-Programmpunkte A2.1.1, A.4:1.1). Die Ermittlung der Gamma-Ortsdosis erfolgt an den Betriebsgeländegrenzen der Anlagen sowie in der näheren Umgebung dieser. Hierfür sind an über 300 Messorten Dosimeter ausgelegt, welche i. d. R. einem halbjährlichen Wechselintervall unterliegen. Zu den routinemäßigen Aufgaben der Auswertestelle gehören neben der Auswertung der Detektorkarten auch die Auswahl und Unterhaltung der normgerechten Auslegeorte, die Kalibrierung des Auswertegerätes, die Ermittlung der in der DIN 25483 festgehaltenen und beschriebenen Korrekturfaktoren sowie die Berichterstattung der ermittelten Messwerte.

Summary

As part of the environmental monitoring of nuclear facilities in Lower Saxony, the Lower Saxony Water Management, Coastal Protection and Nature Conservation Agency operates an internal evaluation centre for the determination of the local gamma dose by means of thermoluminescence dosimetry (TLD) (REI programme items A2.1.1, A.4:1.1). The local gamma dose is determined at the boundaries of the installations and in their immediate vicinity. Dosimeters are installed at more than 300 measuring points for this purpose, which are generally replaced every six months. In addition to evaluating the detector maps, the routine tasks of the evaluation centre also include selecting and maintaining the standard-compliant installation sites, calibrating the evaluation device, determining the correction factors specified and described in DIN 25483 and reporting the measured values determined.

1 Thermolumineszenzdosimetrie (TLD)

Das dotierte Lithiumfluorid (LiF) kann Energie ionisierender Strahlung speichern und diese durch Energiezufuhr als sichtbares Licht wieder abgeben. Durch Erhitzen wird ein Lichtsignal abgegeben. Die Lichtmenge liefert hierbei ein Maß für die aufgenommene Dosis. Der Detektor wird nach dieser Wärmebehandlung wieder in seinen Ursprungszustand zurückversetzt und kann wiederverwendet werden.

2 Umgebungsdosimeter

Die Auswertestelle des NLWKN verwendet Thermo Fisher Scientific 4-Element-TLD-Karten mit Li-7-Kristallen vom Typ 7777. Die vier Kristalle sind eingeschweißt in Teflonfolie, auf einer Trägerplatte befestigt und gekennzeichnet durch einen Barcode. Die Chips bestehen aus Lithiumfluorid, dotiert mit Magnesium und Titan und absorbieren die Strahlung ähnlich dem

menschlichen Gewebe [1]. Innerhalb unserer Auswertestelle nutzen wir nur Detektormaterial aus Li-7, wodurch das verwendete Dosimeter unempfindlich gegenüber der Neutronenstrahlung ist und somit eine gezielte Bestimmung der Gamma-Ortsdosis gewährleistet werden kann.

Abb. 1 zeigt den Kartenhalter TLD-2K-V4 der Seibersdorf Labor GmbH, bestehend aus einer Aluminiumschutzkappe und einem Kunststoffinnenteil, wie er im Rahmen der Umgebungsüberwachung kerntechnischer Anlagen zum Einsatz kommt.



Abb. 1: $H^*(10)$ Umgebungsdosimeter der Auswertestelle

3 Daten/Fakten zur Auswertestelle

Der NLWKN überwacht in Niedersachsen an insgesamt zehn kerntechnischen Anlagen sowie an zwei Industriestandorten die Gamma-Ortsdosis. In Abb. 2 sind die Standorte der zu überwachen- den Anlagen auf der Karte dargestellt. Grundlage für die Auswahl der über 300 Messorte bildet die Richtlinie zur Emissions- und Immissionsüberwachung kerntechnischer Anlagen (REI). So wird die Betriebsgeländegrenze der kerntechnischen Anlagen ebenso überwacht wie die nähere Umgebung dieser. Hierfür sind im 10-km-Umkreis einiger Anlagen (Kraftwerksstandorte) ca. 40 Dosimeter verteilt. Die Messorte sind hierbei, wie in der REI gefordert, nach standortspezifischen Gegebenheiten ausgewählt worden (Windrichtungsverteilung, Bevölkerungsverteilung) [2].

Innerhalb der Auswertestelle sind zeitweise bis zu drei Mitarbeiter mit der Auswertung der Dosimeter, der Unterhaltung der Messpunkte sowie mit der Qualitätssicherung beschäftigt. Der Wechselzeitraum/Bearbeitungszeitraum umfasst vier Arbeitstage pro Anlage. Die Arbeiten in einem Wechselzeitraum umfassen unter anderem das Kontrollieren der Dosimeter auf Beschädigungen etc., messtechnische Vorbereitung der Felddosimeter sowie das Verstauen der Felddosimeter in den Witterungsschutz bzw. in die Kartenhalter.

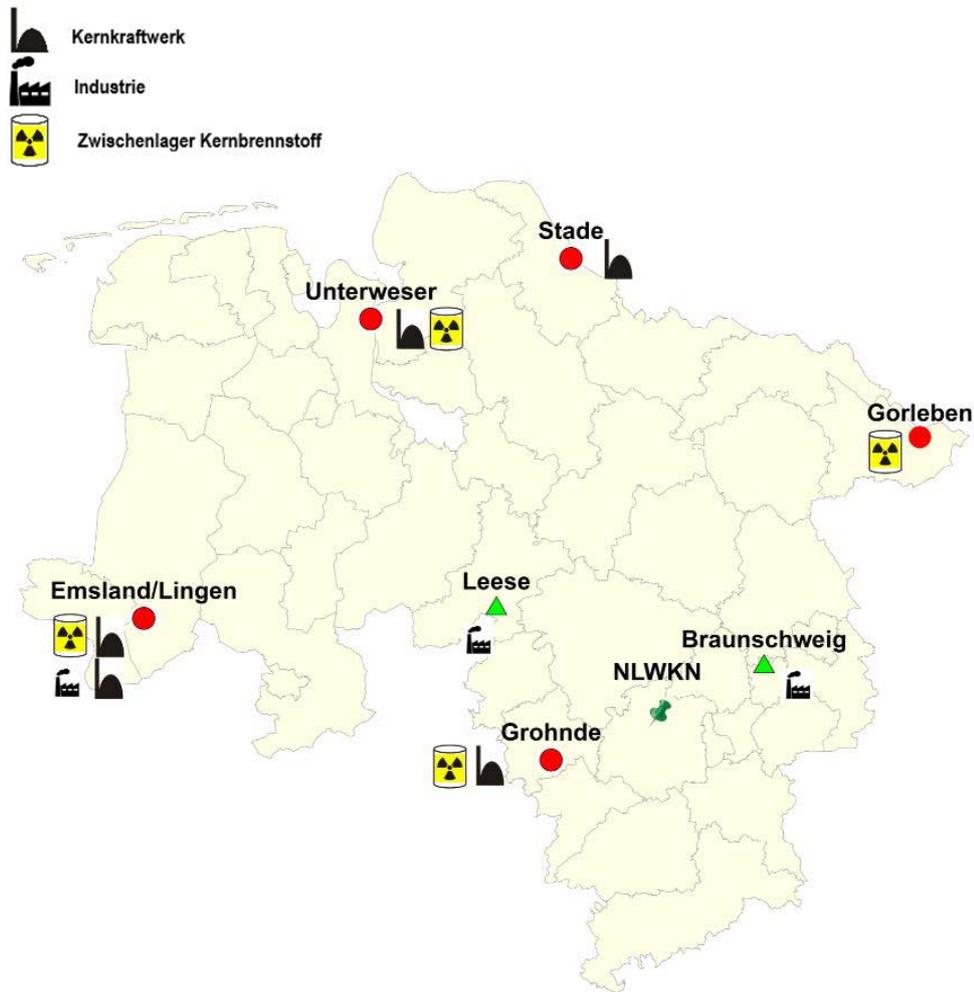


Abb. 2: Standortübersicht der zu überwachenden Anlagen in Niedersachsen

4 Gerätschaften/Equipment

Neben den bereits erwähnten Detektorkarten (LG-7777) der Firma Thermo Fisher Scientific sowie den Kartenhaltern TLD-2K-V4 der Seibersdorf Labor GmbH kommt zur Auswertung der Umgebungsdosimeter in der Auswertestelle ein Harshaw 6600 Plus TLD-Reader zum Einsatz. Dieser verwendet zum Auslesen der Detektorkarten zwei Heizdüsen sowie zwei Photomultiplier [3]. Bedingt durch die Bauart der Detektorkarten findet stets eine „4-Fach-Bestimmung“ der Gamma-Ortsdosis statt. Der Harshaw 6600 Plus TLD-Reader erlaubt einen größtenteils automatisierten Auswerteprozess der jeweiligen TLD-Charge, so dass auf diese Weise bis zu 50 Detektorkarten pro Stunde ausgewertet werden können.

Zur Ansteuerung des TLD-Readers wird die Software „WinRems“ von Thermo Fisher Scientific verwendet. In dieser Software sind die detektorabhängigen Einstellungen hinterlegt. Zu diesen Einstellungen zählen vor allem das sogenannte Time-Temperature-Profil (TTP), der Reader Calibration Factor (RCF) sowie der Element Correction Coefficient (ECC). Das TTP beinhaltet die relevanten Parameter bezüglich der Auswertetemperatur, der Aufheizrate sowie der Haltezeiten der für die Umgebungsüberwachung verwendeten Detektorkarten (LG-7777). So ist für die entsprechenden Detektorkarten eine Aufheizrate von 25 °C/s vorgesehen. Jede Detektorkarte wird in der sog. „Preheat-Phase“ vor der eigentlichen Auswertezeit auf 50 °C vorgeheizt. Innerhalb der Auswertezeit, der sogenannten „Acquire-Time“ wird jede Detektorkarte von 50 °C auf

300 °C erhitzt. Innerhalb dieser Zeit werden alle, für die Bestimmung der Dosis notwendigen Daten gesammelt. Abb. 3 zeigt eine beispielhafte Ausgabedatei der Auswertung einer LG-7777 Detektorkarte (Glühkurve).

Der Auswertestelle steht zudem eine betriebsinterne Cs-137- Bestrahlungsanlage zur Verfügung. Diese wird zum einen für die Kalibrierung des Auswertegerätes (Erstellung RCF) sowie für die Bestrahlung der Kontrolldosimeter (bspw. Korrektionsfaktor für Klima und Langzeit) benötigt. Der Betrieb dieser Bestrahlungseinrichtung erfordert von der Auswertestelle zusätzliche, strahlenschutztechnische Umsetzungen (bspw. die Berufung von Strahlenschutzbeauftragten, Personendosimetrie etc.).

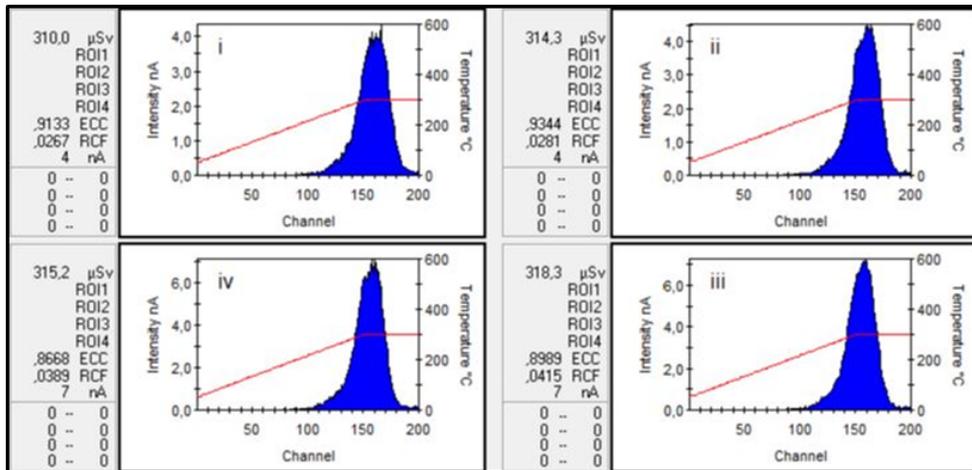


Abb. 3: Beispiel für eine Auswertung einer LG-7777 Detektorkarte (sog. „Glühkurven“)

Literatur

- [1] Materialprüfungsamt Nordrhein-Westfalen, (2022): Personendosimeter MPA TL-DOS GD 01, Technisches Datenblatt. Online verfügbar: https://www.mpanrw.de/fileadmin/user_upload/pdf/Strahlenschutz/Downloads/Datenblaetter/TL-DOS_Ganzkoerperdosimeter.pdf (letzter Zugriff: 18.09.2023)
- [2] REI, 2005: Richtlinie zur Emissions- und Immissionsüberwachung kerntechnischer Anlagen vom 7. Dezember 2005 (GMBI. 2006)
- [3] Schrader, J. (2019): Anpassung der Auswertung der Thermolumineszenzdosimetrie auf die DIN 25483, Projektarbeit T3_2000, Hildesheim, Duale Hochschule Baden-Württemberg

V039: Radioaktivität in Klärschlamm - Erfassung des Forschungsstandes unter Einbindung der Messdaten der IMIS-Datenbank

Radioactivity in sewage sludge - recording the state of research using measurement data from the IMIS database

V. Ustohalova¹, R. Gellermann²

¹ *Öko-Institut e.V., Darmstadt, Deutschland*

² *Nuclear Control & Consulting GmbH, Braunschweig*

Zusammenfassung

Im Rahmen der Überwachung der Umweltradioaktivität wird in Deutschland seit mehreren Jahrzehnten das Abwasser von Kläranlagen und der in Kläranlagen anfallende Klärschlamm untersucht. Nationale und internationale wissenschaftliche Arbeiten haben neue Erkenntnisse ergeben, die bisher kaum berücksichtigt werden konnten. Mit dem BfS-Forschungsvorhaben 3622S52530 wurde deshalb der nationale und internationale Stand der Wissenschaft auf diesem Gebiet erfasst und der Datenbestand der Datenbank IMIS ausgewertet. Mit den Ergebnissen werden Vorschläge zur Weiterentwicklung des Messprogramms im Rahmen von IMIS entwickelt.

Summary

As part of the monitoring of environmental radioactivity, the wastewater from sewage treatment plants and the sewage sludge produced in sewage treatment plants have been analysed in Germany for several decades. National and international scientific work has produced new findings that have hardly been taken into account until now. The BfS research project 3622S52530 has therefore recorded the national and international state of scientific knowledge in this field and analysed the data in the IMIS database. The results are used to make proposals for the further development of the IMIS measurement program.

1 Einleitung

Durch die intensivere Überwachung der Umweltradioaktivität nach dem Reaktorunfall von Tschornobyl im Jahr 1986 wurde auch die Radioaktivität in Abwasser und Klärschlamm intensiver überwacht. Der Schwerpunkt dieser Überwachung lag auf den Spaltprodukten des Fallouts. In Deutschland wurde der Wissenstand zu dem Thema im Jahr 1995 im Merkblatt ATV-M 267 des ATV Regelwerks Abwasser Abfall zusammengefasst.

Nach dem Reaktorunfall in Fukushima wurden, basierend auf den Kenntnissen der Überwachungsprogramme, vor allem in Japan intensive Untersuchungen zum Verhalten von Radionukliden in Abwasser und Klärschlamm vorgenommen. Unabhängig davon wurden internationale Forschungsarbeiten zur Untersuchung von nuklearmedizinischen Radionukliden im Klärschlamm vorgenommen, wobei ein Großteil dieser Arbeiten auf I-131 ausgerichtet war.

Um den Stand der Forschung bei der Weiterentwicklung von Überwachungsprogrammen zu berücksichtigen, wurde im Rahmen eines BfS-Vorhabens der aktuelle nationale und internationale Stand zur Überwachung der Radioaktivität im Abwasser und im Klärschlamm recherchiert und analysiert.

2 *Stand der Wissenschaft*

Die wissenschaftliche Literatur enthält inzwischen eine Vielzahl von Untersuchungen zu Vorkommen und Verhalten von Radionukliden in Kläranlagen sowie der Modellentwicklung. Die Arbeiten untersuchen die Radionuklide sowohl im Abwasser als auch im Klärschlamm. Die Modellierung umfasst die Verlagerung der Radionuklidkontamination in der Kanalisation und während der Abwasserbehandlung sowie im Klärschlamm. Hauptmethode der messtechnischen Untersuchungen ist die Gammaskopimetrie. In der Regel werden aber nicht alle Radionuklide berichtet, die gammaskopimetrisch erfasst werden können. Insbesondere natürliche Radionuklide werden in der Regel nur miterfasst, wenn sie wie Be-7 als Indikator von Fallout oder K-40 als Indikator von Salzgehalten dienen können. Schwerpunktmäßig werden zum einen Spaltprodukte, vor allem Cs-137 und Cs-134, untersucht, die durch Reaktorunfälle von Tschernobyl oder Fukushima in die Umwelt gelangten. Vor allem in den Jahren kurz nach den Unfällen war es möglich, durch die Bestimmung von Cs-134/Cs-137 eine Zuordnung zu den jeweiligen Quellen zu treffen [1], [2].

Eine von Fischer und Yoko 2014 [3] publizierte Auswertung von Trends der Cs-137-Aktivität im Klärschlamm in Mitteleuropa nach 1986 und in Japan nach dem Fukushima-Unfall 2011 zeigte große Ähnlichkeiten. In beiden Fällen nahm die Cs-137-Aktivität im Klärschlamm zunächst mit einer Halbwertszeit von einem Jahr ab, verlangsamte sich aber später. Vor allem in den Zeiten, in denen noch eine radioaktive Wolke existiert, sind die Messdaten deutlich vom Niederschlag beeinflusst. Die absoluten Werte der Kontamination hängen aber von der Art der Schmutzwasserkanalisation ab. Die in Japan übliche Trennung von Regenwasser und Abwasser führte zu niedrigeren Aktivitätseinträgen in das Schmutzwasser und damit zu geringeren spezifischen Aktivitäten im Klärschlamm.

Ein anderer Forschungsschwerpunkt sind nuklearmedizinisch genutzte Radionuklide. Diese Radionuklide werden mit hohen Aktivitäten appliziert und gelangen über Ausscheidungen der Patienten in das Abwasser.

Erlandsson et al.[4] stellten bei Untersuchungen in Lund (Schweden) fest, dass die mittlere Verweilzeit des Abwassers in der Kläranlage 1 bis 2 Tage und die des Klärschlammes 3 bis 4 Wochen beträgt. Von der in die Kläranlage gelangenden Aktivität von Be-7, Cr-51, Cs-134 und Cs-137 werden zwischen 37 % und 56 % mit dem Klärschlamm ausgetragen. Für Ru-106 und I-131 lagen diese Werte deutlich niedriger, nämlich zwischen 6 % und 14 %.

Aus den in Gellermann et al. [5] aufgeführten Daten aus Deutschland geht hervor, dass, bezogen auf die Einwohnerzahl, ca. 550 bis 600 kBq/a I-131 appliziert werden, von denen ca. 30 kBq/a (5 %) je Einwohner in das Abwasser gelangen. Ein signifikanter Teil davon verbleibt auch nach der Reinigung im Wasser und wird in die Flüsse eingeleitet.

Untersuchungen von Barci-Funel et al. [2] in einer kommunalen Kläranlage in Nizza (Frankreich) ergaben, dass bei I-131 ca. 1 %, bei Tl-201 ca. 0,5 bis 1 %, und aufgrund der sehr kurzen Halbwertszeit bei Tc-99m nur 0,002 % der den Patienten applizierten Aktivität im Klärschlamm gefunden werden. Die 1 % I-131 im Klärschlamm sind aufgrund der relativ geringen Rückhaltung von I-131 in guter Übereinstimmung mit den 5 % I-131, die für Deutschland als Ausscheidung errechnet wurden (s. oben).

Auch Mulas et al. [6] stellten fest, dass die massive Reduktion der physikochemischen Parameter wie COD oder BOD₅ während der Abwasserbehandlung nur einen geringen Einfluss auf die Rückhaltung von Tc-99m und I-131 hat. Die entscheidende Rolle spielen Halbwertszeit und Sorption sowie die rückhaltende (Speicher-)Wirkung einzelner Behandlungsstufen.

Die Ergebnisse von Zannoni et al. [7] aus Norditalien fügen sich in die hier zusammengestellten Befunde ein, indem sie zeigen, dass I-131 signifikant positiv mit der Bevölkerungsdichte korreliert. Eine negative Korrelation besteht mit der Aktivitätskonzentration in Klärschlammproben, weil größere Anlagen durch ein höheres Schlammalter gekennzeichnet sind.

3 Auswertungen der IMIS-Daten

Im Rahmen des IMIS-Programms werden Messungen an Abwasser und Klärschlamm durchgeführt. Vom BfS wurden die Daten der IMIS-Datenbank für den Zeitraum Januar 2016 bis Dezember 2022 zur Auswertung zur Verfügung gestellt. Die Datensätze enthalten Ergebnisse aus drei unterschiedlichen Messregimen, wobei ca. 95 % der Daten aus dem „Normal-/Routinebetrieb“ stammen, ca. 3 % aus Messungen im „Störfall-/Intensivbetrieb“ und der Rest aus Landesmessprogrammen.

Die Datensätze enthalten beim Abwasser 95 Parameter / Radionuklide und beim Klärschlamm 87 Parameter / Radionuklide. Von diesen Radionukliden wurde ca. die Hälfte (48 im Klärschlamm, 44 im Abwasser) nur bei Messungen im „Störfall-/Intensivbetrieb“ deklariert. Dabei handelt es sich zumeist um Spaltprodukte, die mittels Gammaskopie untersucht wurden. In keinem Fall wurden die Radionuklide auch positiv detektiert.

Im Normalbetrieb werden die sieben Radionuklide Ce-144, Co-60, Cs-134, Cs-137, I-131, K-40 und Ru-103 regelmäßig untersucht, wobei nur für K-40 und I-131 häufig auch Messwerte über der Nachweisgrenze erhalten werden. Für weitere 32 Radionuklide / Parameter im Abwasser und 34 Radionuklide / Parameter im Klärschlamm gibt es statistisch verwertbare Datensätze.

Im Weiteren werden beispielhaft einige Befunde der Auswertungen vorgestellt.

Da die Detektion von Radionukliden in hohem Maße von der jeweils erreichten Nachweisgrenze anhängt, wurde die Nachweisgrenzen der Messregimen ausgewertet. In Abb. 1 sind beispielhaft für Spaltprodukte die Verhältnisse der mittleren Nachweisgrenzen im Messregime „Störfall“ bzw. Messregime „Land“ zur mittleren Nachweisgrenzen im Messregime „Normal“ dargestellt.

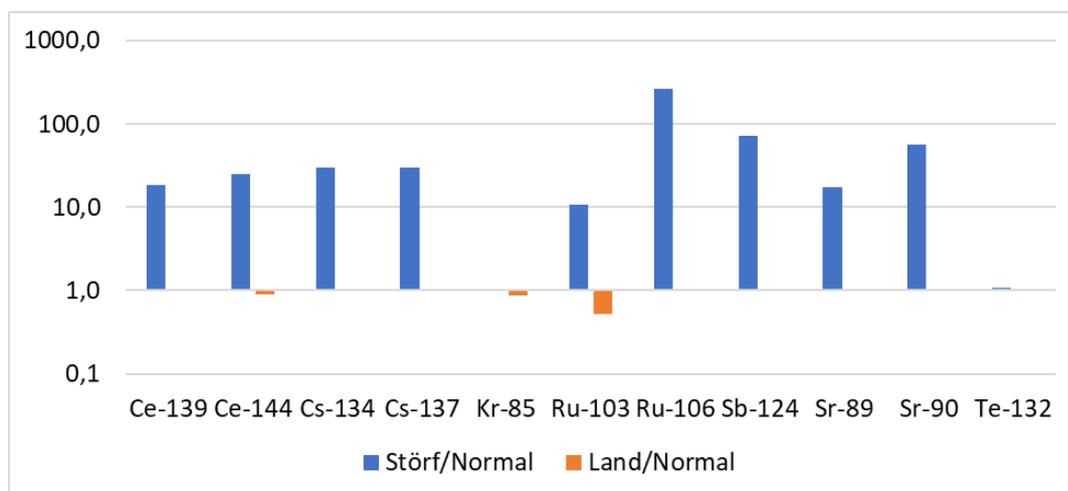


Abb. 1: Verhältnis der mittleren Nachweisgrenzen im Messregime „Störfall“ bzw. Messregime „Land“ zur mittleren Nachweisgrenzen im Messregime „Normal“

Das Diagramm macht deutlich, dass im Messregime „Störfall“ die Nachweisgrenzen für diese Radionuklide zumeist eine Größenordnung höher liegen als im Normalregime. Geringere Nachweisgrenzen werden häufig im Messregime „Land“ ausgewiesen, das allerdings jeweils nur

wenige Datensätze umfasst. Ähnliche Befunde ergeben sich für die meisten anderen im Normalbetrieb untersuchten Radionuklide.

Der Einfluss des Messregimes auf die Messergebnisse wird auch bei der Auswertung von Messdaten der medizinischen Radionuklide im Abwasser deutlich. Abb. 2 zeigt Box-Whisker-Plots für I-131, Lu-177 und Tc-99m, wobei für I-131 und Lu-177 (allerdings nur 1 Wert) auch Daten aus dem Messregime „Störfall“ berücksichtigt wurden.

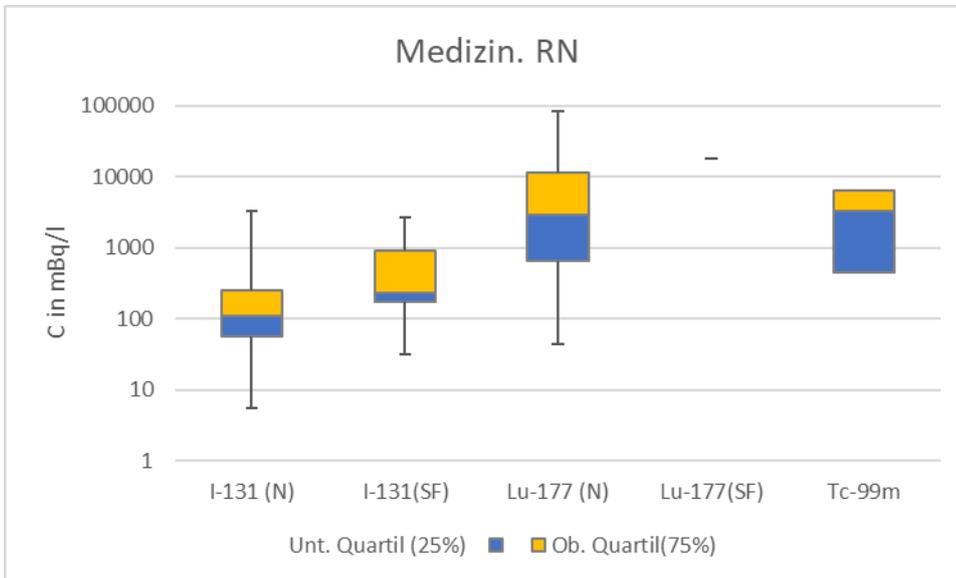


Abb. 2: Box-Whisker-Plots von Datensätzen für I-131, Lu-177 und Tc-99m im Abwasser im Messregime „Normal“ (Kürzel(N)) und „Störfall“ (Kürzel(SF))

Eine Auswertung der Messdaten von natürlichen Radionukliden zeigt Abb. 3. Dargestellt sind Box-Whisker-Plots von Datensätzen für die drei natürlich vorkommenden Uranisotope sowie für Ra-226 und seine kurzlebigen Zerfallsprodukte Pb-214 und Bi-214 im Abwasser im Messregime „Normal“.

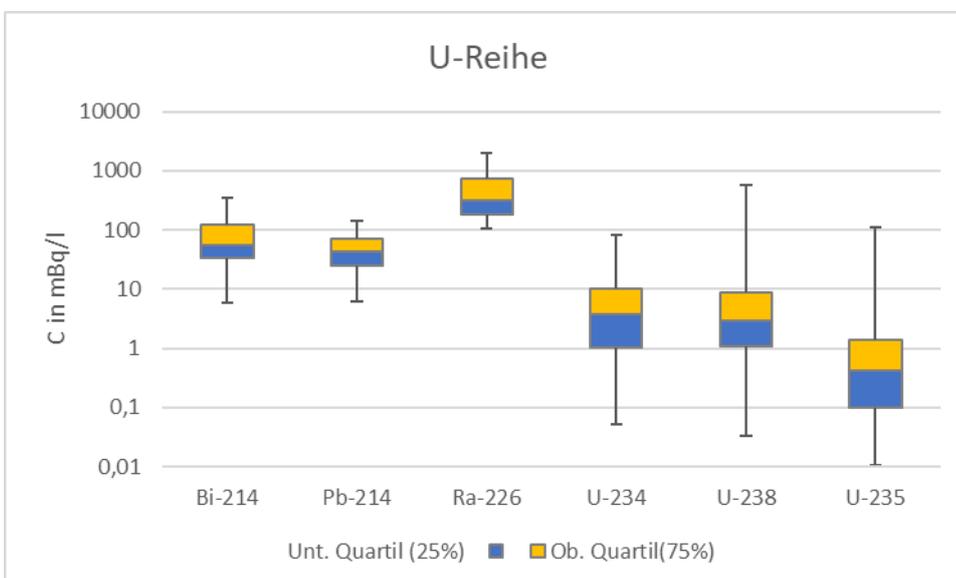


Abb. 3: Box-Whisker-Plots von Datensätzen für Radionuklide der U-238-Zerfallsreihe im Abwasser im Messregime „Normal“

Während die Uranisotope U-238, U-234 mit einem Wertebereich zwischen 1 mBq/l bis 10 mBq/l sehr gut mit dem im Trinkwasser vorkommenden Werten in Beyermann et al. [8] übereinstimmen, liegen die Aktivitätskonzentrationen von Ra-226 und seinen Zerfallsprodukten deutlich höher.

4 Schlussfolgerungen

Aus der Recherche der nationalen und internationalen Forschung geht hervor, dass Klärschlämme empfindliche Indikatoren für die freigesetzten radioaktiven Stoffe nach einem Fallout oder auch aus der Medizin sind.

Die hier vorgestellten Ergebnisse zu Auswertungen der IMIS-Daten belegen, dass eine Weiterentwicklung der Messprogramme hinsichtlich der Überwachung der Umweltradioaktivität im Abwasser und Klärschlamm nötig ist. Dabei sollte u. a. geklärt werden:

- welche Radionuklide für eine Überwachung möglicher Einträge als Folge kerntechnischer Unfälle oder Ereignisse notwendig und hinreichend sind,
- wie Entwicklungen der Nuklearmedizin und der Forschung hinsichtlich neu verwendeter Radionuklide berücksichtigt werden können und
- in welchem Maße natürlich vorkommende Radionuklide systematisch erfasst werden sollten.

5 Danksagung

Diese Arbeit wurde im Rahmen des BfS Vorhabens 3622S52530 angefertigt und gefördert.

6 Literatur

- [1] Kamei-Ishikawa, N., Ito, A., Tagami, K., & Umita, T. (2013). Fate of radiocesium in sewage treatment process released by the nuclear accident at Fukushima. *Chemosphere*, 93(4), 689-694. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2013.06.012>
- [2] Barci-Funel G., Dalmasso J., Magneb J. and Ardisson, G.(1993). Simultaneous detection of short-lived ²⁰¹Tl, ⁹⁹Tcm and ¹³¹I isotopes in sewage sludge using low energy photon spectrometry. [https://doi.org/https://doi.org/10.1016/0048-9697\(93\)90057-D](https://doi.org/https://doi.org/10.1016/0048-9697(93)90057-D)
- [3] Fischer, H. W., & Yokoo, Y. (2014). Preliminary comparison of radioisotope concentration in sewage sludge after the Fukushima and Chernobyl accidents. *European Geosciences Union General Assembly 2014, EGU 2014; Energy Procedia* 59 (2014) 256 – 262. <https://doi.org/10.1016/j.egy-pro.2014.10.375>
- [4] Erlandsson, B., Bjurman, B., & Mattsson, S. (1989). Calculation of radionuclide ground deposition by means of measurements on sewage sludge. *Water, Air, and Soil Pollution*, 45(3), 329-344. <https://doi.org/10.1007/BF00283462>
- [5] Gellermann, R. Fischer, H. Ulbreicht, S, Buchholz, O (2013). Messtechnische und theoretische Abschätzung des Eintrags von I-131 in die OSPAR-Regionen aufgrund der nuklearmedizinischen Anwendungen von Radioiod in Deutschland. BfS-Vorhaben 3611S70013. Abschlussbericht. 02.12.2013

- [6] Mulas, D., Camacho, A., Garbayo, A., Devesa, R., & Duch, M. A. (2019). Medically-derived radionuclides levels in seven heterogeneous urban wastewater treatment plants: The role of operating conditions and catchment area. *Sci Total Environ*, 663, 818-829. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.01.349>
- [7] Zannoni, D., Cantaluppi, C., Ceccotto, F., Giacetti, W., & Lovisetto, B. (2019). Human and environmental factors affecting the activity of ¹³¹I and ¹³⁷Cs in urban wastewater: A case study. *Journal of Environmental Radioactivity*, 198, 135-146. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.jenvrad.2018.12.026>
- [8] Beyermann, M., Bünger, T., Gehrcke, K., Obrikat, D. Strahlenexposition durch natürliche Radionuklide im Trinkwasser in der Bundesrepublik Deutschland. BfS-SW-06/09. URN: urn:nbn:de:0221-20100319945

Optimierung der Messstrategien, Datenmanagement

V047: Das ergänzende Dokument „Messstrategie“ zum Allgemeinen Notfallplan

B. Blaum¹, M. Bleher²

Bundesamt für Strahlenschutz (BfS), ¹Freiburg und ²Neuherberg

Kurzfassung

Für den Notfallschutz ist eine schnelle Bewertung von radiologischen Messdaten und deren zügige Weitergabe mit Hilfe des radiologischen Lagebilds essenziell. Dafür müssen geeignete Übergabeverfahren zum radiologischen Lagezentrum im Vorfeld festgelegt und – zum Beispiel in gemeinsamen Notfallschutz-Übungen – regelmäßig erprobt werden. Weitere Voraussetzungen für die effiziente Erfassung von Messdaten im radiologischen Notfall sind das Vorhalten geeigneter Kapazitäten und die Etablierung von Verfahren zur Qualitätssicherung bei den Messdiensten und Laboren sowie eine vorausschauende Festlegung von sinnvollen Mengengerüsten und Messpunkten (wie sie bereits im AVV IMIS-Intensivprogramm oder der REI festgelegt sind).

Diese technischen und organisatorischen Anforderungen stellen insbesondere im Bereich der mobilen Messungen eine große Herausforderung dar. Festlegungen im Bereich der Datenformate und -übertragungswege müssen zwischen den beteiligten Behörden und Organisationen abgestimmt werden und für künftige Entwicklungen anpassbar bleiben.

Der Allgemeine Notfallplan des Bundes soll deswegen von sog. ergänzenden Dokumenten begleitet werden, die selbst nicht Teil der AVV sondern flexibler anpassbar sind. Für den Bereich der Messstrategie wurde das ergänzende Dokument „Übergeordnete Messstrategie“ entworfen, in dem u. a. eine Priorisierung unterschiedlicher Messungen durch das radiologische Lagezentrum des Bundes in verschiedenen Phasen eines überregionalen Notfalls vorgenommen wird.

V051: Messung von Uranisotopen mittels ICP-MS

S. Bock

NLWKN, Hildesheim, Deutschland

Kurzfassung

Der NLWKN (Niedersächsischer Landesbetrieb für Wasserwirtschaft, Küsten- und Naturschutz) betreibt ein Umweltlabor, in dem unter anderem Umweltproben auf ihre Belastung mit Uran untersucht werden.

Die Bestimmung der Uranisotope erfolgt bisher über die alphaspektrometrische Untersuchung der Probe. Diese Methodik birgt jedoch einige Nachteile. Die Messzeiten zur Bestimmung der Isotope sind relativ lang. Außerdem ist eine aufwendige Aufbereitung der Proben für die Messung nötig.

Für die Elementanalyse verschiedener Proben besitzt das Umweltlabor des NLWKN ein Massenspektrometer mit induktiv gekoppeltem Plasma (ICP-MS). Mit diesem können die verschiedenen Isotope ebenfalls, in einem Bruchteil der Messdauer, bestimmt werden.

In dem Vortrag werden nun die Ergebnisse von Messungen mit beiden Methoden aus den Jahren 2005 – 2023 verglichen. Untersucht wurden verschiedene Probenarten unterschiedlicher Probenahmestellen, meist aus dem IMIS-Messprogramm. Es werden Wasser-, Klärschlamm- und Bodenproben ausgewertet. Zudem werden Messwerte einer Doppelmessung weiterer Proben aus dem Jahr 2022 in die Ergebnisse einbezogen. Hierbei wurden unter anderem der Einfluss verschiedener Aufschlüsse auf die Qualität der Messung betrachtet.

Die Ergebnisse dieser Untersuchung sollen vorgestellt werden. Hierbei werden neben den nötigen Bedingungen, um eine qualitätssichernde Messung der Uranisotope mit der ICP-MS vornehmen zu können, auch die Grenzen der beiden verschiedenen Methoden aufgezeigt.

V055: Ideen und Impulse zur durchgängigen Digitalisierung von Umweltüberwachungs-Prozessen

*Dr. K. Ehrensberger, K. Rüger
AAC Infotray AG, Winterthur, Schweiz*

Kurzfassung

Die Analytik von radioaktiven Proben erfordert hoch spezialisiertes Fach- und Prozesswissen. Resultate werden sowohl aus kontinuierlichen Messungen, wie auch durch punktuelle Probenahmen ermittelt. Zur Unterstützung der vielen Schritte zur Ermittlung der Resultate werden heute diverse isolierte Softwarelösungen eingesetzt. Ideal wäre eine Gesamtlösung, um die Datenflüsse der Laborprozesse durchgängig über alle Schritte hinweg abbilden und auswerten zu können.

Nachfolgend wird die Digitalisierung von punktuellen Messungen weiter ausgeführt. Eine Messung beginnt mit der Planung der Probennahme. Dazu werden in der Laborsoftware Limsophy (LIMS) die Probennahmestellen verwaltet. Mit einer interaktiven Kalenderdarstellung werden die geplanten Probenzüge pro Probennahmestelle visualisiert. Mit dem offline-LIMS werden im Feld Probeentnahmeort und -zeitpunkt sowie weitere Informationen wie Probenmaterial, Wetterlage etc. erfasst. Im Labor werden die offline erfassten Daten automatisch in die online-Datenbank übernommen.

Im LIMS wird die Aufbereitung des Probenmaterials dokumentiert bis zur messbereiten Laborprobe. Das LIMS unterstützt sämtliche QS-Maßnahmen für Labore. Dazu gehören die Dokumentenlenkung der SOPs und der Nachweis der Gerätekalibrierung mit elektronischer Logbuchführung inklusive der Inventarisierung des Quellenbestandes. Resultate können in anpassbaren Eingabemasken manuell erfasst werden oder lassen sich von Geräten, z. B. Gammaskpektrometern wie etwa aus Interwinner-files, automatisch übernehmen. Erkennungs- und Nachweisgrenzen können dokumentiert und bei der Ergebnisauswertung herangezogen werden. Den Proben können mit dem IMIS-Modul Umweltbereiche sowie Deskriptoren und -zusätze zugeordnet werden. Resultate können sowohl zu Quartals- und Jahresberichten zusammengefasst und ausgegeben als auch per Schnittstelle an IMIS übermittelt werden.

Mit Limsophy LIMS sind verschiedene Berechnungen möglich. Mit hinterlegten Faktoren, wie den Dosiskoeffizienten kann die Strahlenexposition berechnet werden.

Im Vortrag werden zwei Module vertieft präsentiert. Das Quellenmodul wird für die Inventarisierung, Aktivitätsberechnung und Berichterstellung des Strahlerbestandes an die Behörden verwendet. Mit Limsophy Geodata lassen sich Probennahmeorte bei Messungen im Feld online oder offline dokumentieren.

Posterrundgang

P046: Lose-Blatt-Sammlung Maßnahmen als Basis für die Besonderen Notfallpläne des Bundes

M. Werner

Bundesamt für Strahlenschutz (BfS), Neuherberg (München)

Kurzfassung

Die Lose-Blatt-Sammlung Maßnahmenblätter zu Schutzmaßnahmen im radiologischen Notfallschutz ist ein ergänzendes Dokument zum Allgemeinen Notfallplan (ANoPI) nach § 98 StrlSchG.

Sie konkretisiert die Sach- und Anwendungsbereiche der Besonderen Notfallpläne des Bundes (BNoPI) nach § 99 StrlSchG.

Bisher wurden unter Federführung des BMUV durch die Gesellschaft für Anlagen- und Reaktorsicherheit (GRS) im Auftrag und in Zusammenarbeit mit dem BfS seit 2018 in bisher zwei Forschungsvorhaben mehr als 200 detaillierte Maßnahmenblätter erstellt.

Die einzelnen Maßnahmen basieren auf dem ursprünglich von der Strahlenschutzkommission erstellten Maßnahmenkatalog und wurden vor dem Hintergrund der Erfahrungen aus der Reaktorkatastrophe in Fukushima aktualisiert, neu bewertet und ergänzt.

Jede Maßnahme wird in einem sogenannten Maßnahmenblatt standardisiert dargestellt mit strahlenschutzfachlichen, rechtlichen und organisatorischen Informationen. Die Bearbeitung erfolgt durch Expertengremien aus BfS, SSK, BMUV, Ressorts und später mit Ländervertretern.

Als Beispiel für die Überarbeitung wird nach § 99 Abs. 2 StrlSchG der zu beplanende Anwendungsbereich 3 „Produktion pflanzlicher und tierischer Erzeugnisse, für Lebensmittel, Futtermittel, Bedarfsgegenstände, kosmetische Mittel und Erzeugnisse im Sinne von § 2 Nummer 1 des Tabakerzeugnisgesetzes“ vorgestellt.

P044: Vorbereitung der Krisenkommunikation mit der Öffentlichkeit: Entwicklung von Notfall-FAQs und Mustertexten für das Radiologische Lagezentrum des Bundes

Preparation of Crisis Communication with the public: development of emergency FAQs and sample texts for the Federal Radiological Situation Centre

C. Fehn¹, C. Pözl-Viol²

¹Bundesamt für Strahlenschutz, Freiburg, Deutschland

²Bundesamt für Strahlenschutz, Neuherberg, Deutschland

Zusammenfassung

Für eine funktionierende Krisenkommunikation ist die rechtzeitige Vorbereitung von Inhalten unerlässlich, da – gerade zu Beginn eines Notfalls – durch Abstimmungsprozesse von Texten und Formaten wertvolle Zeit verloren gehen kann. Das Bundesamt für Strahlenschutz (BfS) bereitet im Rahmen des Radiologischen Lagezentrums des Bundes zur Vorbereitung der Krisenkommunikation mit der Öffentlichkeit Notfall-FAQs sowie Mustertexte für die Erstkommunikation vor.

Summary

Timely preparation of content is essential for effective crisis communication, as valuable time can be lost due to coordination processes for texts and formats, especially at the beginning of an emergency. As part of the Federal Radiological Situation Centre, the Federal Office for Radiation Protection (BfS) prepares emergency FAQs and sample texts for initial communication in preparation for crisis communication with the public.

1 Hintergrund

In einem radiologischen Notfall ist es wichtig die Bevölkerung schnell, zuverlässig und verständlich zu informieren, um diese zu schützen und Verunsicherung und Falschinformation vorzubeugen. Entscheidend dabei ist, dass die an der Notfallreaktion beteiligten Behörden transparent, einheitlich und widerspruchsfrei kommunizieren („one message – many voices“). Dies schafft nötiges Vertrauen in die zuständigen Behörden, damit Schutzkonzepte erfolgreich umgesetzt werden können.

Im Vorfeld erarbeitete und abgestimmte Informationen wie Mustertexte für die Erstkommunikation und FAQs („Frequently Asked Questions“) für Fragen aus der Bevölkerung können besonders in der Anfangsphase eines Notfalls maßgeblich unterstützen.

2 Umsetzung Notfall-FAQs

Bei einem radiologischen Notfall ist mit einem signifikanten Anstieg von Bürgeranfragen zu rechnen. Dies zeigen u. a. Erfahrungen während des Kernkraftwerks-Unfalls in Fukushima 2011. Aber auch radiologisch ungefährliche Ereignisse, unklare Situationen oder Fake News können eine kommunikative Krise auslösen, die zu einem starken bis massiven Anstieg von Bürgeranfragen führen.

Ein Großteil der Fragen aus der Bevölkerung konzentriert sich bei einem akuten Notfall auf wenige Themen, z. B. Umgang mit Nahrung und (Trink-) Wasser, gesundheitliches Risiko für Schwangere und Kinder und die Einnahme und Wirkung von Jodtabletten.

Antworten auf diese Fragen können im Vorfeld erarbeitet werden und bilden im Notfall eine wichtige Grundlage zu Informationen rund um allgemeine Verhaltensweisen, radiologisches Hintergrundwissen und – im begrenzten Maße - zur aktuellen Lage.

Basierend auf den Erkenntnissen der Krisenkommunikations-Forschung wurde zur Erarbeitung der FAQs die Methode des „Message Mapping“ gewählt. Menschen können unter Stress in Notfall-Situationen nur drei Schlüsselbotschaften verarbeiten. Zu jeder FAQ wurden drei Schlüsselbotschaften erarbeitet, die nach Bedarf mit bis zu drei vertiefenden Informationen ergänzenden wurden [1].

Tabelle 1: Beispiel für eine FAQ nach dem Message Mapping Prinzip

Frage: Was soll ich tun, wenn „Aufenthalt in Gebäuden“ empfohlen wird? Welcher Bereich im Haus ist am sichersten?		
Schlüsselbotschaft 1	Schlüsselbotschaft 2	Schlüsselbotschaft 3
Bleiben Sie im Haus. Schließen Sie Türen und Fenster. Schalten Sie Lüftungen und Klimaanlage, die Luft von außen anziehen, aus.	Suchen Sie - wenn möglich - innen liegende Räume und Keller ohne Fenster auf.	Informieren Sie sich über Radio (Sender mit Verkehrsfunk), Fernsehen oder im Internet auf den offiziellen Behördenseiten und folgen Sie den Anweisungen der Behörden und Einsatzkräfte.
Ergänzende Info 1-1	Ergänzende Info 2-1	Ergänzende Info 3-1
Verhindern Sie, dass Luft von außen ins Haus kommt, so vermeiden Sie das Einatmen von radioaktiven Partikeln. Dichten Sie ggf. Fenster und Außentüren soweit wie möglich ab. Je weniger Luft von draußen nach drinnen kommt, desto besser.	Wände schirmen ionisierende Strahlung ab.	Bleiben Sie informiert: Die Behörden geben weitere Tipps und Verhaltensempfehlungen bekannt und informieren, wann die Maßnahme endet.
Ergänzende Info 1-2	Ergänzende Info 2-2	Ergänzende Info 3-2
	Hat der sicherste Raum Fenster, lassen Sie dort Außenrollläden oder Jalousien herunter und halten sich möglichst weit weg von den Fenstern auf.	

Die FAQs können u. a. genutzt werden zur Unterstützung von Mitarbeiter*innen an Bürgertelefonen, als Grundlage für Social Media Meldungen und für die Vorbereitung von Pressemitteilungen.

Erstellt wurden die FAQs in enger Zusammenarbeit zwischen den Fachabteilungen und der Presse-/ Öffentlichkeitsarbeit des BfS in einem iterativen Prozess. Zusätzlich wurden die FAQs von der Strahlenschutzkommission (SSK, A5) inhaltlich überprüft.

3 Umsetzung Mustertexte für die Erstkommunikation

Bei einem (überregionalen) radiologischen Notfall ist eine schnelle Erstkommunikation unmittelbar nach der Alarmierung notwendig. Es ist damit zu rechnen, dass erste Informationen oder Gerüchte über den Notfall schnell in die Öffentlichkeit gelangen und dort vor allem über Social Media weitergetragen werden.

Um die Bundesregierung schnell als zuverlässige Informationsquelle zu etablieren und so eine effektive Risikokommunikation sicherstellen zu können, muss schnell und anfänglich auch auf spärlicher Informationsbasis kommuniziert werden. Zu diesem Zweck haben sich für die Erstkommunikation Mustertexte bewährt, die bereits vorbereitet zur Verfügung stehen.

Im Rahmen eines durch das Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, nukleare Sicherheit und Verbraucherschutz (BMUV) geförderten Forschungsvorhabens wurde ein umfangreicher Satz von szenariospezifischen Mustertexten für die Erstkommunikation erstellt. Für elf Notfall-Szenarien (z. B. „Unfall in einem Kernkraftwerk im grenznahen Ausland“ oder „Transportunfall“) wurden jeweils ein bis vier Muster-Pressemitteilungen, ein Mustertext für die Entwarnung sowie bis zu acht Vorlagen für Kurzmeldungen für SocialMedia-Kanäle („Tweets“) erstellt.

Mustertexte haben die Form von Lückentexten und müssen lediglich mit den aktuellen Daten des Notfalls befüllt und an die Situation angepasst.

Beispiel: Auszug aus dem Mustertext für das Szenario „Unfall in einem Kernkraftwerk im Inland“: „Erstinformation bestätigtes Ereignis mit prognostizierter Freisetzung – Geringe Auswirkungen erwartet“ (**fett** markierte Textblöcke sind im einem Ereignisfall anzupassen)

*Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, nukleare Sicherheit und Verbraucherschutz:
Voraussichtlich nur geringe Auswirkungen für Bevölkerung durch Störfall im Kernkraftwerk
[KKW NAME]*

*Laut einer Meldung **des Betreibers [NAME BETREIBER] / der/des [MELDENDE STELLE]** ist es im Kernkraftwerk [KKW NAME] in [BUNDESLAND] am [DATUM] gegen [UHRZEIT] Uhr zu einem Zwischenfall gekommen. (Auslöser war ein/eine [EREIGNIS].)*

*Das Bundesumweltministerium (**hat zur Koordination der Bundesbehörden und Bewertung der Lage den Expertenstab des radiologischen Lagezentrums einberufen und**) unterstützt die/den/das [ZUSTÄNDIGE LANDESBEHÖRDE] in [BUNDESLAND].*

*Nach Auskunft **des Betreibers / der/des [MELDENDE STELLE]** sind durch den Zwischenfall bislang **keine/nur (sehr) geringe Mengen** radioaktiven/r Stoffe in die Umwelt freigesetzt worden. Dies wird durch aktuelle Messwerte von Messsonden vor Ort sowie vom engmaschigen deutschen Messnetz bestätigt. Aufgrund der Art des Zwischenfalls gehen die Fachleute des **Bundesumweltministeriums/radiologischen Lagezentrums** allerdings davon aus, dass innerhalb der nächsten [XX] **Stunden/Tage** radioaktive Stoffe (**in geringen Mengen**) in die Umwelt freigesetzt werden (**könnten**).*

*Nach derzeitigem Stand, sind nur (**sehr**) geringe Auswirkungen für die Bevölkerung in den (**möglicherweise**) betroffenen Gebieten zu erwarten. (**Dazu können [AUSWIRKUNGEN] gehören.**)*

4 Ausblick

Im Rahmen des durch das Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, nukleare Sicherheit und Verbraucherschutz (BMUV) geförderten KI-Lab am Umweltbundesamt (UBA) werden die Notfall-FAQs die fachliche Grundlage bei der Entwicklung eines ChatBots für die Krisenkommunikation mit der Öffentlichkeit bilden. Die Entwicklung des Chatbot soll 2024 erfolgen. Geplant ist ein regelbasierter und dialogischer Chatbot für klare, begründete Handlungsanweisungen für Bürgerinnen und Bürger.

5 Danksagung

Die Erstellung der Mustertexte wurde im Rahmen des Ressortforschungsvorhaben durch das BMUV gefördert.

6 Literatur

- [1] V. T. Covello, Message Mapping, Risk and Crisis Communication, World Health Organization Conference on Bio-terrorism and Risk Communication, Geneva, Switzerland, October 1, 2002. <http://rcfp.pbworks.com/f/MessageMapping.pdf> (abgerufen am 20.12.2023)

P034: Radioaktive Kontamination von Speisepilzen mehr als 35 Jahre nach dem Reaktorunfall von Tschornobyl

Radioactive Contamination of Edible Mushrooms more than 35 Years after the Chornobyl Accident

E. Kabai, A. Hamer, M. Steiner

Bundesamt für Strahlenschutz, Oberschleißheim, Deutschland

Zusammenfassung

Das Bundesamt für Strahlenschutz (BfS) untersucht seit 1987 die radioaktive Kontamination von Wildpilzen mit Radiocäsium im Süden Deutschlands. Auch mehr als 35 Jahre nach dem Reaktorunfall von Tschornobyl (russisch Tschernobyl) können in manchen Gebieten südlich der Donau und im Bayerischen Wald Pilze mit erhöhten Aktivitäten von ^{137}Cs auftreten. Diese Regionen waren mit bis zu 50.000 Bq/m^2 ^{137}Cs und vereinzelt sogar bis zu 100.000 Bq/m^2 ^{137}Cs besonders betroffen. Die radioaktive Kontamination mancher Pilzarten kann hier über dem Grenzwert von $600 \text{ Bq }^{137}\text{Cs}$ pro kg Frischmasse liegen. Die Probennahme entspricht dem Verhalten eines Pilzsammlers. In jedem Untersuchungsgebiet werden die Fruchtkörper einer Pilzart jeweils zu einer Probe vereinigt, gereinigt und klein geschnitten. Im Labor werden die Proben bei $105 \text{ }^\circ\text{C}$ bis zur Gewichtskonstanz getrocknet, gemahlen und mit Reinstgermanium-Detektoren gammaspektrometrisch gemessen. Das BfS veröffentlicht die Messwerte jährlich im sogenannten Pilzbericht [1]. In diesem Beitrag werden die artspezifischen Maximalwerte von Wildpilzen (bezogen auf die Frischmasse) dargestellt, die in den Jahren 2020 bis 2022 gesammelt wurden. Zudem wird erläutert, wie die Strahlenexposition durch Pilzmahlzeiten zu bewerten ist. Als Vergleichsgrößen wird die ^{137}Cs -Aufnahme durch landwirtschaftliche Produkte und die jährliche Strahlenexposition durch natürliche Strahlenquellen aufgezeigt. Aufgrund der niedrigen Verzehr rates stellen Wildpilze kein radiologisches Problem dar. Aus Vorsorgegründen sollte auf den regelmäßigen Verzehr hoch kontaminierter Wildpilze verzichtet werden.

Summary

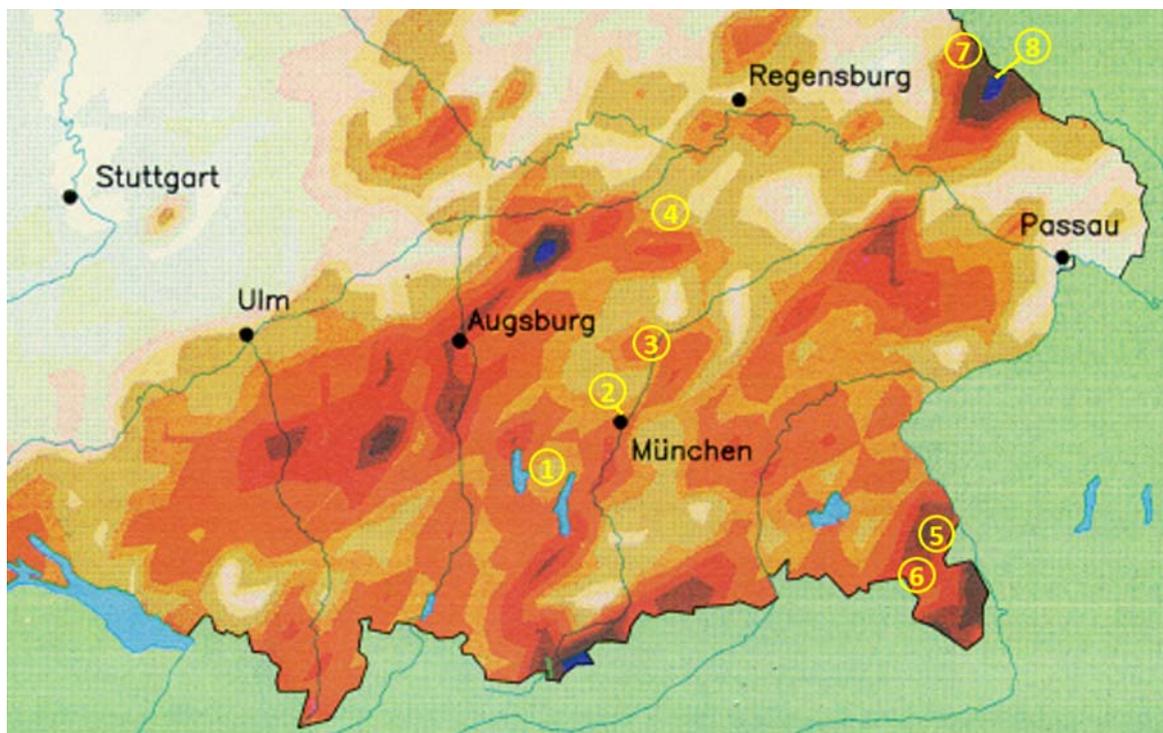
The Federal Office for Radiation Protection (BfS) has been investigating the radioactive contamination of wild mushrooms with radiocesium in southern Germany since 1987. Even more than 35 years after the Chornobyl (Russian Chernobyl) nuclear accident, fungi with increased activity of ^{137}Cs can still be found in some areas south of the Danube and in the Bavarian Forest. These regions were particularly affected with up to $50,000 \text{ Bq/m}^2$ ^{137}Cs and in some cases even up to $100,000 \text{ Bq/m}^2$ ^{137}Cs . The radioactive contamination of some fungal species here can exceed the limit of $600 \text{ Bq }^{137}\text{Cs}$ per kg fresh mass. Sampling corresponds to the behaviour of a mushroom picker. In each study area, the fruiting bodies of a fungal species are combined into a sample, cleaned and cut into small pieces. In the laboratory, the samples are dried at $105 \text{ }^\circ\text{C}$ to constant weight, ground and measured by gamma spectrometry using high-purity germanium detectors. The BfS publishes the measurement results annually in the so-called mushroom report [1]. This article presents the species-specific maximum values of wild mushrooms (based on fresh mass) that were collected from 2020 to 2022. It also explains how radiation exposure from mushroom meals is to be assessed. The ^{137}Cs intake from agricultural products and the annual radiation exposure from natural radiation sources are shown for comparison. Due to the low consumption rates, wild edible mushrooms do not pose a radiological problem. For precau-

tionary reasons, regular consumption of highly contaminated wild mushrooms should be avoided.

1 Einleitung

Pilze sind für viele Menschen eine beliebte Ergänzung des Speisezettels. Doch auch mehr als dreieinhalb Jahrzehnte nach dem Reaktorunfall von Tschornobyl im Jahr 1986 werden in einigen Pilzarten erhöhte Gehalte des Radionuklids Cäsium-137 (^{137}Cs) gemessen. Das BfS untersucht seit 1987 (bis 1989 als Institut für Strahlenhygiene des Bundesgesundheitsamtes) die radioaktive Kontamination von Wildpilzen mit Radiocäsium im Süden Deutschlands. Dieses Gebiet wurde mit Aktivitätsablagerungen zwischen 2.000 und 50.000 Bq ^{137}Cs pro Quadratmeter sowie lokalen Spitzenwerten von 100.000 Bq ^{137}Cs pro Quadratmeter durch den Reaktorunfall von Tschornobyl besonders betroffen.

Die spezifischen Aktivitäten bei Wildpilzen variierten je nach Untersuchungsgebiet und Pilzart sehr stark. Die Probenahmeorte der letzten drei Jahre (2020 bis 2022) sind in Abbildung 1 dargestellt. Die Bodenkontamination mit ^{137}Cs im Jahr 1986 ist in Abbildung 1 farblich gekennzeichnet.



Bodenkontamination mit Cs-137 im Jahr 1986 (Bq/m²):

	0 – 2 000		8 000 – 10 000		30 000 – 40 000
	2 000 – 4 000		10 000 – 15 000		40 000 – 50 000
	4 000 – 6 000		15 000 – 20 000		50 000 – 80 000
	6 000 – 8 000		20 000 – 30 000		80 000 – 120 000

Abb. 1: Probenahmeorte im Rahmen des Pilzmessprogramms von 2020 bis heute: 1: Hochstadt; 2: Oberschleißheim; 3: Freising; 4: Siegenburg; 5: Aufham/Högl bei Anger; 6: Schneizreuth/Oberjettenberg; 7: Bayerisch Eisenstein; 8: Zwieseler Waldhaus/Nationalpark Bayerischer Wald

2 Probenvorbereitung und Messung

An jedem dieser Standorte wurden die Fruchtkörper einer Spezies jeweils zu einer Probe vereinigt, die Frischmasse bestimmt und Probe sowie Standort dokumentiert. Die Probennahme entspricht damit weitgehend dem Verhalten eines privaten Pilzsammlers, der durch das Untersuchungsgebiet wandert. Die Pilzproben wurden im Labor bei 105 °C bis zur Gewichtskonstanz getrocknet, gemahlen, in kalibrierte Messgeometrien eingewogen und anschließend mit Reinstgermanium-Detektoren gammaspektrometrisch gemessen. Eventuelle Restmengen wurden als Rückstellproben gelagert, ebenso wie die gemessenen Proben. Der Arbeitsablauf ist in Abbildung 2 schematisch dargestellt.

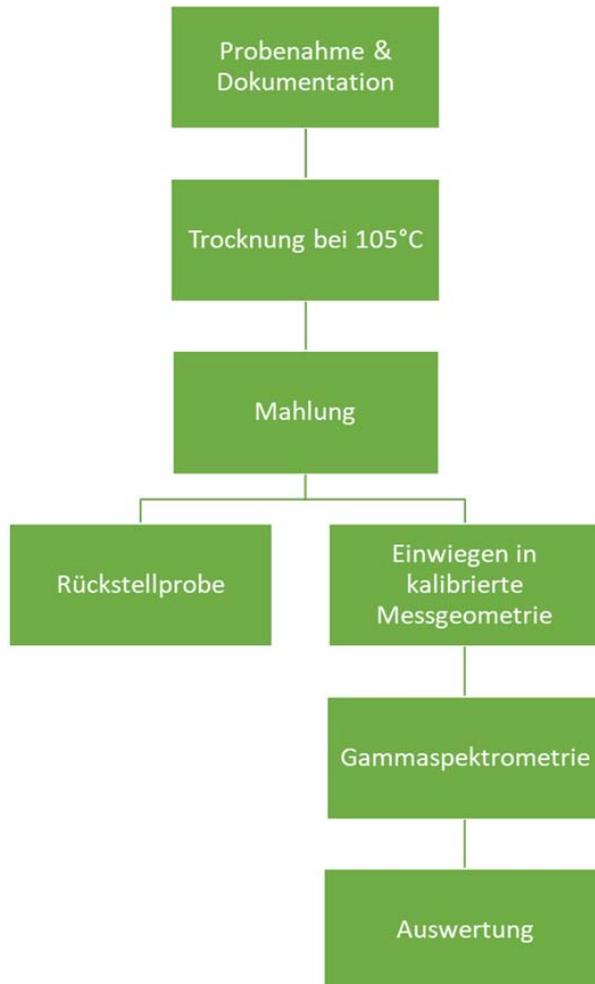


Abb. 2: Schematische Darstellung der Probenvorbereitung, Messung und Auswertung

3 Messergebnisse

In dem Posterbeitrag zu der Konferenz wurden die Maximalwerte der ^{137}Cs -Kontamination der Jahre 2020 bis 2022 für die höchstkontaminierten Pilzarten grafisch wie in Abbildung 3 dargestellt. Spitzenwerte von über 4.000 Bq/kg ^{137}Cs wurden in Semmelstoppelpilzen (*Hydnum repandum*) und in Rotbraunen Semmelstoppelpilzen (*Hydnum rufescens*) gemessen. Aktivitäten von mehr als 1.000 Bq/kg ^{137}Cs wurden in den letzten drei Jahren (2020 bis 2022) zudem in verschiedenen Schnecklingsarten, wie *Hygrophorus eburneus*, *Hygrophorus lucorum* und *Hygrophorus penarius*, in Gelbstieligen Trompetenpfifferlingen (*Cantharellus tubaeformis* var. *lutescens*), in Gemeinen Rotfußröhrlingen (*Xerocomellus chrysenteron*), in Maronenröhrlingen (*Imleria badia*), in Mohrenkopfmilchlingen (*Lactarius lignyotus*), in Ockertäublingen (*Russula ochro-*

leuca), in Rotbraunen Scheidenstreiflingen (*Amanita fulva*), in Violetten Lacktrichterlingen (*Laccaria amethystina*) und in Ziegenlippen (*Xerocomus subtomentosus*) festgestellt. In den Jahren 2020 bis 2022 wurde bei etwa 25 Pilzarten der Grenzwert von 600 Bq/kg ¹³⁷Cs überschritten.

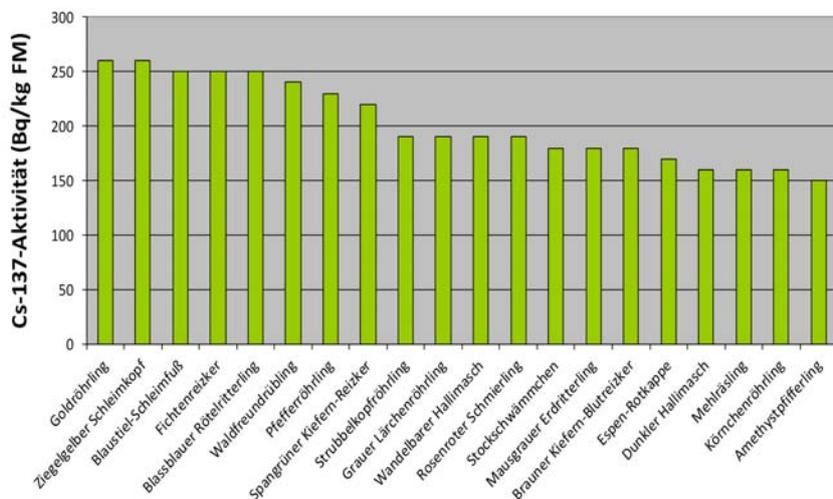
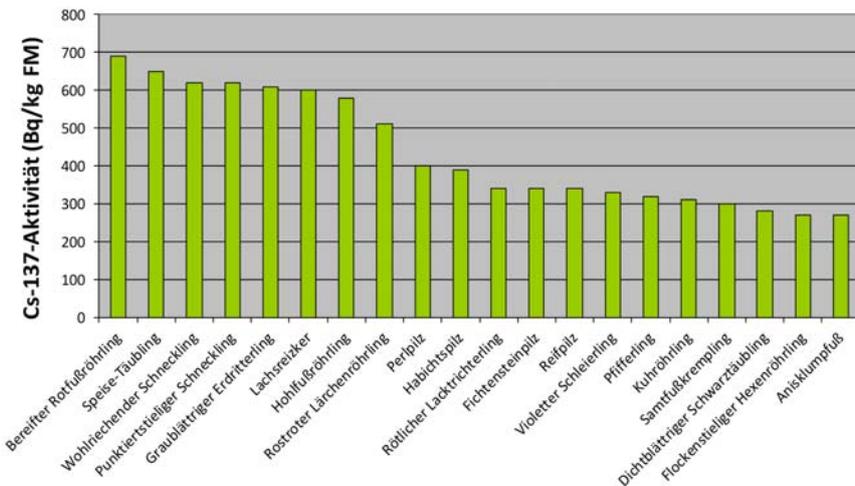
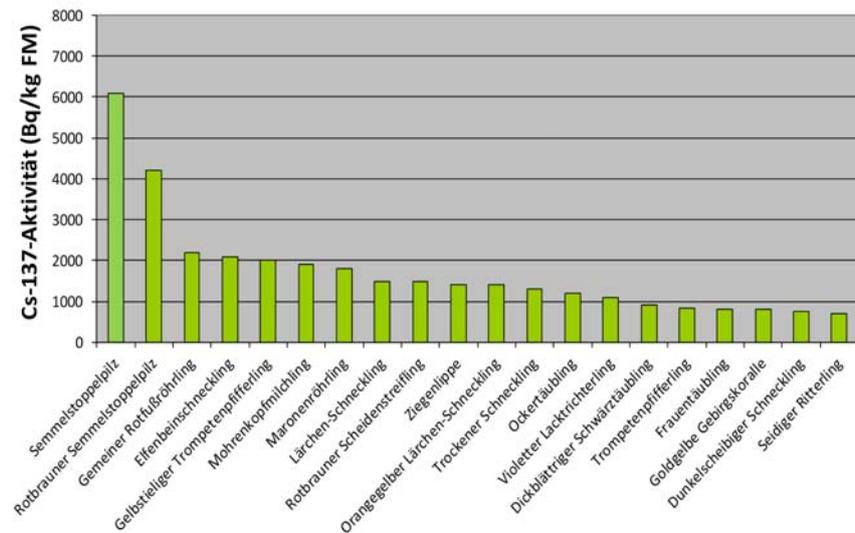


Abb. 3: Maximalwerte der ¹³⁷Cs-Kontamination von Wildpilzen in Bq/kg Frischmasse an den vom BfS untersuchten Standorten in Süddeutschland in den Jahren 2020 bis 2022

Die radioaktive Kontamination der Pilze hängt vom Radiocäsiumgehalt der vom Pilzgeflecht (Myzel) durchzogenen Bodenschicht, von der Bodenbeschaffenheit und vom speziellen Anreicherungsvermögen der jeweiligen Pilzart ab.

4 Berechnung der Strahlendosis durch ^{137}Cs

In Deutschland werden mit Nahrungsmitteln aus landwirtschaftlicher Erzeugung im Mittel weniger als 100 Bq ^{137}Cs pro Person und Jahr aufgenommen. Gegenwärtig kann mit einer Mahlzeit höher kontaminierter Speisepilze somit mehr ^{137}Cs zugeführt werden als mit Lebensmitteln aus landwirtschaftlicher Produktion während eines ganzen Jahres.

Der Dosiskoeffizient für die Ingestion von ^{137}Cs beträgt bei Erwachsenen 1,3E-08 Sv/Bq. Die Aufnahme von 80.000 Bq ^{137}Cs mit Lebensmitteln entspricht bei Erwachsenen somit einer Strahlenexposition von etwa 1 Millisievert (mSv).

Ein Rechenbeispiel vermittelt die Höhe der Strahlenexposition: Wenn pro Woche 250 g Maronenröhrlinge (*Imleria badia*) mit 1.800 Bq/kg ^{137}Cs verzehrt werden, nimmt man 1.800 Bq/kg x 0,25 kg = 450 Bq ^{137}Cs zu sich. Diese Menge ^{137}Cs entspricht einer zusätzlichen Strahlendosis von 450/80.000 mSv = 0,0056 mSv pro Woche oder 0,29 mSv pro Jahr. Zum Vergleich: Die jährliche Strahlendosis in Deutschland aus natürlichen Quellen beträgt im Mittel 2,1 mSv und schwankt je nach den örtlichen Gegebenheiten etwa zwischen 1 und 10 mSv.

5 Schlussfolgerungen

Die Ergebnisse des Bundesamtes für Strahlenschutz (BfS) zeigen, dass auch mehr als 35 Jahre nach dem Reaktorunfall von Tschornobyl viele Pilzarten, insbesondere in Bayern, immer noch höher kontaminiert sein können. Besonders Semmelstoppelpilze und Rotbraune Semmelstoppelpilze aus bestimmten Regionen Bayerns weisen eine außergewöhnlich hohe ^{137}Cs -Aktivität auf. Wer selbst gesammelte Pilze in üblichen Mengen genießt, muss sich aus Sicht des Strahlenschutzes keine Sorgen machen. Aus Vorsorgegründen sollte jedoch auf den häufigen Verzehr hoch kontaminierter Wildpilze verzichtet werden. Welche zusätzliche Strahlenexposition durch den Verzehr selbst gesammelter Pilze als akzeptabel betrachtet wird, ist letztlich eine persönliche Entscheidung.

6 Literatur

- [1] E. Kabai, A. Hamer, M. Steiner, Radioaktive Kontamination von Speisepilzen (Stand: 2023, Messwerte 2020 bis 2022), BfS-53/23, August 2023, urn:nbn:de:0221-2023081838878

P031: Unbemannte luftgestützte Messung ionisierender Strahlung im Rahmen des EMPIR Projektes „Preparedness“

*A. Muhr, B. Seiler, C. Cronfeld, C. Strobl, M. Thomas
Bundesamt für Strahlenschutz, Oberschleißheim*

Kurzfassung

Der Schutz der Bevölkerung vor ionisierender Strahlung und radioaktiven Kontaminationen, die durch nukleare oder andere radiologisch relevante Zwischenfälle oder Unfälle verursacht werden, ist von größter Bedeutung. Nach einem radiologischen Ereignis benötigen Strahlenschutzbehörden und andere Entscheidungsträger schnelle, belastbare Informationen über betroffene und kontaminierte Gebiete. Der Einsatz von unbemannten luftgestützten Messsystemen, die aus einem unbemannten Luftfahrzeug, einer sogenannten Drohne und entsprechenden Messgeräten bestehen, ist ein wichtiges Instrument zum Nachweis von Kontamination in Bereichen, in denen die radiologische Lage ein zu hohes Risiko für Einsatzkräfte vor Ort darstellt und in solchen Bereichen, wo die Zugänglichkeit für Einsatzkräfte aufgrund einstürzender Strukturen oder einer komplexen Topographie schwierig ist.

Bei der Präsentation des Themas wird insbesondere auf den Prozess der Erprobung neuer Messsysteme und -methoden im Rahmen des EMPIR Projektes „Preparedness“ eingegangen, die es ermöglichen, schnell qualitative und quantitative Daten über kontaminierte Flächen und Dosisleistungen zu erheben.

P027: Digitalisierung der Qualitätssicherungsmaßnahmen für Radonmessungen in Deutschland und Aufbau einer Datenbasis „Radon am Arbeitsplatz“

Digital Transformation of the Quality Assurance Measures for Radon Measurements in Germany and Establishment of a Database “Radon at Work”

M. Dubsloff, F. Assenmacher, S. Feige

Bundesamt für Strahlenschutz, UR 1 Radonmetrologie, Berlin, Deutschland

Zusammenfassung

Das Bundesamt für Strahlenschutz (BfS) hat die gesetzliche Aufgabe, Maßnahmen zur Qualitätssicherung für Radon-Pflichtmessungen in Deutschland durchzuführen, die dem Strahlenschutz an Arbeitsplätzen dienen. Damit verbundene Leistungen der Behörde werden in digitale Prozesse überführt und online angeboten. Dies umfasst das Verfahren zur Anerkennung von Stellen, Maßnahmen zur Qualitätssicherung (Eignungsprüfungen) und Entgegennahme der Messdaten von anerkannten Stellen. Auch privatrechtlich vereinbarte Laborleistungen und interne Prozesse werden für eine effizientere Bearbeitung und Erweiterung der Auswertemöglichkeiten in der metrologischen Qualitätssicherung digitalisiert. Der Tagungsbeitrag präsentiert das aktuelle Online-Angebot an Verwaltungsleistungen für anerkannte Stellen, gibt einen Einblick in auswertbare gemeldete Messdaten und zeigt weiteres Digitalisierungspotenzial auf.

Summary

The Federal Office for Radiation Protection (BfS) has the statutory responsibility to perform quality assurance measures of obligatory radon-measurements in Germany, that are performed on working places for radiation protection purposes. The associated administrative services are transferred into digital processes. This comprises the process of recognition of bodies, the quality assurance measures (proficiency tests) and receipt of measurement data of recognised bodies. Laboratory services based on private law contracts and internal processes are likewise transferred to improve the processing efficiency and enhance data analysis for metrological quality assurance. This session contribution presents the latest online services for recognised bodies, gives an insight into evaluable measurement data and highlights further potential for the digital transformation in this context.

1 Motivation und Überblick

Das Strahlenschutzgesetz (StrlSchG) und die Strahlenschutzverordnung (StrlSchV) verpflichten Verantwortliche von Arbeitsplätzen unter bestimmten Voraussetzungen zur Messung der Radon-222-Aktivitätskonzentration in den eigenen Betriebsstätten. Das Fachgebiet Radonmetrologie des Bundesamts für Strahlenschutz (BfS) ist zuständig für die Qualitätssicherung der Radonmessungen in Deutschland. Dazu betreibt es unter anderem ein akkreditiertes Kalibrierlaboratorium für Radon- und Radon- Folgeprodukt-Messgeräte, richtet Vergleichs- und Eignungsprüfungen aus und erkennt auf Antrag nach § 155 Abs. 4 StrlSchV die Stellen zur Messung der Radon-222-Aktivitätskonzentration an. Die anerkannten Stellen müssen dem BfS gemäß § 155

Abs. 5 StrlSchV die an Arbeitsplätzen ermittelten Messdaten melden. Das BfS nutzt die übermittelten Daten zum Aufbau einer dauerhaften Wissensbasis und führt damit Forschung zur Radonsituation an Arbeitsplätzen in Deutschland durch.

Die Verwaltungsleistungen für anerkannte Stellen und behördlich bestimmte Messstellen werden vom Fachgebiet Radonmetrologie des BfS schrittweise digitalisiert, um diese Leistungen online anzubieten sowie aufwandsarm und effizient zu betreiben. Die Arbeiten dazu wurden u. a. im Zuge des Digitalisierungsprogramms Bund zum Online-Zugangs-Gesetz (OZG, [1]) realisiert und umfassen ein Angebot an Leistungen auf Online-Portalen und jeweils ein dahinter liegendes Backend mit Datenbanken.

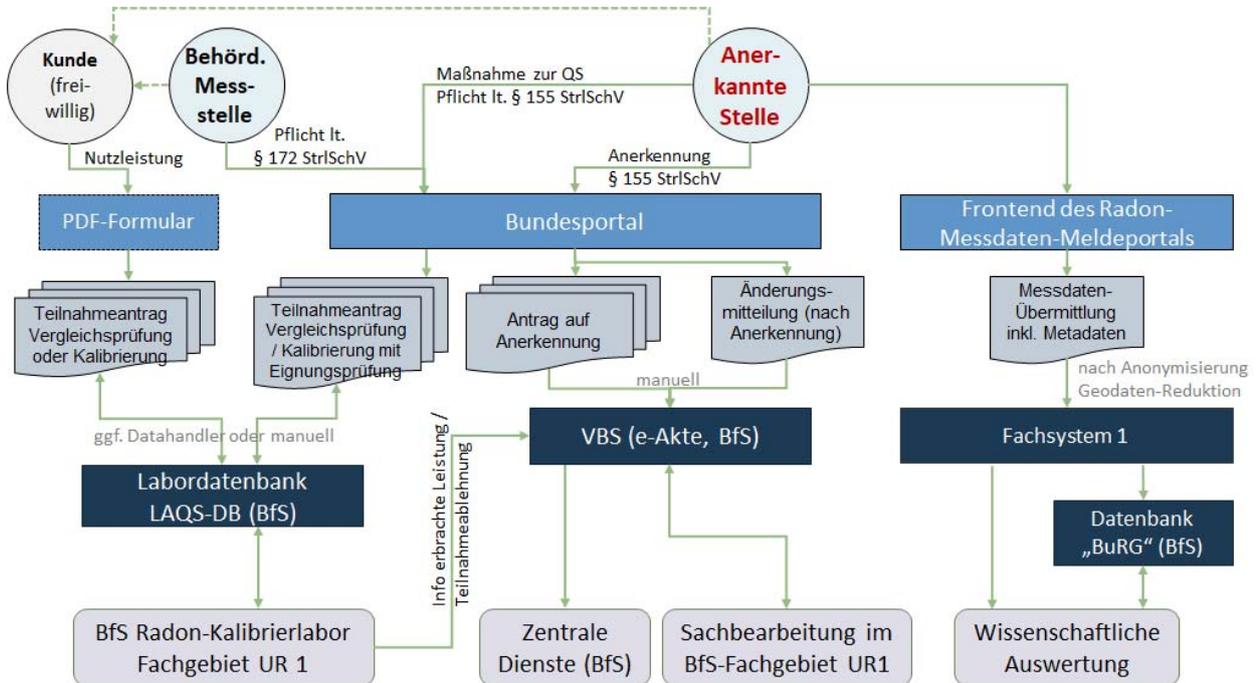


Abb. 1: Überblick über die Systeme und digitalen Verwaltungsleistungen des Fachgebiets Radonmetrologie, insbesondere für anerkannte Stellen.

2 Anerkennung als Stelle für die Messung der Radon-222-Aktivitätskonzentration

Über den Antrag auf Anerkennung wird per Aktenlage entschieden, sodass diese Verwaltungsleistung komplett in einen digitalen Prozess transformierbar ist. Zunächst wurde die Entgegennahme von Anträgen und Änderungen nach beschiedenem Antrag digitalisiert.

Der digitale Antrag auf Anerkennung als Stelle für die Messung der Radon-222-Aktivitätskonzentration und die Mitteilung von Änderungen sind im Bundesportal unter dem Stichwort „Radon“ zu finden: <https://verwaltung.bund.de>.

Bundesamt für Strahlenschutz

Änderungen der Anerkennungsvoraussetzungen als Stelle für die Messung der Radon-222-Aktivitätskonzentration melden

1 Allgemeine Angaben zur Änderung ▼

Aktenzeichen Ihres Anerkennungsbescheids ?

Bitte wählen Sie aus, in welchem Bereich Sie Änderungen zu den im Anerkennungsantrag gemachten Angaben mitteilen wollen. Sie können auch mehrere Bereiche auswählen. ?

<input type="checkbox"/> Verwendung anderer Messgeräte
<input type="checkbox"/> Wechsel des für die Messung verantwortlichen Personals
<input type="checkbox"/> Änderung des Namens oder der Rechtsform der Organisation
<input type="checkbox"/> Sonstige relevante Änderungen

Erforderliche Schritte

- 1 Allgemeine Angaben zur Änderung
- 2 Kontaktdaten

Datenschutzerklärung

[Datenschutzerklärung für diese Leistung](#)

Abb. 2: Online-Formular für anerkannte Stellen zur Mitteilung von Änderungen.

Möglichkeiten eines digitalen Bezahlprozesses und der digitalen Übermittlung eines Anerkennungsbescheides werden in den kommenden Jahren zu klären sein.

3 Teilnahme an Maßnahmen zur Qualitätssicherung (Eignungsprüfung)

Die Anbieter geeigneter Messgeräte für Messungen der Radon-222-Aktivitätskonzentration an Arbeitsplätzen sind gemäß § 155 Abs. 4 StrlSchV verpflichtet, an Maßnahmen zur Qualitätssicherung des BfS teilzunehmen. Auch behördlich bestimmte Messstellen unterliegen der Pflicht gemäß § 172 StrlSchV zur Teilnahme an Maßnahmen zur Qualitätssicherung des BfS. Diese Maßnahmen bestehen im Falle von „passiven“ nichtelektronischen Exposimetern als Messgeräten aus einer Radon-222-Exposition einzusendender Exposimeter im Radon-Kalibrierlaboratorium und einer anschließenden Eignungsprüfung.

Um dieses Angebot zur Exposition mit Eignungsprüfung online anzubieten, wurden Online-Formulare und digitale Infrastrukturen in Form einer Labordatenbank erstellt. Im Gegensatz zu bisherigen PDF-Formularen verfügen die Online-Formulare über Plausibilitätsprüfung, automatische Datenübernahme in die dahinterliegende Infrastruktur (Labordatenbank) und die Anforderungen an die IT-Sicherheit und Barrierefreiheit werden zentral gewährleistet. Zudem wird die fälschliche Verwendung veralteter Formulare unterbunden. Die Formulardaten können anschließend im BfS von der Labordatenbank über eine Maschine-zu-Maschine (M2M)-Schnittstelle übernommen werden. Auftragsverwaltung, Messdatenerfassung, Ergebnisberechnung bis hin zur Berichterstellung werden in der Labordatenbank durchgeführt. Es sind zusätzliche Messdatenanalysen und auch Live-Messdaten-Ansichten laufender Expositionen möglich.

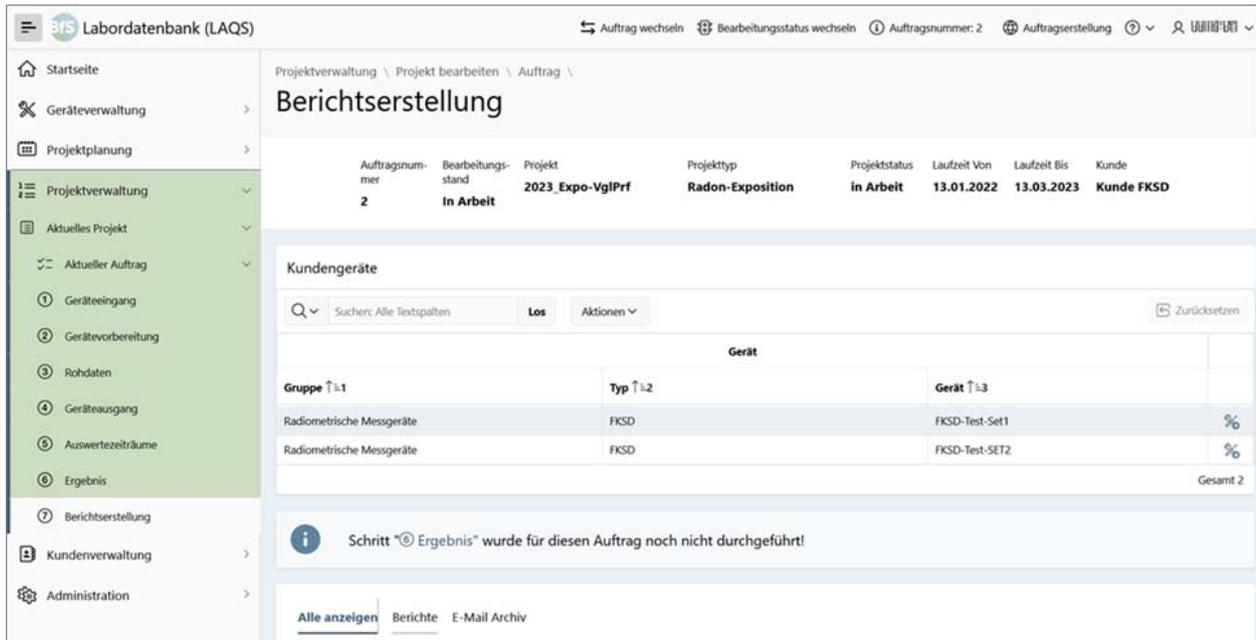


Abb. 3: Oberfläche der Labordatenbank des Radon-Kalibrierlaboratoriums, das die online eingereichten Anmeldungen der Maßnahmen zur Qualitätssicherung empfängt und die Verwaltungsleistung bis zur Berichterstellung verwaltet.

Die Berichterstellung der Labordatenbank wurde so konzipiert, dass in beliebige Textdokumentvorlagen ein weitreichender Variablensatz eingefügt und anschließend automatisch aus der Datenbank heraus befüllt werden kann. Dabei sind sowohl Berechnungen der Messergebnisse und zugehöriger Messunsicherheiten als auch Verwaltungsdaten, beispielsweise Kostenverzeichnisse, Zusatzaufwände, Auftragsstatistiken integrierbar.

Die Übermittlung des Eignungsprüfungsberichtes erfolgt anschließend auf herkömmlichem Wege, eine Möglichkeit des digitalen Rückkanals ist jedoch zukünftig vorgesehen (siehe auch Kapitel 5).

4 Messdaten-Meldung anerkannter Stellen

Ein digitales Meldeportal (siehe Abb. 4) ermöglicht den anerkannten Stellen seit Ende 2021 die Übermittlung der Ergebnisse von Radonmessungen an das BfS. Übertragungswege, Schnittstellen und Formatvorgaben wurden so ausgelegt, dass der Aufwand der Übermittlung durch die anerkannten Stellen gering ist und ein effizienter und fehlertoleranter Datentransfer sichergestellt wird.

In den Messdatenmeldungen werden zusätzlich zum Messwert in Bq/m³ auch Metadaten (Informationen über die Durchführung der Messung) erfasst. Pflichtangaben sind dabei: Anschrift des Messortes, Grundlage der Messverpflichtung, Anlass der Messung (Erstmessung, Erfolgsüberprüfung nach Maßnahmen), Eigenschaften des Messortes (z. B. Stockwerk, Raumbezeichnung/Raumnummer, Konformitätsbereich) und Informationen zur Messung selbst (z. B. Messverfahren, Start und Ende der Messung).

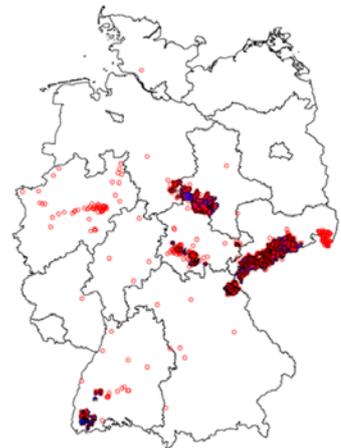
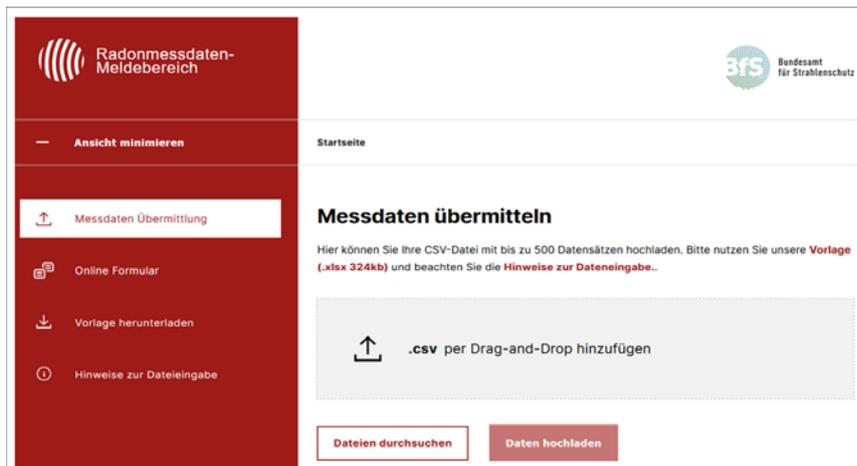


Abb. 4: Screenshot des Messdaten-Meldeportals (links) sowie Darstellung ungefährender Positionen auf der Deutschlandkarte der bis Juni 2023 empfangenen Messdaten-Meldungen zu gesetzlichen Radonmessungen an Arbeitsplätzen (rechts).

In der Karte in Abbildung 4 sind in blau die Verwaltungsgrenzen der durch die Länder ausgewiesenen Radonvorsorgegebiete (RVG) nach §121 StrlSchG gekennzeichnet. In rot sind in der Karte die ungefähren Messorte gemeldeter Messdaten dargestellt. Punkte außerhalb der RVG resultieren auch aus Messungen an Arbeitsplätzen der Wassergewinnung, -aufbereitung und -verteilung (Anhang 8 StrlSchG), für die deutschlandweit eine Messverpflichtungen besteht.

Ergebnisse der Radonmessungen an Arbeitsplätzen sind geeignet, einen Beitrag zum Erkenntnisgewinn über die Radonsituation an Arbeitsplätzen sowie für den Umgang mit dem Risiko der Exposition durch Radon in Gebäuden zu liefern. Zur Erhebung, Auswertung und Speicherung arbeitsplatzbezogener Messdaten wurde neben dem Messdaten-Meldeportal eine relationale Datenbank als Fachsystem im BfS in Betrieb gesetzt (siehe auch „Fachsystem 1“ in Abb. 1). Für den stetig steigenden Datenbestand mit Messergebnissen zur Radonkonzentration werden Schnittstellen für die Berichterstattung und weitere wissenschaftliche Analyse geschaffen.

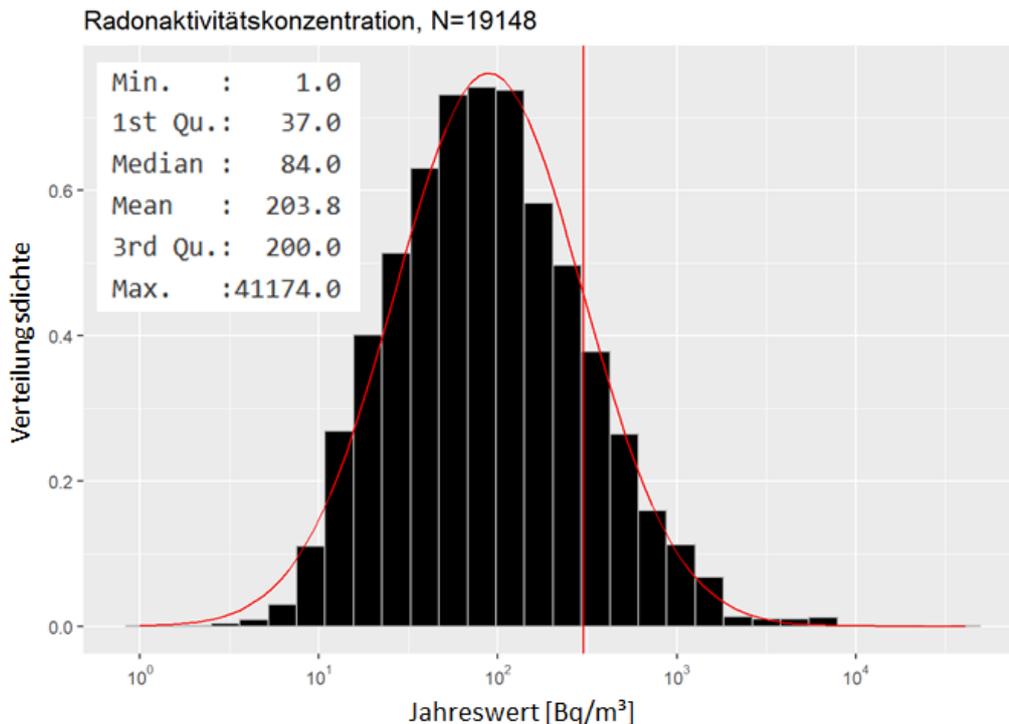


Abb. 5: Verteilung der bis Anfang November 2023 gemeldeten Messdatenwerte anerkannter Stellen.

19.148 Datensätze wurden mit Stand 11.09.2023 für erste Datenanalysen verwendet. Eine Verteilung der bis dahin gemeldeten Messdaten ist rechts dargestellt, die rote Linie markiert den aktuellen Referenzwert von 300 Bq/m³. Ca. 14 % der gemeldeten Jahresmittelwerte überschreiten den Referenzwert. Bei Arbeitsplätzen der Wassergewinnung, -aufbereitung und -verteilung (Anhang 8 StrlSchG) betrug der Anteil der Überschreitungen 54 %. Weit überwiegend handelte es sich bei den Meldungen um Erstmessungen nach § 127 StrlSchG. Zunehmend ist mit Datenmeldungen aus der Erfolgsüberprüfung nach Maßnahmen zur Reduzierung der Radon-222-Aktivitätskonzentration zu rechnen (§ 128 Abs. 2 StrlSchG).

5 Ausblick

Im Fachgebiet Radonmetrologie und speziell im Radon-Kalibrierlaboratorium gibt es weiterhin Digitalisierungspotenzial, dabei sind folgende Vorhaben in den kommenden Monaten und Jahren avisiert:

- Automatisierung von internen Verwaltungsprozessen (automatische Erstellung von Ergebnisberichten, Vertragsentwürfen, Unterlagen zur Rechnungs- oder Kostenbescheiderstellung)
- Verwendung des maschinenlesbaren digitalen Kalibrierscheins (DCC, [4]) für interne Rekalibrierungen im Labor
- Einbindung von Klima-, Gamma-Ortsdosis- und Radon-Messgeräten an die digitale Infrastruktur des Radon-Kalibrierlaboratoriums
- medienbruchfreier Zugang zu sowohl Gebühren- als auch privatrechtlich vereinbarten Nutzleistungen des Radon-Kalibrierlaboratoriums

- Ersatz von Kundenrückmeldungs-Formularen durch Online-Umfragen
- siloübergreifende Nutzung und Auswertung von bereitstehenden Radon-Messdaten
- Regelmäßige Weiterentwicklung, abhängig von Normen, Amtsaufgaben und Auditresultaten

6 *Literatur und Verweise*

- [1] Online-Zugangs-Gesetz, <https://www.gesetze-im-internet.de/ozg/index.html>
- [2] Bundesportal, <https://verwaltung.bund.de>
- [3] Radonmessdaten-Meldeportal, <https://messdaten-radon.bfs.de>
- [4] Digital Calibration Certificate, <https://www.ptb.de/dcc/>

P026: Immissionsüberwachung am Forschungsstandort Rossendorf

Immission monitoring at the Rossendorf Research Site

S. Bartel, C. Graetz, M. Kaden, Dr. M. Walter

VKTA – Strahlenschutz, Analytik & Entsorgung Rossendorf e. V., Dresden Rossendorf, Deutschland

Zusammenfassung

Ausgehend vom Betrieb des früheren Forschungsreaktors Rossendorf, der angegliederten Einrichtungen zur Verarbeitung der erzeugten Radionuklide für Medizin, Forschung und Technik sowie einer Vielzahl weiterer Einrichtungen und Anlagen zur Erzeugung ionisierender Strahlung findet am Forschungsstandort Rossendorf (FSR) eine Immissionsüberwachung statt. Dies erfolgt seit fast 30 Jahren gemäß der Richtlinie zur Emissions- und Immissionsüberwachung kerntechnischer Anlagen (REI). Im Zuge des Rückbaus der kerntechnischen Anlagen und Einrichtungen des VKTA – Strahlenschutz, Analytik & Entsorgung Rossendorf e. V. (VKTA) sowie der steten Neuerrichtung von Anlagen und Einrichtungen zu Forschungszwecken des Helmholtz-Zentrums Dresden-Rossendorf e. V. (HZDR) wurde und wird der Überwachungsumfang sukzessive angepasst. Der Überwachungsumfang und die Überwachungsergebnisse sind mit Schwerpunkt Grund- und Oberflächenwasser dargestellt.

Aktuell werden am FSR neben einer nach § 9 Atomgesetz (AtG) genehmigten Einrichtung noch eine Vielzahl von Einrichtungen und Anlagen, die nach Strahlenschutzgesetz (StrlSchG) genehmigt sind, betrieben. Diese sind u. a. auch Einrichtungen zur Behandlung und Lagerung nicht wärmeentwickelnder radioaktiver Stoffe. Diesbezüglich werden Aspekte für die Fortführung der Immissionsüberwachung in Anlehnung an die REI aufgeführt. Hierunter fallen u. a. die langfristigen Überwachungsmaßnahmen aus der früheren Nutzung, die vorbereitenden Maßnahmen für Notfälle und Störfälle, der Kompetenzerhalt sowie die Transparenz eines Forschungsstandortes gegenüber der Öffentlichkeit.

Summary

Based on the operation of the former Rossendorf research reactor, the associated facilities for processing the radionuclides generated for medicine, research and technology, as well as a large number of other facilities for generating ionizing radiation, immission monitoring takes place at the Rossendorf research centre (FSR). This has been done for almost 30 years in accordance with the Guideline concerning Emission and Immission Monitoring of Nuclear Installations (REI). As part of the dismantling of the nuclear facilities of the VKTA – Strahlenschutz, Analytik & Entsorgung Rossendorf e. V. (VKTA) as well as the ongoing construction of facilities for research purposes by the Helmholtz-Zentrum Dresden-Rossendorf e. V. (HZDR), the scope of monitoring has been and is being gradually adjusted. The scope of monitoring and the monitoring results are presented with a focus on ground and surface water.

In addition to a facility approved in accordance with § 9 of the Atomic Energy Act (AtG), the FSR currently operates a large number of facilities and systems that are approved in accordance with the Radiation Protection Act (StrlSchG). These include also facilities for the treatment and storage of non-heat-generating radioactive substances. In this regard, aspects for the continuation of immission monitoring are listed based on the REI. This includes, among other things the long-term monitoring measures from previous use, the preparedness measure for emergencies and

incidents, the maintenance of competence and the transparency of a research location towards the public.

1 Forschungsstandort Rossendorf

Der FSR wurde im Jahr 1956 als Zentralinstitut für Kernphysik, später Kernforschung, gegründet und bestand in seiner Form bis 1991. Als die Entscheidung zum Rückbau des Forschungsreaktors Rossendorf fiel, wurde 1992 der Forschungsstandort Rossendorf aufgegliedert in das Forschungszentrum Rossendorf, welches schließlich in die Helmholtz-Gesellschaft als HZDR überging, für den Forschungssektor und in den VKTA, welcher für den Rückbau der kerntechnischen Anlagen sowie der Entsorgung radioaktiver Stoffe verantwortlich ist. Mit diesem Hintergrund hatte der VKTA auch die Aufgabe der Emissions- und Immissionsüberwachung des FSR gemäß REI übernommen. Die Abbildung 1 zeigt den aktuellen Übersichtsplan des FSR mit seinen Emittenten, Mess- und Probenentnahmepunkte der Strahlenschutz-Umgebungsüberwachung.

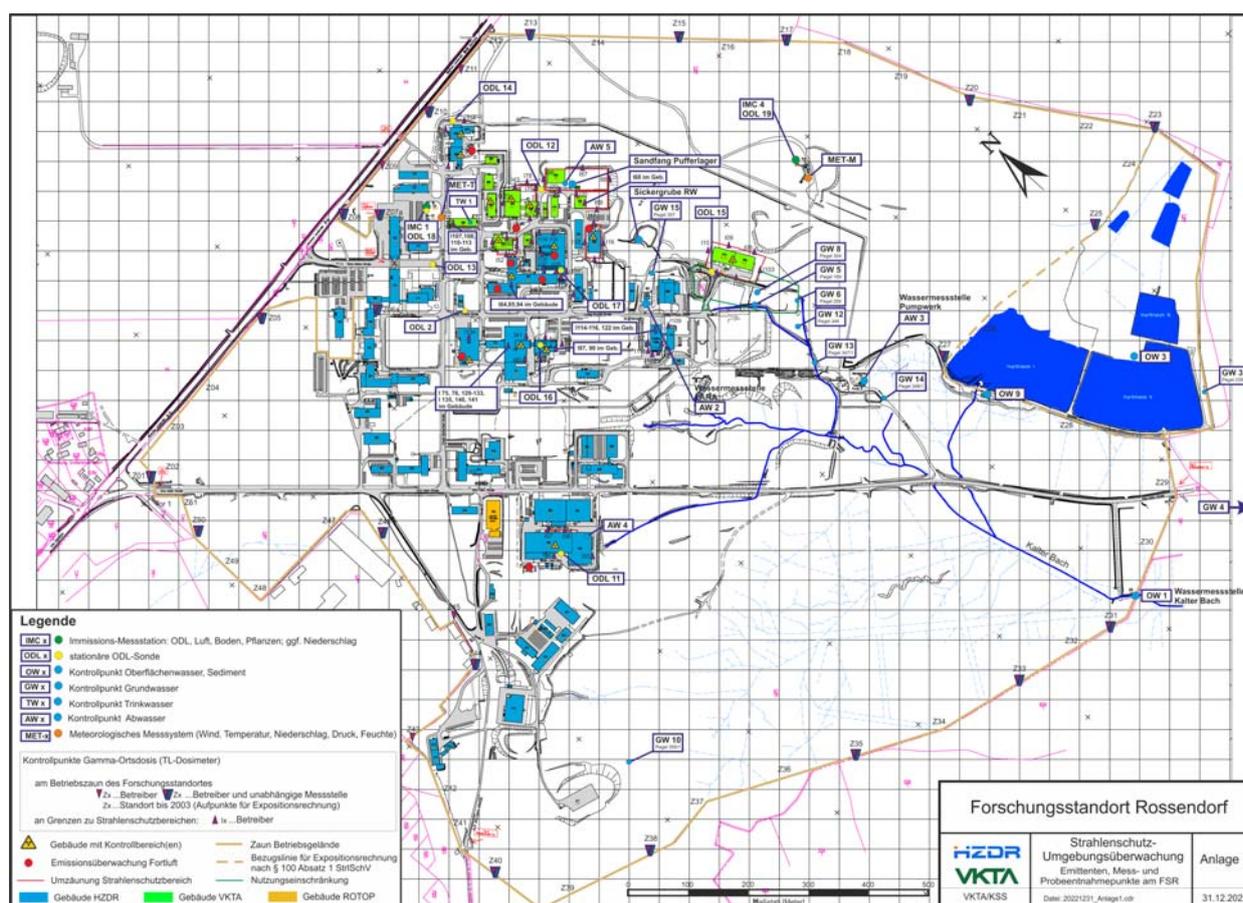


Abb. 1: Übersichtsplan der Emittenten, Mess- und Probenentnahmepunkte am FSR der Strahlenschutz-Umgebungsüberwachung

2 Genehmigungen und aufsichtliche Anordnungen im Zeitraum 1992 - 2022

Mit der steten Forschungsentwicklung des HZDR, Gründungen und Erweiterungen von Einrichtungen Dritter sowie dem fortschreitenden Rückbau der kerntechnischen Anlagen am FSR änderte und ändert sich auch stetig die Genehmigungssituation. Die Abbildungen 2 und 3 zeigen den Verlauf der Anzahl an Genehmigungen und aufsichtlichen Anordnungen im Zeitraum 1992

bis 2022. Zurzeit fallen darunter eine Genehmigung nach § 9 AtG sowie Genehmigungen für 5 Anlagen und 35 Einrichtungen nach § 12 Absatz 1 Nr. 1 bzw. Nr. 3 StrlSchG.

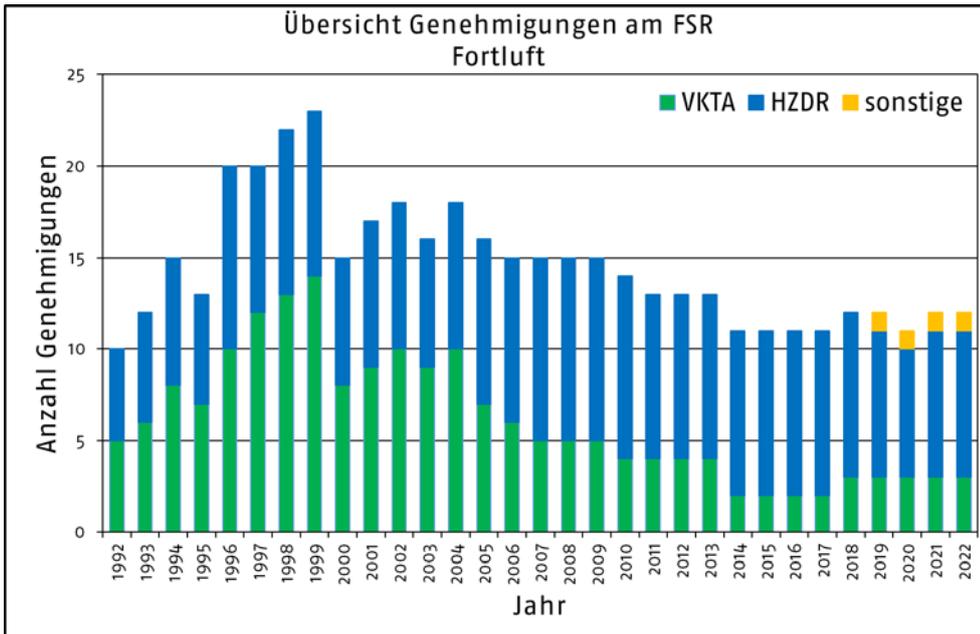


Abb. 2: Übersicht von 1992 bis 2022 zur Anzahl der Genehmigungen bzw. aufsichtlichen Anordnungen der Emittenten Fortluft des FSR

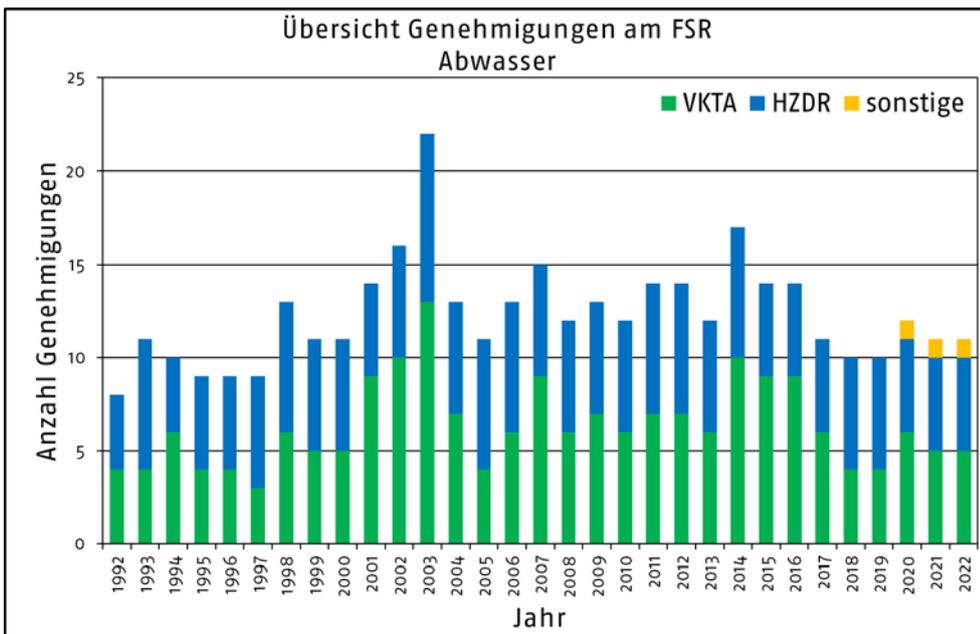


Abb. 3: Übersicht von 1992 bis 2022 zur Anzahl der Genehmigungen bzw. aufsichtlichen Anordnungen der Emittenten Abwasser des FSR

3 Ziele und Durchführung der Immissionsüberwachung

Grundsätzlich ist das Ziel der Immissionsüberwachung der Nachweis der Einhaltung des 1 mSv-Grenzwertes auf dem Betriebsgelände an Grenzen zu Strahlenschutzbereichen und am Betriebs-

zaun des FSR. Dabei ist der Umwelteinfluss durch Ableitungen radioaktiver Stoffe mit der Luft und dem Wasser sowie durch Direktstrahlung aus Anlagen und Einrichtungen zu erfassen. Diese Erfassung erfolgt durch Messungen nach der REI für den bestimmungsgemäßen Betrieb und für den Störfall. Den Tätigkeiten regelmäßig angepasst wird der Überwachungsumfang. Das beinhaltet unter anderem die Anpassung der Anzahl an Messstellen sowie auch die Turnusse der Überwachungsintervalle. Die Berichterstattung erfolgt über Quartals- und Jahresberichte an die zu überwachende Behörde.

4 Ortsdosimetrie auf dem FSR und in der Umgebung

Die Ortsdosimetrie ist in drei Messnetze aufgeteilt, das I-Dosimeter-Messnetz (intern) für die Überwachung an Grenzen zu Strahlenschutzbereichen innerhalb des Betriebsgeländes FSR, das Z-Dosimeter-Messnetz (Zaun) für die Überwachung zur Einhaltung der 1 mSv pro Jahr für die Bevölkerung am Zaun des Betriebsgeländes FSR und das T-Dosimeter-Messnetz (Territorium) für den Störfall in der Umgebung bis ca. 10 km vom FSR. Bei den Messnetzen der Z- und T-Dosimeter erfolgt an einigen Messorten ein Parallelbetrieb mit der von der überwachenden Behörde beauftragten unabhängigen Messstelle. Der Überwachungszeitraum beträgt jeweils ca. 1 Jahr. In der Abbildung 4 ist die Anzahl der Ortsdosimeter der drei Messnetze über die letzten 30 Jahre dargestellt.

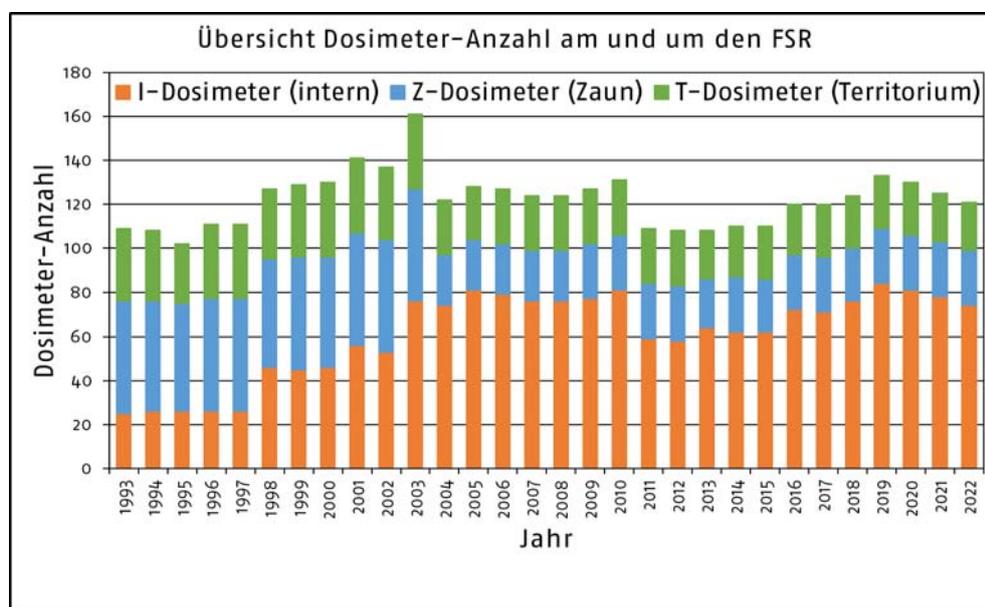


Abb. 4: Übersicht über die Anzahl der Dosimeter der einzelnen Messnetze intern, Zaun und Territorium am und um den FSR von 1993 bis 2022

Das interne Messnetz wird entsprechend den sich stetig ändernden Gegebenheiten am FSR angepasst. Nahezu konstant, zumindest vor und ab 2004, sind die Messnetze am Zaun des FSR und in der Umgebung. Die Verringerung der Dosimeter in diesen Messnetzen ab 2004 ist dem fortschreitenden Rückbau des ehemaligen Forschungsreaktors und weiterer kerntechnischer Anlagen und Einrichtungen zuzuschreiben. Bevorzugte Standorte für die Dosimeter in der Umgebung sind Privatgrundstücke; die Intention dahinter ist der Schutz vor Diebstahl und Vandalismus. Leider kam es in den letzten Jahren zu Akzeptanz-Problemen bei wenigen Eigentümern, meistens wenn ein Generationswechsel stattfand.

Eine kontinuierliche Online-Überwachung erfolgt nur innerhalb des FSR mit dem Umweltmessnetz REMSY (Radiological Environmental Monitoring System). Dabei geben die Online-Messstel-

len einen aktuellen Überblick zur radiologischen, meteorologischen und hydrologischen Situation sowie zum Betriebszustand der Überwachungsanlagen. Dazu zählen u. a. 10 stationäre Ortsdosisleistungs-Sonden deren Messwerte ins REMSY gespeist werden. Des Weiteren stehen 13 mobile Funk-Ortsdosisleistungs-Sonden für den innerbetrieblichen Strahlenschutz zur Verfügung. Darüber hinaus erfolgt in einer Immissionsmessstelle die Überwachung der natürlichen und künstlichen Alpha- und Beta-Aktivitätskonzentration.

5 Oberflächen- und Grundwasser

Bis 2010 erfolgte die Behandlung von Abwässern über eine standortinterne Kläranlage mit anschließenden Nachklärteich (Harttheich 1) und der Ableitung über den Kalten Bach. Ab 2010 werden konventionelle Abwässer direkt und Laborabwässer über die Laborabwasser-Reinigungsanlage in die kommunale Kläranlage abgeleitet. Aus dem Anlagenbetrieb vor 1990 sind Einträge von Aktivität ins Grundwasser bekannt. Die Abbildungen 5 und 6 zeigen die H-3-Aktivitätskonzentration im Grundwasser der Messstelle GW 5 und im Oberflächenwasser Kalter Bach (OW 1).

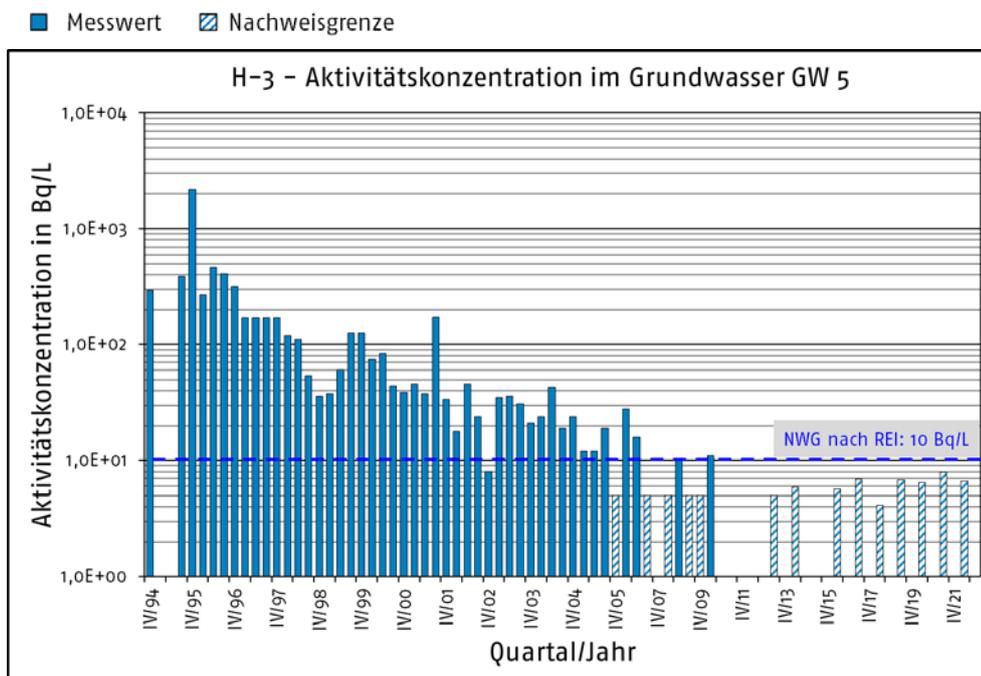


Abb. 5: H-3-Aktivitätskonzentration im Grundwasser (Messstelle GW 5)

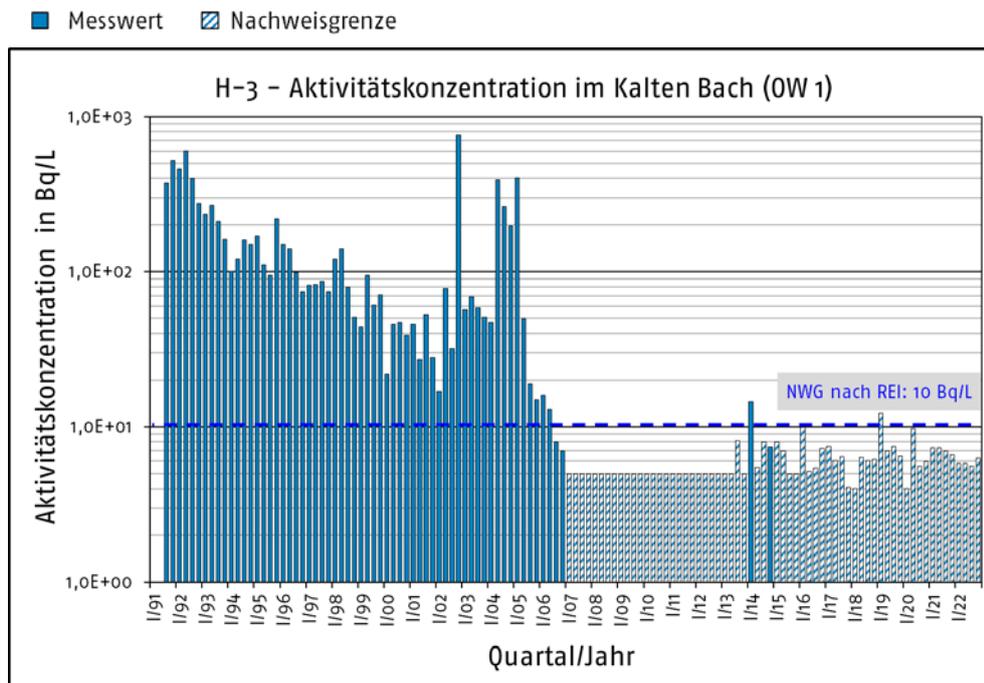


Abb. 6: H-3-Aktivitätskonzentration im Oberflächenwasser Kalter Bach (OW 1)

Die sukzessive Abnahme der H-3-Aktivitätskonzentration ist mit dem fortschreitenden Rückbau der kerntechnischen Anlagen im Grund- sowie im Oberflächenwasser in den Abbildungen nachvollziehbar. In den Jahren 2002, 2004 und 2005 sind geplante Ableitungen von H-3-haltigen Deionat-Wässern aus Abklingbecken durchgeführt worden, welches in der Abbildung 6 am Anstieg der H-3-Aktivitätskonzentration zu erkennen ist.

6 Perspektive der Immissionsüberwachung

Aus früheren Tätigkeiten ist die Überwachung von Grund- und Oberflächenwasser im Hinblick auf eine 50-jährigen Nutzungseinschränkung einer Fläche bis 2062 notwendig. Die ausführliche und erforderliche Dokumentation des Zusammenwirkens aktueller Tätigkeiten am FSR ist ein maßgebender Faktor für die Transparenz gegenüber den Mitarbeitern und der Öffentlichkeit. Die Ausbildung und vorbereitende Maßnahmen der Notfallvorsorge (Betreiberpflicht) und für die nukleare Gefahrenabwehr ist ein weiterer Bestandteil der zukünftigen Aufgaben des VKTA. Angesichts der Renaissance der Kernkraft in den Nachbarländern und nuklearer Bedrohungen bleibt der Erhalt der Kompetenz in der Umweltüberwachung aktuell.

P025: Beispielhafte Simulationen zum „Leitfaden Direktstrahlung“

Example simulations for the “Direct Radiation Guide”

R. Merk

Bundesamt für Strahlenschutz, 38226 Salzgitter

Zusammenfassung

Die neue „AVV Tätigkeiten“ [1] sieht eine realitätsnahe Ermittlung der Dosis bei einer Strahlenexposition durch Direktstrahlung vor. Bei komplexen Expositionsgeometrien ist hierfür oft eine Strahlungstransportrechnung nötig, welche sich näherungsweise durch eine Monte-Carlo-Simulation durchführen lässt. Monte-Carlo-Simulationen gelten jedoch vielfach als schwer programmierbar und werden besonders bei langen Rechenzeiten gemieden. Bei einfachen Expositionsgeometrien kann man sich mit handelsüblichen oder sogar online angebotenen Punkt-Kern-Integratoren behelfen. Bei diesen Programmen kann die Strahlendosis durch Direktstrahlung nach Eingabe der Expositionsparameter (z. B. Radionuklid, Aktivität, vereinfachte Geometrie) in der Regel in kurzer Zeit unmittelbar berechnet werden. Das Bundesamt für Strahlenschutz (BfS) hat einen Leitfaden erarbeitet, in dem beispielhaft Vereinfachungsmöglichkeiten komplexer Expositionssituationen zur Ermittlung der Exposition durch Direktstrahlung erläutert werden.

Summary

The new “AVV Tätigkeiten” [1] provides for a realistic determination of the dose in the case of radiation exposure by direct radiation. For complex exposure geometries, a radiation transport calculation is often necessary, which can be approximated through a Monte Carlo simulation. However, Monte Carlo simulations are often considered challenging to program and are often avoided, especially when dealing with long computation times. For simple exposure geometries, one can resort to commonly used or even online-offered point-kernel integrators. With these programmes, the radiation dose due to direct radiation can usually be calculated immediately after entering the exposure parameters (e.g., radionuclide, activity, simplified geometry). The Federal Office for Radiation Protection (BfS) has developed a guide in which ways to simplify complex exposure situations for the determination of exposure by direct radiation are explained, using examples.

1 Monte-Carlo-Simulationen zu typischen Expositionssituationen durch Direktstrahlung

Die AVV Tätigkeiten [1] ist eine Berechnungsvorschrift zur Bestimmung der Exposition von Einzelpersonen der Bevölkerung durch genehmigungs- oder anzeigepflichtige Tätigkeiten. Beispiele für Tätigkeiten sind die Lagerung künstlich erzeugter radioaktiver Stoffe und die Errichtung, der Betrieb und die Stilllegung einer kerntechnischen Anlage oder einer Anlage zur Erzeugung ionisierender Strahlung. Die AVV Tätigkeiten ist eine Sammlung von mathematischen Modellen, Modellparametern, Modellannahmen und weiteren Vorgaben, welche den Transport von Radionukliden in der Umwelt und die Direktstrahlung von der Quelle bis zum Menschen betreffen und es gestattet, die dadurch entstehende Exposition des Menschen zu berechnen. Die erhaltene Dosis ist möglichst realitätsnah abzuschätzen (realitätsnahe retrospektive Dosisabschätzung).

Zur Direktstrahlung hat das Bundesamt für Strahlenschutz (BfS) hierfür einen Leitfaden [2] erstellt.

Computersimulationen zum Strahlungstransport haben durch die Nennung wichtiger Monte-Carlo-Codes in der AVV Tätigkeiten [1] an Beachtung gewonnen. Bei komplexen Geometrien können Felder ionisierender Strahlung meist nicht mehr durch einfache Strahlenschutz-Software berechnet werden. Aus der Sicht des wissenschaftlichen Strahlenschutzes ist in den meisten Fällen mit komplexer Geometrie die Monte-Carlo-Simulation nach Stand von Wissenschaft und Technik das Mittel der Wahl, um Strahlungsfelder und die Exposition durch Direktstrahlung rechnerisch zu ermitteln. Die Monte-Carlo-Simulation des Strahlungstransports ist eine Simulationsmethode, bei der ein Computer aus einer physikalisch detaillierten Simulation einer sehr großen und damit statistisch signifikanten Zahl von Einzelereignissen ein mittleres Ergebnis, zum Beispiel eine Strahlendosis, ermittelt. Bekannte Monte-Carlo-Codes, die in der AVV Tätigkeiten explizit aufgeführt wurden, sind etwa das Programm *PENELOPE*, entwickelt an der Universität Barcelona [3], oder die sehr umfangreiche Software *SCALE* vom Oak Ridge National Laboratory (USA) [4]. Beide Programme werden am BfS verwendet.

Leider ist die Vorbereitung, Durchführung und Auswertung einer Monte-Carlo-Simulation als anspruchsvoll bekannt. Die Rechenzeiten weisen zudem eine große Bandbreite auf, die typischerweise je nach Problemstellung, Hardware und Programmieretechnik zwischen unter einer Stunde und mehreren Wochen liegen kann. Es gibt dennoch Fälle, in denen eine Monte-Carlo-Simulation aus fachlicher Sicht unumgänglich ist.

Es gibt auf dem Markt Software zur vereinfachten Berechnung der Exposition durch Direktstrahlung, welche nicht auf die Monte-Carlo-Simulation zurückgreift (sogenannte Point-Kernel-Integratoren). Diese Software ist von Bedienungsaufwand und Rechenzeit her einfach zu handhaben. Ein prominentes Beispiel hierfür ist das etablierte Programm *Microshield* (Grove Software Inc.) [5]. Software zur vereinfachten Berechnung oder Faustformeln sind jedoch nur bedingt auf die schiere Fülle denkbarer Expositionssituationen anwendbar. *Microshield* etwa stellt zwar einfache Strahlungs- und Abschirmgeometrien bereit. Es ist jedoch in der Regel unmöglich, mit derartigen Programmen eine komplizierte reale Geometrie abzubilden und den Strahlungstransport bei dieser Geometrie zu berechnen. Jeder Teil einer gegebenen Geometrie beeinflusst die Abschirmung und Streuung der Strahlung, so dass eine quantitative Beurteilung des Gesamteffekts auch bei großer Erfahrung im Strahlenschutz eine beträchtliche Herausforderung darstellen kann.

Ein Beispiel, bei dem es gelingt, die Strahlendosis auch auf einfache Weise abzuschätzen, ist die Betrachtung einer normierten Strahlenquelle in einem Standardraum. Eine solche Konfiguration eines Lagerraumes für eine Strahlenquelle wäre etwa in einem nuklearmedizinischen Behandlungszentrum denkbar. Bei einer Strahlenquelle in einem Standardraum erbringt die Dosisbetrachtung für einen konservativ gewählten Dosisaufpunkt in einem Vorraum oder Korridor mit der sehr einfach bedienbaren Software *Microshield* eine konservative Dosisabschätzung in guter Übereinstimmung mit einer wesentlich aufwendigeren Monte-Carlo-Simulation mit *SCALE*. Das Beispiel lässt sich auch ausbauen oder abwandeln. Der *BfS-Leitfaden* [2] zeigt derartige Fallbeispiele. Ergebnisse der zugehörigen Monte-Carlo-Simulation sind in Abbildung 1 als Kontourplot der effektiven Dosisleistung in 1,25 m Höhe dargestellt. Simuliert wurde eine normierte Co-60-Strahlenquelle mit 1 Bq Aktivität und mittig im linken von drei nebeneinander liegenden Standardräumen platziert (3 m x 4 m, Höhe 2,5 m, Wanddicke 20 cm). Durch Umskalieren der Ergebnisse lässt sich auch jede andere Aktivität annehmen.

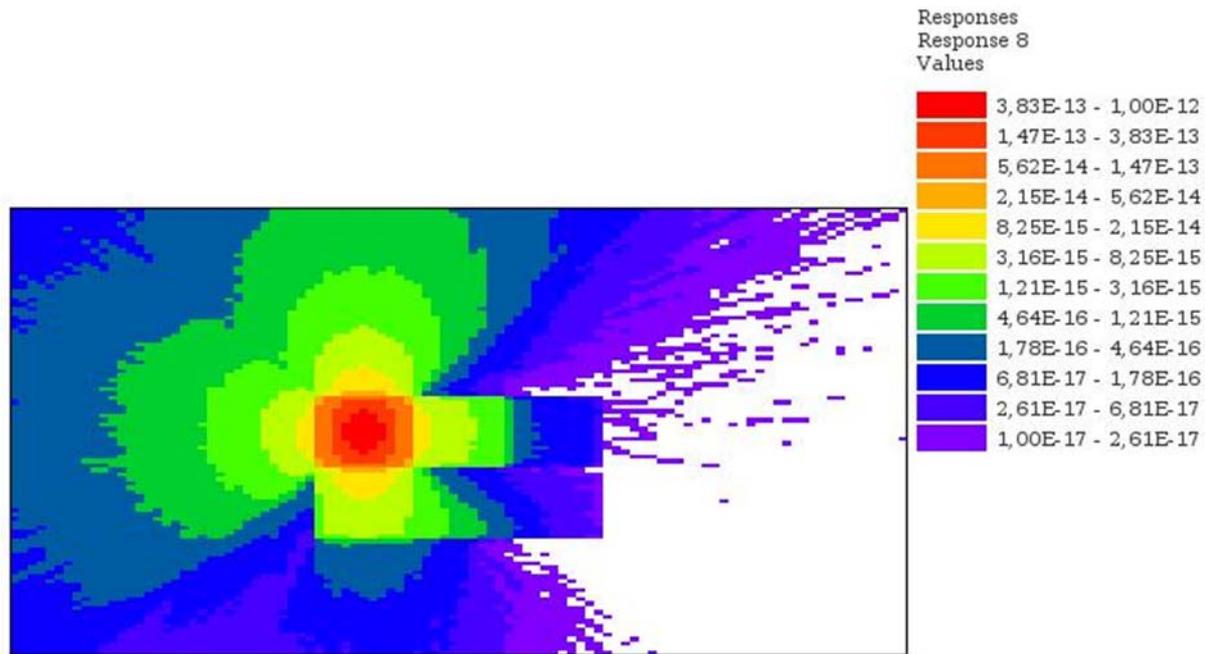


Abb. 1: Effektive Dosisleistung einer Co-60-Strahlenquelle mit einer normierten Aktivität von 1 Bq in Sv/h, Monte-Carlo-Simulation mit SCALE [4]. Die Quelle befindet sich im linken von drei nebeneinander liegenden Räumen, die sich in der Dosiskartierung deutlich abzeichnen. Den Räumen vorgelagert ist ein Korridor, der ebenfalls im Dosisleistungsprofil sichtbar wird. Darstellung mit dem SCALE-Tool Meshview [4]. Nähere Angaben hierzu finden sich im Text.

2 Fälle komplexer oder unentbehrlicher Monte-Carlo-Simulationen

Eine Dosisermittlung lässt sich vielfach vereinfachen, wenn von vornherein konservative Grundannahmen getroffen werden. Fehlende Abschirmungen in der Modellierung bewirken zum Beispiel in der Regel eine konservative Dosisberechnung. Allerdings könnten in einem Raum platzierte Gegenstände aufgrund ihrer Streuwirkung auf Strahlung in Einzelfällen auch fokussierend wirken. Ein solcher Einfluss ist mit einer *Microshield*-Rechnung (Abschnitt 1) jedoch schwer abzuschätzen. Eine SCALE-Monte-Carlo-Simulation zeigt aber, dass die einfache Rechnung oft ausreicht. Für dieses Beispiel wurden in der Modellgeometrie aus Abschnitt 1 künstliche Streukörper in den Raum mit der Strahlenquelle platziert (Betonssäulen, vgl. Abbildung 2).

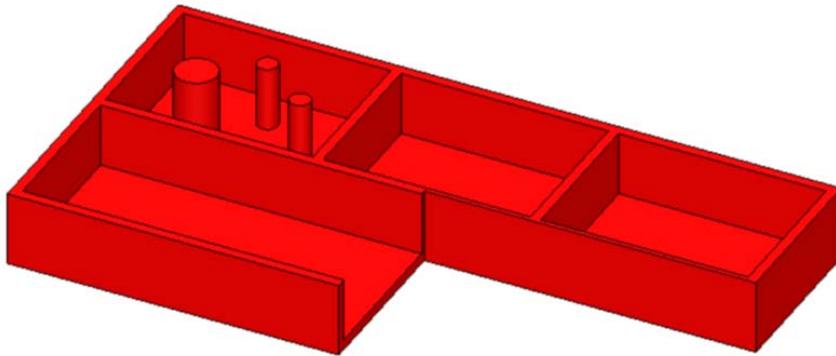
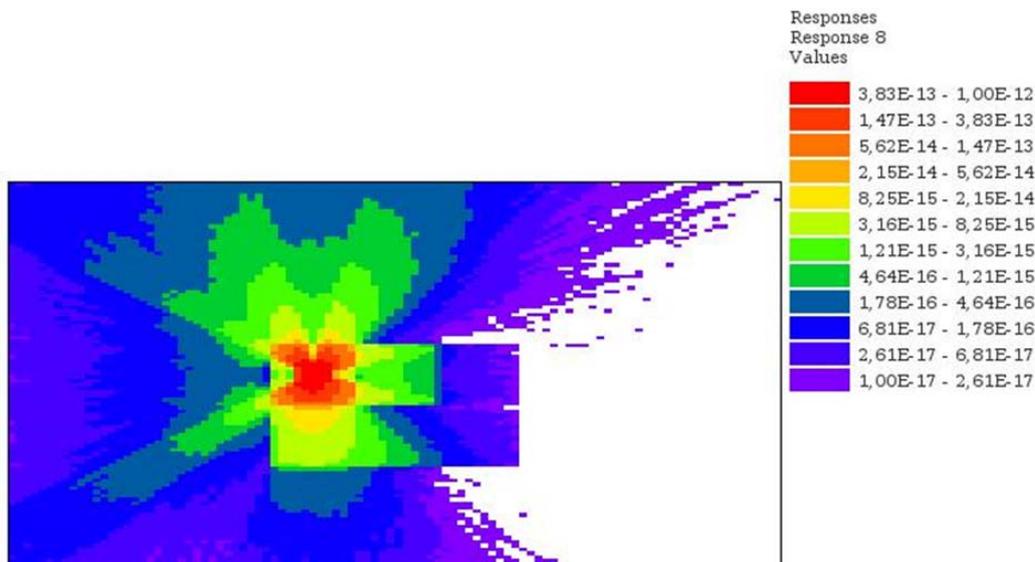


Abb. 2: Dreidimensional angedeuteter Aufbau einer einfachen Geometrie dreier nebeneinander liegender Räume mit Vorraum bzw. Korridor, welche in der Monte-Carlo-Simulation des Strahlungsfeldes einer radioaktiven Quelle genutzt wurde. Der links liegende Raum enthält die Quelle und weitere geometrische Elemente (Säulen), die Strahlung absorbieren oder streuen können. Die Grafik wurde mit dem SCALE-Tool Keno3d [4] erzeugt. Zu Darstellungszwecken wurden in der Skizze das vordere rechte Viertel der Geometrie sowie die gesamte obere Hälfte entfernt. Die Simulation mit SCALE berücksichtigt aber den gesamten Aufbau.

Die zugehörige Monte-Carlo-Simulation ist nun schwieriger in der Ausführung und ergibt auch im Vergleich zu Abbildung 1 ein detailreicheres Dosisleistungsprofil (Abbildung 3).



Scale: |-----| 1000.0 cm

Abb. 3: SCALE-Monte-Carlo-Simulation der effektiven Dosisleistung aufgrund einer normierten 1 Bq Co-60-Strahlenquelle in dem links gelegenen Raum der Modellgeometrie aus Abschnitt 1, der zusätzlich drei Betonsäulen enthält, welche die Strahlung absorbieren und streuen können (siehe Abbildung 2). Horizontales Dosisleistungsprofil in einer Höhe von 1,25 m, effektive Dosisleistung in Sv/h. Die Grafik wurde mit dem SCALE-Tool Meshview [4] erzeugt.

Ein weiteres Beispiel, in dem einfache Softwarewerkzeuge zur Dosisabschätzung versagen können, sind Teilchenstrahlenwendungen im Rahmen einer nuklearmedizinischen Therapie. Beschleunigt werden dabei Elementarteilchen wie Protonen oder Elektronen bzw. auch Ionen etwa mit einem Linearbeschleuniger. Der Teilchenstrahl und die von ihm erzeugte Sekundärstrahlung können dabei mitunter ein komplexes Strahlungsfeld erzeugen. Die von diesem Feld ausgehende Strahlendosis ist oftmals nicht einfach zu berechnen.

So können bei der Verwendung von hochenergetischer Elektronenstrahlung in der Medizin Effekte auftreten, die eine Dosisberechnung erheblich aufwendiger machen als in Abschnitt 1 beschrieben. Bei der Erzeugung des hochenergetischen Elektronenstrahls sowie bei jedem Kontakt mit Materie entsteht Sekundärstrahlung in Form von Bremsstrahlung. Bei Elektronenstrahlung für medizinische Anwendungen, die in Linearbeschleunigern erzeugt wird, ist deswegen Bremsstrahlung zu berücksichtigen, etwa als Photonenstrahlung, die bei der Erzeugung des Elektronenstrahls entsteht oder Photonenstrahlung, die beim Kontakt des Elektronenstrahls mit einer Abschirmung entsteht.

Das BfS hat für eine generische Modellrechnung zur Exposition einer Augenlinse das durch einen nadelförmigen Elektronenstrahl (*Pencil Beam*) erzeugte Bremsstrahlungsfeld hinter einer Betonabschirmung untersucht. Hierbei kam das Monte-Carlo-Programm *PENELOPE* [3] zum Einsatz, das zur Betrachtung von Elektronen besonders geeignet ist. Bereits diese einfache Konfiguration führt zu einem komplexen Strahlungsfeld durch Bremsstrahlung im Bereich hinter der Wand. Das entstehende Bremsstrahlungsspektrum ist dabei abhängig von der Energie des Elektronenstrahls sowie dem Material und der Dicke der abschirmenden Mauer. Konkret ging es bei dem betrachteten Problem um das Vorhandensein niederenergetischer Bremsstrahlungsphotonen im unteren keV-Bereich (vgl. Abbildung 4).

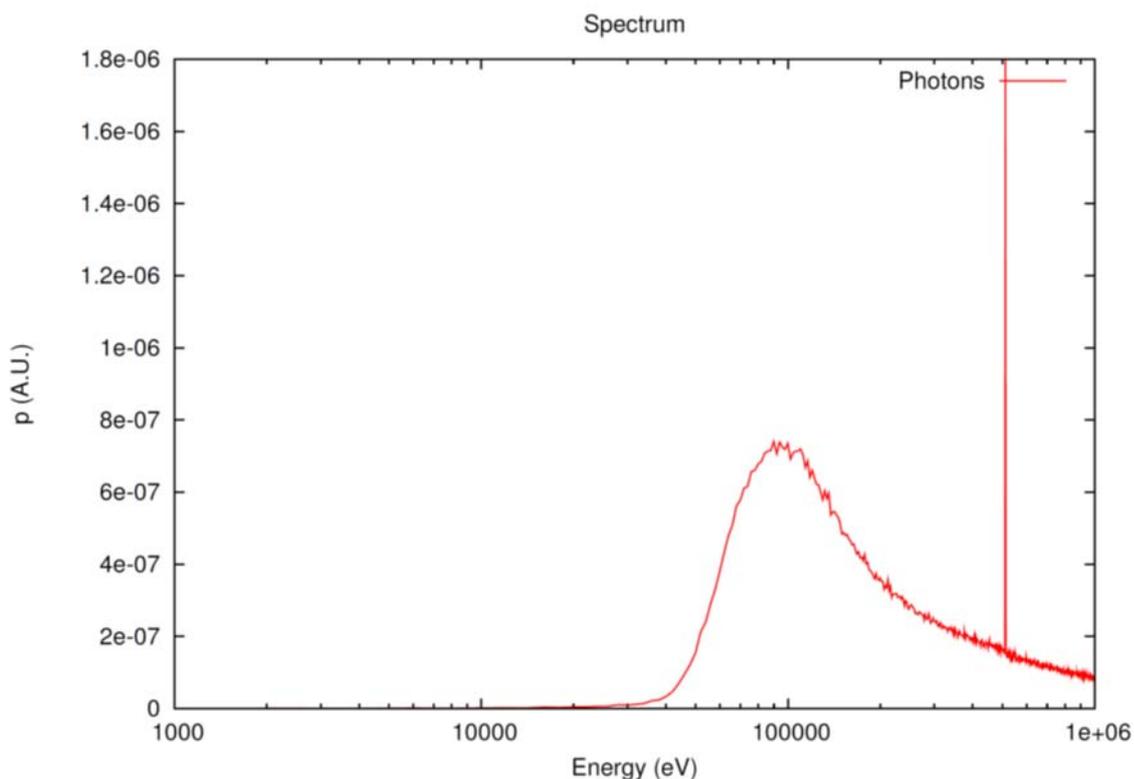


Abb. 4: Bremsstrahlungsspektrum eines Elektronenstrahls mit 20 MeV, der durch eine Betonwand ($2,3 \text{ g/cm}^3$, 19 cm Dicke) abgeschirmt wird. Der Peak bei 511 keV entsteht durch Paarvernichtung. Die Simulation erfolgte mit dem Monte-Carlo-Programm *PENELOPE* [3].

Das Beispiel zeigt, dass mit einer Monte-Carlo-Simulation auch Einzelaspekte einer schwer zu analysierenden Expositionssituation untersucht bzw. Argumente zu Einzelaspekten untermauert werden können. Bereits solche Teilsimulationen können sich aber als recht aufwendig gestalten.

3 Schlussfolgerungen

In der AVV Tätigkeiten können aufgrund der Vielfalt der Anwendungsfälle keine allgemeingültigen Formeln zur Abschätzung der Strahlendosis infolge Direktstrahlung angegeben werden. Es wird u. a. auf wohlbekannte Monte-Carlo-Programme verwiesen. Auch zur Bedienung dieser Programme und zur Anwendung in konkreten Fällen können keine einfachen Handlungsanweisungen gegeben werden. Hierfür ist eine gründliche Einarbeitung in die Thematik erforderlich oder die Expositionsberechnung wird einem fachlich versierten Gutachter überlassen. Der *BfS-Leitfaden* zur AVV Tätigkeiten [2] kann zwar nicht für jeden in der Praxisanwendung der AVV Tätigkeiten denkbaren Fall die passende Vorgehensweise darstellen, er gibt jedoch einen Überblick über eine Auswahl der Rechenmethoden zur Dosisbestimmung und stellt eingängige und typische Beispielrechnungen zur Verfügung.

4 Literatur

- [1] Allgemeine Verwaltungsvorschrift zur Ermittlung der Exposition von Einzelpersonen der Bevölkerung durch genehmigungs- oder anzeigebedürftige Tätigkeiten (AVV Tätigkeiten), BAnz AT 16.06.2020 B3.
- [2] Leitfaden zur Ermittlung der Exposition von Einzelpersonen der Bevölkerung durch ionisierende Strahlung aus Anlagen oder Einrichtungen (Direktstrahlung). Bundesamt für Strahlenschutz, 2019.
- [3] F. Salvat, J. M. Fernandez-Varea, J. Sempau 2009. PENELOPE-2008: A code system for Monte-Carlo-Simulation of Electron and Photon Transport. NEA No. 6416. OECD Nuclear Energy Agency, Issy-les-Moulineaux, France.
- [4] Scale: A Comprehensive Modeling and Simulation Suite for Nuclear Safety Analysis and Design, ORNL/TM-2005/39, Version 6.1, June 2011. Available from Radiation Safety Information Computational Center at Oak Ridge National Laboratory as CCC-785.
- [5] Microshield Version 8.01. Grove Software Inc., 1995-2008. <https://www.radiationsoftware.com>.

P024: Radon an Arbeitsplätzen des Freistaates Sachsen

Radon at workplaces in the Free State of Saxony

*M. Alisch-Mark, J. Pianski, J. Pezenka, S. Friedemann, T. Heinrich
Staatliche Betriebsgesellschaft für Umwelt und Landwirtschaft, Sachsen*

Zusammenfassung

Mit der Umsetzung der Richtlinie 2013/59/EURATOM des Rates der Europäischen Union vom 05.12.2013 in nationales Recht gilt seit 31.12.2018 ein Referenzwert von 300 Becquerel pro Kubikmeter im Jahresmittel für Arbeitsplätze und Aufenthaltsräume in Gebäuden. In Sachsen wurden etwa ein Viertel der Städte und Gemeinden zum 31.12.2020 als Radonvorsorgegebiet ausgewiesen. An Arbeitsplätzen in Keller- und Erdgeschossräumen innerhalb der ausgewiesenen Gebiete sind Messungen an den Arbeitsplätzen in Keller- und Erdgeschossräumen gesetzlich verpflichtend durchzuführen. Für Arbeitsplätze in Innenräumen, für die der Freistaat Sachsen als Verantwortlicher für die Erhebung der Jahresmittelwerte der Radonkonzentration zuständig ist, wurde die Durchführung über die Staatliche Betriebsgesellschaft für Umwelt und Landwirtschaft (BfUL) angeboten. Außerdem wurden durch die BfUL bereits vor der Ausweisung der Radonvorsorgegebiete Daten der Radonkonzentration an Arbeitsplätzen in Innenräumen im Rahmen freiwilliger Messprogramme im gesamten Freistaat Sachsen erhoben. Die Ergebnisse der Auswertung von ca. 10.500 Exposimetermessungen werden hier dargestellt.

Summary

With the implementation of Directive 2013/59/EURATOM of the Council of the European Union of December 5, 2013 into national law, a reference value of 300 Becquerels per cubic meter as an annual average has been in effect for workplaces and lounges in buildings since December 31, 2018. In Saxony, around a quarter of the cities and municipalities were designated as radon prone areas in December 31, 2020. Measurements are legally required to be carried out at workplaces in basements and ground floors within the designated areas. For indoor workplaces for which the Free State of Saxony is responsible for collecting the annual average radon concentration values, implementation was offered by the Saxon State Company for Environment and Agriculture (BfUL). In addition, before the designation of radon prone areas, the BfUL collected data on the radon concentration at indoor workplaces as part of voluntary measurement programs throughout the Free State of Saxony. The results of the evaluation of approximately 10.500 exposimeter measurements are presented here.

1 Die Radonvorsorgegebiete in Sachsen

In Sachsen wurden 107 der 419 Städte und Gemeinden zum 31.12.2020 als Radonvorsorgegebiete nach § 121 des Strahlenschutzgesetzes (StrlSchG) ausgewiesen. Die ausgewiesenen Städte und Gemeinden befinden sich in den Landkreisen Erzgebirgskreis, Vogtlandkreis, Mittelsachsen, Sächsische Schweiz-Osterzgebirge sowie Zwickau (Abb. 1).

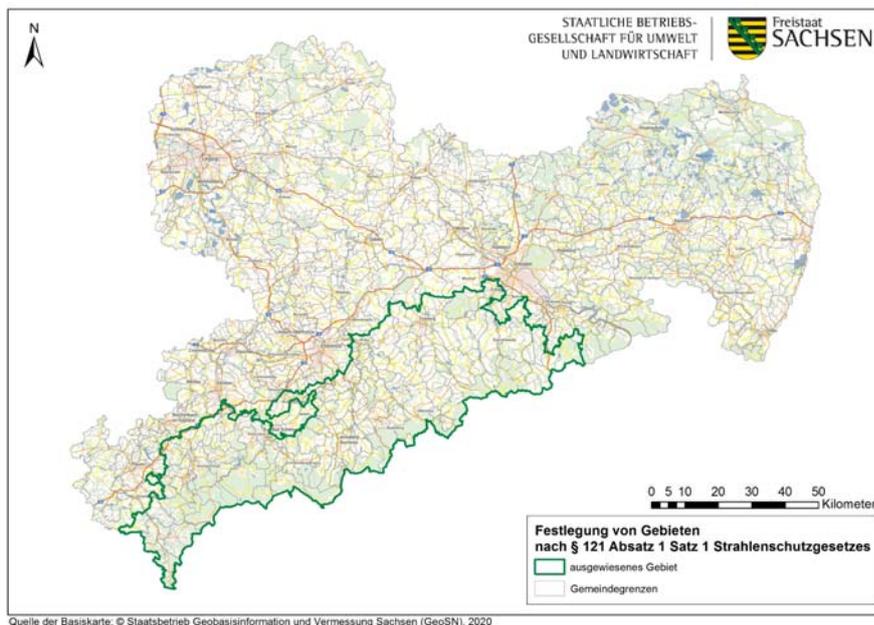


Abb. 1: Die Karte der Radonvorsorgegebiete (RVG) in Sachsen.

Die Ausweisung der Gebiete nach §121 StrlSchG hat eine rechtliche Verpflichtung zur Messung der Radon-222-Aktivitätskonzentration an Arbeitsplätzen in Innenräumen zur Folge, sofern sich die Arbeitsplätze in Keller- oder Erdgeschossräumen innerhalb der Radonvorsorgegebiete befinden. Für alle Arbeitsplätze gilt der Referenzwert der Radon-222-Aktivitätskonzentration von 300 Bq/m^3 im Jahresmittel, unabhängig von der Ausweisung der Radonvorsorgegebiete.

2 **Erstmessungen der Radon-222-Aktivitätskonzentration an Arbeitsplätzen - Datenerhebung**

Bereits im Vorfeld der Ausweisung der Radonvorsorgegebiete und damit vor der Messverpflichtung nach § 127 StrlSchG wurden freiwillige Messungen der Radon-222-Aktivitätskonzentration an Arbeitsplätzen des Landes Sachsen im Rahmen spezifischer Messprogramme u. a. in Schulen, in Dienststellen im Geschäftsbereich des Sächsischen Staatsministeriums für Energie, Klimaschutz, Umwelt und Landwirtschaft sowie in Polizeidienststellen durchgeführt. Darüber hinaus erfolgten ebenfalls Messungen an Arbeitsplätzen in kommunalen Gebäuden im Rahmen des Messprogrammes „Radon in öffentlichen Gebäuden“.

Nach der Ausweisung der Gebiete nach § 121 StrlSchG wurden die Pflicht-Messungen des Jahresmittelwertes der Radon-222-Aktivitätskonzentration an Arbeitsplätzen des Landes Sachsen in Keller- und Erdgeschossräumen innerhalb der Radonvorsorgegebiete über die Staatliche Betriebsgesellschaft für Umwelt und Landwirtschaft (BfUL) durchgeführt. Im Rahmen des Messprogramms „Radon an Arbeitsplätzen des Freistaates Sachsen“ konnten außerdem weiterhin freiwillige Messungen der Radon-222-Aktivitätskonzentration an Arbeitsplätzen des Landes durchgeführt werden, die sich in Gebieten außerhalb der Radonvorsorgegebiete befinden und keiner Messverpflichtung unterliegen.

Insgesamt wurden seit dem Jahr 2015 im Rahmen der Messprogramme eine Gesamtanzahl von ca. 10.500 Erstmessungen an Arbeitsplätzen über die BfUL durchgeführt. Davon wurden 56 % der Exposimeter für Messungen an Arbeitsplätzen in den Gebieten eingesetzt, die 2020 als Radonvorsorgegebiete ausgewiesen wurden (Abb. 2). Weitere 44 % der Erstmessungen fanden außerhalb der Radonvorsorgegebiete als freiwillige Messungen statt.

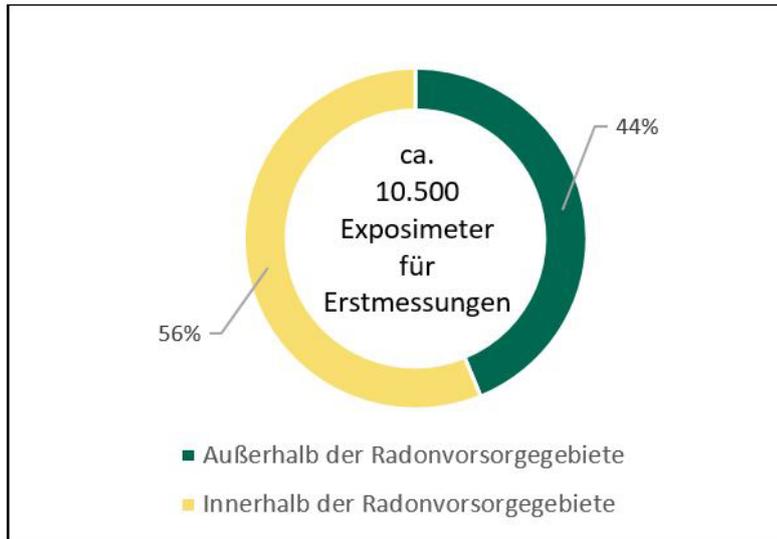


Abb. 2: Die Anzahl der Erstmessungen über die BfUL der Radon-222-Aktivitätskonzentration an Arbeitsplätzen im Freistaat Sachsen.

Die Messgeräte wurden mit Hinweisen zur Auslegung nach Absprache jeweils an die Gebäude- bzw. Arbeitsplatzverantwortlichen versandt und nach einer Messzeit von 12 Monaten wieder zurückerhalten. Nach der Auswertung wurde für die Teilnehmer jeweils ein Bericht erstellt, der die Ergebnisse und die Bewertung der Messungen enthielt sowie Hinweise und Empfehlungen zum weiteren Vorgehen. Teilnehmern mit Gebäuden, in denen an Arbeitsplätzen Überschreitungen des Referenzwertes der Radon-222-Aktivitätskonzentration auftraten, wurden die Ergebnisse in der Regel in einer persönlichen Präsentation vorgestellt und eingeordnet. Darüber hinaus wurde seitens der BfUL auch Unterstützung bei der Kommunikation der Ergebnisse gegenüber den Nutzern bzw. Mitarbeitern sowie gegenüber dem Personalrat angeboten.

Zum Zeitpunkt der Erstellung dieser Auswertung im August 2023 wurden 97 % der für die Erstmessung versandten Exposimeter zurückerhalten und ausgewertet, 3 % dieser Messungen waren noch nicht abgeschlossen.

3 Ergebnisse der Messungen der Radon-222-Aktivitätskonzentration an Arbeitsplätzen

3.1 Ergebnisse der Radonmessungen (Erstmessungen) – Bewertung der Gebäude

Ausgewertet wurden die Ergebnisse der Exposimetermessungen an Arbeitsplätzen aus etwa 1.380 Gebäuden, jeweils getrennt nach Standort innerhalb bzw. außerhalb der Radonvorsorgegebiete. Dabei wurden nach DIN ISO 11665-8 die Einzel-Messwerte des Gebäudes zu einem Bewertungswert zusammengefasst und kategorisiert. Ein Bewertungswert von „300 – 600 Bq/m³“ bzw. „>600 Bq/m³“ bedeutet, dass im Gebäude mindestens ein Raum eine entsprechende Über-

schreitung des Referenzwertes aufweist. In Abb. 3 sind die Ergebnisse bezogen auf die Bewertung der Gebäude dargestellt.

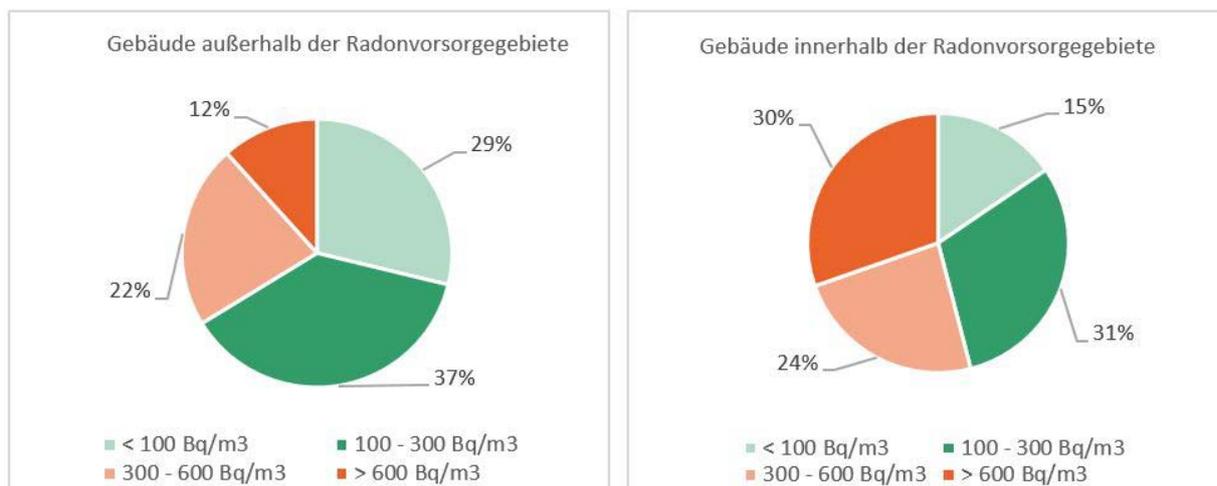


Abb. 3: Ergebnisse der Radonmessungen in Gebäuden mit Arbeitsplätzen außerhalb (linke Grafik) bzw. innerhalb (rechte Grafik) der Radonvorsorgegebiete.

Wie in der linken Grafik der Abb. 3 dargestellt, wurde außerhalb der Radonvorsorgegebiete in 2/3 der untersuchten Gebäude an allen gemessenen Arbeitsplätzen der Referenzwert der Radon-222-Aktivitätskonzentration von 300 Bq/m³ eingehalten. Bei 34 % der untersuchten Gebäude außerhalb der nach § 121 StrlSchG ausgewiesenen Gebiete wurde in mindestens einem Raum mit Arbeitsplatz eine Überschreitung des Referenzwertes festgestellt.

Innerhalb der Radonvorsorgegebiete wurden dagegen in 46 % der untersuchten Gebäude an allen Arbeitsplätzen der Referenzwert eingehalten, und in 54 % der Gebäude in mindestens einen Raum mit Arbeitsplätzen eine Überschreitung des Referenzwertes festgestellt (vgl. Abb. 3, rechte Grafik).

3.2 Ergebnisse der Radonmessungen (Erstmessungen) – Auswertung der Einzelmessungen

Die Ergebnisse der Exposimetermessungen wurden auch einzeln und unabhängig vom Gebäude ausgewertet (Abb. 4). Bezogen auf die untersuchten Arbeitsplätze in Innenräumen, die sich in Gebäuden außerhalb der Radonvorsorgegebiete befinden (vgl. linke Grafik in Abb. 4), wurden an 90 % der Arbeitsplätze der Referenzwert von 300 Bq/m³ eingehalten. Dagegen wiesen 10 % der Arbeitsplätze Überschreitungen des Referenzwertes auf, 2 % davon zeigten Messwerte oberhalb von 600 Bq/m³.

Innerhalb der Radonvorsorgegebiete wurden bei den durchgeführten Messungen in 74 % der untersuchten Arbeitsplätze der Referenzwert eingehalten (vgl. rechte Grafik in Abb. 4). An 26 % der Arbeitsplätze wurden Messwerte oberhalb von 300 Bq/m³ festgestellt, davon bei 11 % der Messungen Werte oberhalb von 600 Bq/m³.

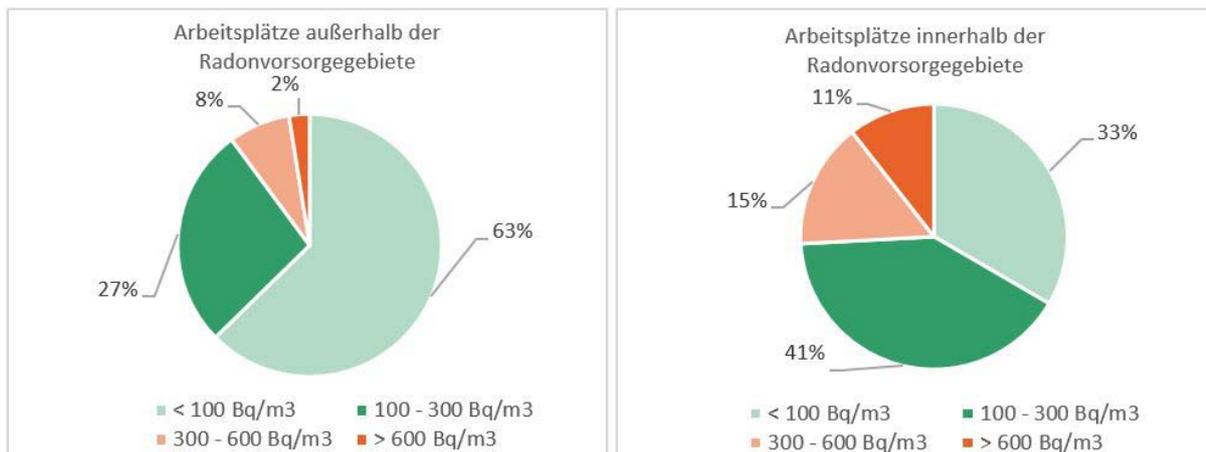


Abb. 4: Ergebnisse der Radonmessungen an Arbeitsplätzen außerhalb (linke Grafik) bzw. innerhalb (rechte Grafik) der Radonvorsorgegebiete. Auswertung bezogen auf jeden untersuchten Innenraum mit Arbeitsplatz.

Bei der Zuordnung der Ergebnisse der Einzelmessungen zu den Ebenen der Gebäude zeigte sich, dass die relative Häufigkeit erhöhter Radonkonzentrationen vom Keller über das Erdgeschoss bis zu den höheren Etagen abnimmt (Abb. 5). Dies trifft sowohl für Gebäude mit Arbeitsplätzen innerhalb, als auch außerhalb der Radonvorsorgegebiete zu.

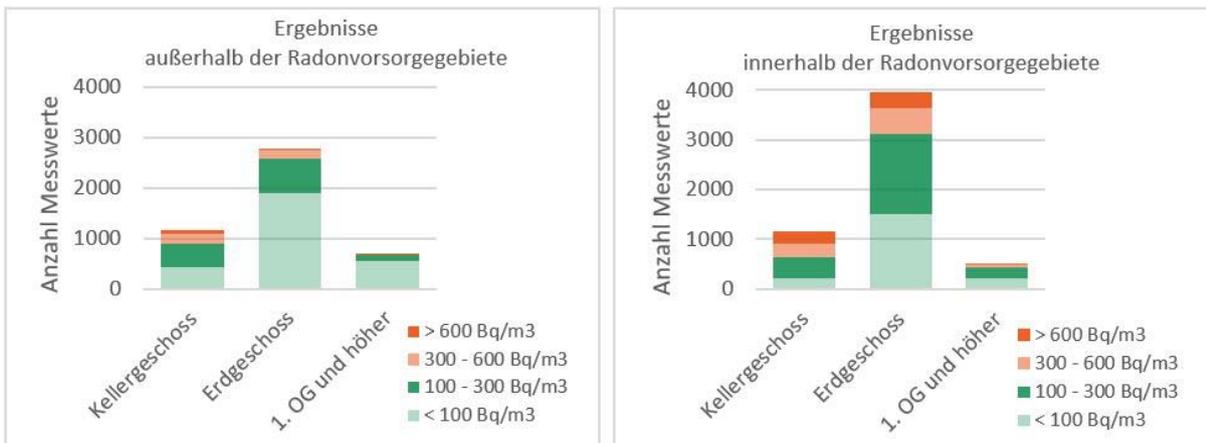


Abb. 5: Ergebnisse der Messungen der Radon-222-Aktivitätskonzentration an Arbeitsplätzen, kategorisiert nach Gebäudeebenen außerhalb (linke Grafik) bzw. innerhalb (rechte Grafik) der Radonvorsorgegebiete.

Außerhalb der Radonvorsorgegebiete (linke Grafik, Abb. 5) sind im Kellergeschoss in 22,5 % der untersuchten Arbeitsplätze Überschreitungen des Referenzwertes zu finden, davon in 7 % der Fälle mit Werten oberhalb von 600 Bq/m³. Im Erdgeschoss weisen dagegen 7 % der Räume Ergebnisse oberhalb von 300 Bq/m³ auf (davon 1,3 % der Räume Werte > 600 Bq/m³), im 1. Obergeschoss und höheren Etagen traten Referenzwertüberschreitungen nur in weniger als 1 % der untersuchten Arbeitsplätze auf.

Innerhalb der Radonvorsorgegebiete wurden in 44 % der Kellerräume mit Arbeitsplätzen Überschreitungen des Referenzwertes festgestellt, davon in 20 % der Fälle mit Werten > 600 Bq/m³. Im Erdgeschoss beträgt der Anteil der Werte oberhalb 300 Bq/m³ etwa 21 %, davon überschrei-

ten die Werte in 8 % der Innenräume 600 Bq/m^3 . Auch im 1. Obergeschoss und höheren Etagen sind innerhalb der Radonvorsorgegebiete in 13 % der untersuchten Arbeitsplätze Überschreitungen des Referenzwertes festgestellt worden, davon 3 % mit Werten $> 600 \text{ Bq/m}^3$.

4 Fazit

Die Daten der Messungen an Arbeitsplätzen im Freistaat Sachsen zeigen, dass sowohl außerhalb als auch innerhalb der Radonvorsorgegebiete an Arbeitsplätzen Überschreitungen des Referenzwertes der Radon-222-Aktivitätskonzentration auftreten. Die Anzahl von erhöhten Radonkonzentrationen betroffener Arbeitsplätze sowie die Höhe der Referenzwertüberschreitung ist jedoch innerhalb der Radonvorsorgegebiete erwartungsgemäß deutlich höher als an Arbeitsplätzen außerhalb der Radonvorsorgegebiete. Die Ergebnisse zeigen außerdem, dass der prozentuale Anteil erhöhter Radonkonzentrationen an Arbeitsplätzen im Kellergeschoss in allen Gebieten am höchsten ist, und jeweils zum Erdgeschoss bzw. zu höheren Etagen abnimmt.

5 Literatur

- [1] RICHTLINIE 2013/59/EURATOM DES RATES vom 5. Dezember 2013 zur Festlegung grundlegender Sicherheitsnormen für den Schutz vor den Gefahren einer Exposition gegenüber ionisierender Strahlung und zur Aufhebung der Richtlinien 89/618/Euratom, 90/641/Euratom, 96/29/Euratom, 97/43/Euratom und 2003/122/Euratom (Amtsblatt der Europäischen Union vom 17.01.2014).
- [2] Gesetz zum Schutz vor der schädlichen Wirkung ionisierender Strahlung (StrlSchG) vom 27. Juni 2017, Bundesgesetzblatt Jahrgang 2017 Teil I Nr. 42, ausgegeben zu Bonn am 03.07.2017.
- [3] DIN ISO 11665-8:2019: Ermittlung der Radioaktivität in der Umwelt – Luft: Radon-222 – Teil 8: Methodik zur Erstbewertung sowie für zusätzliche Untersuchungen in Gebäuden. VDE VERLAG GmbH, Berlin, 2020.

P017: Aufgaben und Ergebnisse der aktuellen Vergleichsmessungen der Leitstelle ENORM

R. Schnell¹, U.-K. Schkade¹, F. Schneider¹, F. Friedrich-Kees², S. Feige², N. Klasen¹

¹Bundesamt für Strahlenschutz, Fachgebiet Dosimetrie & Spektrometrie, Berlin

²Bundesamt für Strahlenschutz, Fachgebiet Radonmetrologie, Berlin

Kurzfassung

Bei der Gewinnung und Verarbeitung von Rohstoffen wie beispielsweise Erze, Erdöl oder Baustoffe kann es zu einer Anreicherung natürlicher Radionuklide in industriellen Rückständen kommen. Die Leitstelle für Fragen der Radioaktivitätsüberwachung bei erhöhter natürlicher Radioaktivität (Leitstelle ENORM) wurde im Jahr 2002 eingerichtet und unterstützt Behörden und Messstellen insbesondere hinsichtlich der Mess-, Analyse- und Bewertungsmethoden natürlicher Radionuklide aus industriellen Rückständen. Ziel ist die zuverlässige Ermittlung der Strahlenexposition durch die NORM-Stoffe. Zur Qualitätssicherung führen wir jährlich Vergleichsmessungen durch.

Im Jahr 2021 wurde der Sonderringversuch Bauxit und Rotschlamm mit 28 teilnehmenden Laboren durchgeführt. Bauxit ist ein Aluminiumerz, Rotschlamm ist das Abfallprodukt, das bei der Gewinnung von Aluminiumoxid aus den aluminiumhaltigen Erzen anfällt. Die Radioisotope U-238, Ra-226 und Pb-210 der Uran/Radium-Zerfallsreihe, Ra-228 und Th-232 aus der Thorium-Zerfallsreihe sowie K-40 (nur Bauxit Probe) wurden bestimmt. Eine Besonderheit stellte die Bestimmung von K-40 in der Bauxitprobe dar, da die spezifische Aktivität von K-40 im Vergleich zu Ra-228 sehr niedrig war.

Die internationale Vergleichs- und Eignungsprüfung für passive Radonmessgeräte dient der Qualitätssicherung der Exposimeter, die zur Bestimmung der Radon-Aktivitätskonzentration in der Raumluft oder der personenbezogenen Exposition eingesetzt werden. Die Exposimeter werden im Radon-Kalibrierlabor einer kontrollierten Referenzatmosphäre ausgesetzt. Nach der Auswertung durch die teilnehmenden Institutionen werden die Messergebnisse mit dem Referenzwert verglichen. Im Zeitraum von 2019 bis 2022 konnte im Durchschnitt 94 % der teilnehmenden Institutionen eine zufriedenstellende Leistung in der Eignungsprüfung bestätigt werden.

Der Messvergleich für tragbare Ortsdosisleistungsmessgeräte auf den Referenzflächen der Wismut GmbH in Reust wird zur Qualitätskontrolle der Anzeigegenauigkeit von Messgeräten zur Anwendung bei umgebungs-dosimetrischen Messungen eingesetzt. Auf drei Referenzmessflächen mit unterschiedlichen Ortsdosisleistungen wurden im Jahr 2022 insgesamt 216 Messgeräte getestet. Die Auswertung der Einzelergebnisse zeigte, dass bei den Teilnehmenden im Allgemeinen eine hohe Qualität der Messung vorliegt.

P015: Langzeitauswertung des IMIS-Ringvergleiches „Tritium in Wasser“

A. Schmidt, J. G. Wiederhold, L. Duester

Bundesanstalt für Gewässerkunde (BfG), Referat G4 – Radiologie und Gewässermonitoring, Koblenz

Kurzfassung

Die Bundesanstalt für Gewässerkunde führt im Rahmen ihrer Funktion als Leitstelle für die Überwachung der Radioaktivität von Oberflächenwasser, Schwebstoff und Sediment in Binnengewässern in regelmäßigen Abständen den Ringvergleich „Tritium in Wasser“ durch.

Teilnehmer an diesem Ringvergleich sind Landes- und Bundesbehörden, die gemäß AVV IMIS zu einer Teilnahme verpflichtet sind, Vertreter kerntechnischer Anlagen, kommerzielle Messstellen sowie Universitäten und Großforschungseinrichtungen. Die durchschnittliche Teilnehmerzahl pro Ringvergleich im Betrachtungszeitraum 2012 bis 2022 lag zwischen 50 und 70 Laboren, wobei regelmäßig etwa 10 % der teilnehmenden Institutionen aus dem europäischen Ausland stammen.

Der übliche Aktivitätskonzentrationsbereich der zur Verfügung gestellten Ringversuchsproben liegt in einem Bereich zwischen 10 und 100 Bq/l, so dass Tritium normalerweise über eine Direktmessung detektiert werden kann. Die Auswertung der Ringversuche erfolgt nach einheitlichen Grundsätzen und Verfahren und basiert auf der DIN 38402 Teil 42.

Grundsätzlich lässt sich sagen, dass die Bestimmung von Tritium in Wasser von der überwiegenden Mehrheit der teilnehmenden Labore sehr gut beherrscht wird. Dennoch ist in den letzten Jahren eine Tendenz hin zu einem gewissen Qualitätsverlust bzw. möglicherweise einer größeren Nachlässigkeit bei der Messung und der Auswertung der Ringvergleichsproben auffällig. Dies bezieht sich sowohl auf formale Kriterien, wie z. B. die Nichtberücksichtigung der Vorgaben des BMUV bei der Bestimmung von Erkennungs- und Nachweisgrenzen gemäß DIN ISO 11929, als auch auf Laborprozeduren, wie z. B. den Wegfall grundsätzlich erforderlicher Arbeitsschritte bei der Probenvorbereitung.

Im Rahmen des Beitrages soll eine Auswertung der Ringvergleiche im Hinblick auf die Qualität (Richtigkeit, Genauigkeit, Empfindlichkeit) der Messergebnisse sowie der Akzeptanz von Messergebnissen (Z-Score) und Messunsicherheiten (Zeta-Score) erfolgen.

P012: Modernisierung des österreichischen Messnetzes zum Nachweis geringster Spuren von Radioaktivität in der bodennahen Luft

D. Roth¹, C. Landstetter²

¹Agentur für Gesundheit und Ernährungssicherheit (AGES), Geschäftsfeld Strahlenschutz, Abteilung Radon und Radioökologie, Linz, Österreich

²Agentur für Gesundheit und Ernährungssicherheit (AGES), Geschäftsfeld Strahlenschutz, Abteilung Strahlenschutz und Radiochemie, Wien, Österreich

Kurzfassung

Die behördliche Radioaktivitätsüberwachung in Österreich gliedert sich in zwei Säulen: Das Strahlenfrühwarnsystem mit Messsonden für Ortsdosisleistung und automatischen Luft-Messstationen und das laborgestützte Überwachungssystem für die Messung von Futtermitteln und sonstigen Waren und Produkten, deren Überwachung aus Sicht des Strahlenschutzes erforderlich ist. Das laborgestützte Überwachungssystem wird von der AGES im Auftrag der für den Strahlenschutz zuständigen Bundesministerien (Bundesministerium für Klimaschutz und Bundesministerium für Gesundheit, Soziales, Pflege und Konsumentenschutz) betrieben.

Bei einem großen Teil der jährlich im Routinebetrieb untersuchten Proben handelt es sich um Filter aus Aerosolsammlern mit einem Luftdurchsatz von etwa 100 m³/h, die im Wochenintervall gewechselt und mittels hochauflösender Gammaskopie gemessen werden.

Für den Nachweis geringster Spuren von Radionukliden in der Luft wurde im Jahr 2008 ein erster Großvolumen-Aerosolsammler (Luftdurchsatz von 800 m³/h) am AGES-Standort Wien in Betrieb genommen. Seit 2019 wurde das Messnetz um weitere Sammelgeräte in Westen und Norden Österreichs (Innsbruck und Linz) erweitert, die zudem auch eine empfindlichere Sammelmöglichkeit für elementares Iod bieten. Im Jahr 2023 soll der Ausbau mit einem zusätzlichen Großvolumen-Aerosolsammler im Süden des Bundesgebiets (Klagenfurt) abgeschlossen werden.

In diesem Beitrag geben wir einen Überblick über die zum Einsatz kommenden Großvolumen-Aerosolsammler und verwendeten Filtertypen. Die Verbesserung der erreichten Nachweisgrenzen bei Messungen der Aerosolfilter und Aktivkohlepatronen im Vergleich zu den bisher eingesetzten Messgeräten werden diskutiert. Zusätzlich besprechen wir außergewöhnliche Spurenmessereignisse in Österreich im Zeitraum seit dem Jahr 2008, die durch den Einsatz der Großvolumen-Aerosolsammler zuverlässig nachgewiesen werden konnten.

P009: Bestimmung der Gesamt-Alphaaktivität in Wasser – Vergleich verschiedener Methoden

C. Scholtysik

Bundesamt für Strahlenschutz, Berlin

Kurzfassung

Die Bestimmung der Gesamt-Alphaaktivität in Wasser ist bspw. für Messungen nach der Trinkwasserverordnung oder für Abwässer radiochemischer Labore und kerntechnischer Anlagen eine der wichtigsten Methoden bei der Bewertung der Belastung von unterschiedlichen wässrigen Medien mit Radionukliden. Als Screening-Methode bietet sie die Möglichkeit, relativ schnell Aussagen zu Veränderungen oder Auffälligkeiten zu erhalten, auf deren Basis dann ggf. vertiefte Untersuchungen (Einzelnuklidbestimmungen) durchgeführt werden.

Das Fachgebiet UR4 des Bundesamts für Strahlenschutz bietet als Leitstelle H regelmäßig im Rahmen der Ringversuche „Bestimmung von Alpha- und Betastrahlern im Wasser“ sowie „Bestimmung von natürlichen Radionukliden im Trinkwasser“ die Möglichkeit zur Analyse von Gesamt-Alphaaktivitäten für die externe Qualitätskontrolle.

Die meisten Verfahren für die Bestimmung der Gesamt-Alphaaktivität sind relativ schnell und einfach durchführbar. Die gängigsten Messtechniken beruhen dabei auf Halbleiterdetektoren, Flüssigszintillation, sowie Gasionisationstechniken wie Proportionalitätszähler oder Gitterionisationskammern (GIK). Die Vor- und Nachteile der jeweiligen Verfahren werden anhand der Erfahrungen aus den Ringvergleichen vorgestellt. Die Probenvorbereitung reicht je nach Probe von einem einfachen Abdampfen bis zu radiochemischen Auftrennungen. Auch die Messzeiten unterscheiden sich zum Teil deutlich. Während z. B. Flüssigszintillation und Proportionalitätszähler relativ kurze Messzeiten im Bereich weniger Stunden benötigen, kann eine Messung mit einer GIK je nach Gesamtaktivität mehrere Tage dauern. Abgesehen davon nimmt die Technik der GIK insofern eine leichte Sonderstellung ein, da mit ihr parallel zum Screening-Parameter der Gesamtaktivität auch die Nuklidzusammensetzung der Probe mit den jeweiligen einzelnen Aktivitätsbeiträgen bestimmt werden kann.

P007: Natürliche Radionuklide in Lebensmitteln: BfS-Teilnahme an der ersten deutschen Total Diet Studie

P. Hofmann¹, M. Achatz¹, T. Berg², I. Sarvan², O. Lindtner²

¹Bundesamt für Strahlenschutz, Berlin

²Bundesinstitut für Risikobewertung, Berlin

Kurzfassung

Total Diet Studies (TDS) wurden bereits in mehr als 50 Ländern weltweit durchgeführt. Dieses Studiendesign wird von der Ernährungs- und Landwirtschaftsorganisation der Vereinten Nationen (FAO) und der Weltgesundheitsorganisation (WHO) empfohlen, um die durchschnittliche Konzentration von Nähr- und Schadstoffen in der menschlichen Nahrung zu ermitteln. Die erste deutsche Total-Diet-Studie ist im Auftrag des Bundesministeriums für Ernährung und Landwirtschaft (BMEL) vom Bundesinstitut für Risikobewertung (BfR) durchgeführt worden (MEAL, Mahlzeiten für die Expositionsschätzung und Alytik von Lebensmitteln). Zwischen 2015 und 2021 sind hierfür systematisch und repräsentativ Lebensmittel im verzehrfertigen Zustand zubereitet und anschließend auf verschiedene Stoffgruppen, wie Zusatzstoffe, Prozess- und Umweltkontaminanten, untersucht worden.

Das Bundesamt für Strahlenschutz (BfS) beteiligt sich an der MEAL-Studie durch die Bestimmung der spezifischen Aktivitäten natürlicher Radionuklide (Uran-234/238, Radium-226/-228 und Blei-210) und der Abschätzung der daraus resultierenden Dosen. Die Bearbeitung der insgesamt 206 BfR-Lebensmittel-Poolproben zu je 2 kg Frischmasse umfasste die Trocknung, die Veraschung und anschließenden Mikrowellenaufschluss der Lebensmittelaschen gefolgt von der chemischen Abtrennung, um die Alpha- oder Beta-Strahlung der entsprechenden Radionuklide und/oder ihrer Tochternuklide messen zu können. Unter Einbeziehung der einzelnen Ergebnisse für Uran-234/238, Radium-226/-228 und Blei-210 ist es möglich, eine daraus folgende jährliche Aufnahme mit der Nahrung für die Bevölkerung abzuschätzen und Nahrungsmittel zu identifizieren, die möglicherweise einen höheren Dosisbeitrag leisten als bisher angenommen.

Workshops Block A

Workshop A1: Schnellmethoden

E. Kabai¹, A. Dalheimer²

¹Bundesamt für Strahlenschutz, München

²Deutscher Wetterdienst, Offenbach

Der Workshop A1 „Schnellmethoden“ startete mit drei Impulsvorträgen, die jeweils für rege Diskussionen und den Austausch von Praxiserfahrungen sorgten.

Frau Gil-Haenelt vom Max Rubner-Institut präsentierte eine neue Schnellmethode zur Bestimmung störfallrelevanter Alphanuklide in verschiedenen Nahrungsmitteln. Die Methode soll als Screening-Methode im Intensivfall zur Abschätzung von Aktivitäten geeignet sein. Der entscheidende Schritt zur Verkürzung der Analysenzeit war die Entwicklung einer Veraschungsmethode mit kurzer Veraschungszeit bei hoher Temperatur, gefolgt von einem offenen Aufschluss mit HNO_3 und H_2O_2 und einer NaOH -Schmelze. Für die radiochemische Trennung werden kommerzielle Trennsäulen der Fa. Triskem verwendet. Die abschließende Probenpräparation erfolgt über eine Mikrofällung mit Cerfluorid. In der anschließenden angeregten Diskussion wurden vor allem die Vor- und Nachteile von Mikrofällung und Elektrodeposition gegenübergestellt.

Im folgenden Vortrag berichtete Frau Eberhardt von der PTB über die Radionuklid-Massenspektrometrie mit der MC-ICP-MS-Methode. Diese Methode erlaubt eine hochempfindliche Bestimmung der Isotopenverhältnisse in Proben von Uran und Transuranen, benötigt aber einen enormen apparativen Aufwand. Trotz der sehr kurzen Messzeiten handelt es sich um keine Schnellmethode, da eine radiochemische Vorbereitung der Proben erfolgen muss. Für die sehr präzise Kalibration des Messsystems sind zudem sehr reine Referenzmaterialien erforderlich. In der anschließenden Diskussion wurde insbesondere die Motivation für die Entwicklung eines derart speziellen Messsystems hinterfragt.

Im dritten Vortrag des Workshops berichtete Herr Schupfner von der Universität Regensburg über die Bestimmung von Strontium-90 in Umweltproben mit besonders erhöhtem Kalziumgehalt, z. B. Rohmilch, Getreideprodukten oder Beton. Die Abtrennung des Strontiums vom Kalzium erfolgt hierbei mittels Flüssig-Flüssig-Extraktion unter Verwendung von doppelwandigen Trennsäulen mit Temperaturstabilisierung. Die Messung erfolgt mit Proportionalzählern oder im LSC. Es wurden einige Beispiele zur Leistungsfähigkeit und zu den Grenzen der Methode präsentiert. Im Anschluss folgte eine sehr angeregte Diskussion über die Vor- und Nachteile der Methode sowie über alternative Schnellmethoden zur Strontium-Bestimmung. Dies zeigte, dass im Bereich der Entwicklung von radiochemischen Schnellmethoden nach wie vor immer noch ein großes Interesse besteht.

W038: Schnelle Bestimmung störfallrelevanter Alphanuklide für Kohl- und Blattgemüse

Rapid determination of accident-relevant alpha nuclides for cabbage and leafy vegetables

T. Gil Haenelt, G. Haase

Max Rubner-Institut, Bundesforschungsinstitut für Ernährung und Lebensmittel, Kiel, Deutschland

Zusammenfassung

Die Leitstelle am Max Rubner-Institut ist für die Überwachung der Umweltmedien Boden, Bewuchs, Futtermittel und Nahrungsmittel pflanzlicher und tierischer Herkunft zuständig und erfüllt mit der Entwicklung von Analyseverfahren Aufgaben im Rahmen des Strahlenschutzgesetzes.

Da die Bestimmung von Alphanukliden in der Regel mit mehreren zeitintensiven Schritten verbunden ist, ist die Entwicklung von Schnell- und Screening-Methoden für einen möglichen radiologischen Störfall von großem Interesse.

Aus diesem Grund befasst sich diese Arbeit mit zwei Schnellveraschungen für Kohl- und Blattgemüse und untersucht deren Auswirkung auf die radiochemische Trennung von störfallrelevanten Alphanukliden mittels Trennsäulen der Firma Triskem. Die so gewonnene Asche hat den Vorteil, dass sie zusätzlich für Screening-Verfahren verwendet werden kann, um schnell eine Abschätzung über die Aktivitäten zu erhalten und im Intensivfall Proben bestimmen zu können, die prioritär weiter untersucht werden.

Summary

The Federal coordinating office at the Max Rubner-Institute is responsible for monitoring the environmental media of soil, vegetation, animal feed and food of vegetable and animal origin and fulfills tasks within the framework of the Radiation Protection Act by developing analytical methods.

Since the determination of alpha nuclides usually involves several time-consuming steps, the development of rapid and screening methods for a possible radiological incident is of great interest.

For this reason, this work deals with two rapid ashing methods for cabbage and leafy vegetables and examines their effect on the radiochemical separation of accident-relevant alpha nuclides using separation columns from Triskem. The ash obtained in this way has the advantage that it can also be used for screening procedures in order to quickly obtain an estimate of the activities and, in the event of an intensive case, to be able to determine samples that are investigated further as a matter of priority.

1 Einleitung

Durch die angestrebte Änderung der AVV IMIS in Hinblick auf die nuklidspezifische Bestimmung von Alpha-Strahlern in Milch- und Milchprodukten, Blattgemüse, Nahrungsmitteln pflanzlicher

und tierischer Herkunft, sowie anderen Nahrungsmitteln (Wildfleisch, Pilze und Beeren) ist die Erstellung von entsprechenden Messanleitungen erforderlich.

Die Grundlage für die benannte Neuerung in der AVV IMIS stellt die Verordnung (Euratom) 2016/52 zur Festlegung von Höchstwerten an Radioaktivität in Lebens- und Futtermitteln im Falle eines nuklearen Unfalls oder eines anderen radiologischen Notfalls dar [1].

Diese Arbeit befasst sich mit der Untersuchung von Kohl- und Blattgemüse, Untersuchungen zu weiteren Lebensmittelgruppen sind in Vorbereitung.

In Bezug auf Freilandanbau gehörte das Kohl- und Blattgemüse im Jahr 2020 mit einer Anbaufläche von 19.045 ha für Kohlgemüse und 17.902 ha für Blattgemüse neben dem Spargel (Anbaufläche von 22.408 ha) und dem Wurzelgemüse (Anbaufläche von 21.423 ha) zu den größten Gemüse-Anbauflächen im Freiland in Deutschland [2]. Nach der AVV IMIS stellt Blattgemüse (stellvertretend für pflanzliche Nahrungsmittel) ein repräsentatives Umweltmedium dar [3].

Für die radiochemische Trennung wurde sich an den Arbeiten von S. Maxwell [4-5] orientiert und kommerziell erhältliche TEVA und DGA Trennsäulen der Firma Triskem International gewählt. Da es sich dabei um vorgepackte Einweg-Kartuschen handelt, sind sie im Notfall direkt einsatzbereit und werden nach der Analyse entsorgt, wodurch Zeit bei der Vorbereitung und auch im Nachgang eingespart wird. Sie können für den Notfall in angemessener Stückzahl vorrätig gehalten werden, und es ist nur eine geringe Probenmenge (einige Gramm) für die Analyse erforderlich. Durch die Veraschung kann die Frischmasse von Kohl- und Blattgemüse so reduziert werden, dass auch eine größere und zugleich repräsentativere Probenmenge verwendet werden kann. Die Probe kann dafür grob mit einem Messer zerkleinert werden und muss nicht mit einem Mixer homogenisiert werden, was eine zusätzliche Zeitersparnis bedeuten kann. Ein weiterer Vorteil der Schnellveraschung liegt darin, dass die so gewonnene Asche im Vorfeld für Screening-Verfahren wie der Bestimmung der Gesamt-Alpha-Beta-Aktivität mittels Großflächen-Proportionalzähler eingesetzt werden kann. Dadurch kann die Aktivität schnell abgeschätzt und eine Priorisierung der zu untersuchenden Proben vorgenommen werden. Für die Veraschung werden Quarzschalen verwendet, die zusätzlich mit Härtefolie ausgekleidet werden können, um sie vor Kontamination zu schützen und Kreuzkontaminationen entgegenzuwirken.

In der vorliegenden Arbeit wurde die Mikromitfällung der Nuklide der elektrochemischen Abscheidung vorgezogen, weil sowohl der operative als auch der zeitliche Aufwand deutlich geringer ist.

Ziel dieser Arbeit ist der Vergleich von zwei Veraschungszeiten (eine und drei Stunden) für Kohl- und Blattgemüseproben in Hinblick auf Unterschiede in Aussehen und Masse der resultierenden Asche und den Einfluss auf die radiochemischen Trennung und der damit verbundenen Ausbeute der Analyse.

2 Durchführung

2.1 Probenvorbereitung

Die Proben für die Untersuchungen wurden auf dem Wochenmarkt und naheliegenden Supermärkten eingekauft und mit einem Küchenmesser auf einem Schneidebrett grob zerkleinert. Die Probe wurde gleichmäßig auf zwei Quarzschalen aufgeteilt, um den Einfluss von zwei unterschiedlichen Veraschungszeiten vergleichen zu können. Anschließend wurden die Frischmassen ermittelt. Um die Ausbeute der Methode zu bestimmen, wurden den Proben bekannte Aktivitäten an Tracer Am-243 und Pu-242 zugegeben und um die Wiederfindungsraten zu überprüfen, erfolgte die Zugabe von bekannten Aktivitäten an Am-241 und Pu-239.

Jeweils eine der beiden Proben wurde für eine Stunde und die andere für drei Stunden bei 600 °C verascht. Jede Asche wurde optisch beurteilt, homogenisiert und die Masse ermittelt.

Die weiteren Schritte erfolgten in Anlehnung an Arbeiten von S. Maxwell [2-3] und umfassten die Zugabe von 15 g NaOH-Plätzchen zur Asche und das Aufschmelzen in der Mikrowelle für 10 Minuten bei 600 °C. Die Schmelze wurde mit 180 ml Seralwasser gelöst und 0,9 g $\text{Fe}(\text{NO}_3)_3$ und 4 mg La als $\text{La}(\text{NO}_3)_3$ -Lösung dazugegeben. Nach kurzer Kühlung im Eisbad wurden 2 ml 1,25 M $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$, 3 ml 3,2 M $(\text{NH}_4)_2\text{HPO}_4$ und 5 ml 20 % TiCl_3 -Lösung dazugegeben und erneut gekühlt. Es wurde zentrifugiert, der Überstand verworfen und der Rückstand mit 60 ml 1,5 M HCl gelöst und mit 110 ml 0,01 M HCl aufgefüllt. Die Lösung wurde mit 1 mg La, 3 ml 20 % TiCl_3 -Lösung und 20 ml 28 M HF versetzt, erneut gekühlt und wieder zentrifugiert. Der Überstand wurde verworfen und der Bodensatz mit 5 ml 3 M HNO_3 – 0,25 M Borsäure-Lösung, 6 ml 7 M HNO_3 , 7 ml 2 M $\text{Al}(\text{NO}_3)_3$ und 3 ml 3 M HNO_3 in der Wärme gelöst. Final wurden 0,5 ml 1,5 M Amidosulfonsäure, 1,25 ml 1,5 M Ascorbinsäure, 1 ml 3,5 M NaNO_2 -Lösung und 1,5 ml 15,8 M HNO_3 hinzugegeben. Waren noch Rückstände sichtbar, wurde erneut zentrifugiert und der Bodensatz verworfen.

2.2 Radiochemische Trennung und Mikromitfällung

Die radiochemische Trennung erfolgte mittels Extraktionschromatographie mit vorgefertigten TEVA und DGA Säulen mit einem Volumen von 2 ml der Firma Triskem International. Dafür wurden im ersten Schritt beide Säulen übereinander gesteckt (TEVA Säule über der DGA Säule), die Probe aufgetragen und mit HNO_3 gespült (siehe Abbildung 1). Anschließend wurden die beiden Säulen getrennt und, wie in Abbildung 1 zu sehen ist, jede wiederum gespült und anschließend von jeder die nun getrennten Nuklide eluiert.

Danach wurde den Nuklid-Lösungen jeweils 1 ml HF und 50 µg Cer(III) zugesetzt, um einen Mikro-Niederschlag aus Cerfluorid und Nukliden zu bewirken. Der Niederschlag wurde mittels Resolve® Filter der Firma Triskem International gefiltert und der Filter auf Stahlplättchen der Firma Triskem International geklebt. Die Messpräparate wurden mit dem Alphamesssystem Alpha-Analyst der Firma Canberra gemessen, das mit 12 α-Messkammer und PIPS-Detektoren ausgestattet ist.

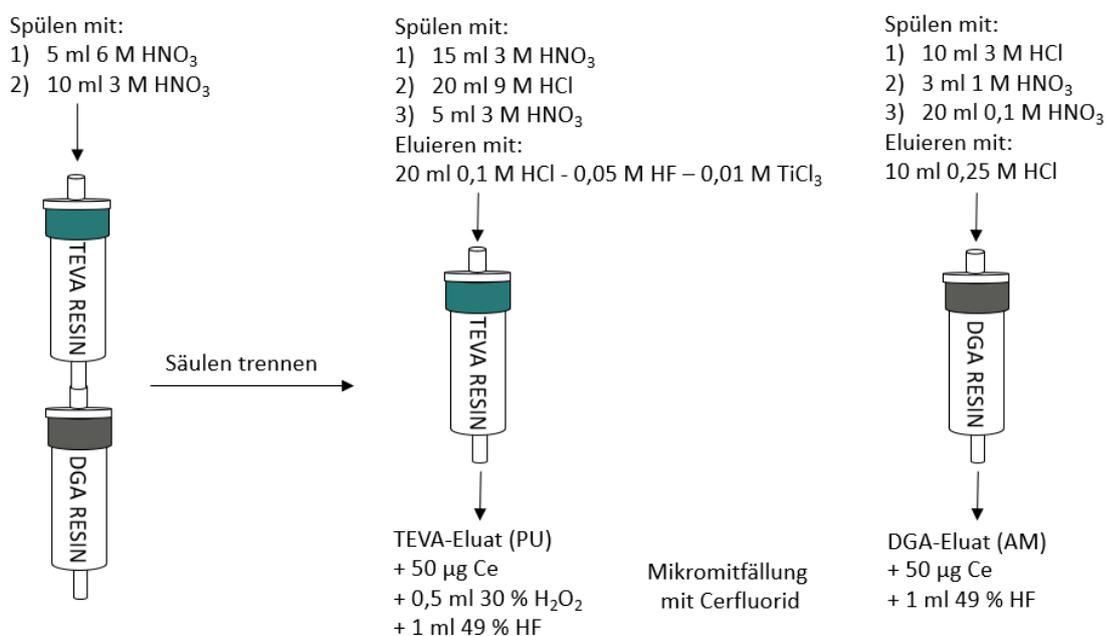


Abb. 1: Schematische Darstellung der radiochemischen Trennung mittels Trennsäulen der Firma TRISKEM und der Mikromitfällung mit Cerfluorid.

3 Ergebnisse und Diskussion

Bei allen Proben gab es optisch einen leichten Unterschied zwischen den ein und drei Stunden veraschten Proben. Bei den Proben, die eine Stunde verascht wurden, waren die Aschen etwas gräulicher als bei denen, die drei Stunden verascht wurden. Ein Beispiel für eine Spinatprobe ist in Abbildung 2 zu sehen.



Abb. 2: links: grob zerkleinerte Spinatprobe, Spinatasche nach einer Veraschungszeit von Mitte: einer Stunde, rechts: drei Stunden, jeweils bei 600 °C.

Optisch sahen die Mengen der beiden Aschen jeweils ca. gleich aus, was sich auch mit den Werten aus Tabelle 1 für die Massen an Frischmasse und Asche deckt.

Die Reduktion der Masse lag zwischen 97,4 % und 99,3 %, mit einem Mittelwert von $98,4 \pm 0,6$ % (Standardabweichung). Dabei hat Porree durch die Veraschung die meiste und Spinat im Durchschnitt die geringste Masse verloren. Alle Proben konnten in Masse so weit reduziert werden, dass jeweils die vollständige Menge für die weitere Analyse verwendet werden konnte. Daraus lässt sich schließen, dass bezogen auf Kohl- und Blattgemüse, Frischmassen im Rahmen von 150 g bis 300 g für die Analyse verascht werden können.

Tabelle 1: Angaben zu eingewogenen Frischmassen von untersuchtem Kohl- und Blattgemüse, die Massen der Aschen und die Am-243- und Pu-242-Ausbeuten in Abhängigkeit von der Veraschungsdauer.

Umweltmedium	Veraschungszeit in h	m Frischmasse in g	m Asche in g	Am-243-Ausbeute in %	Pu-242-Ausbeute in %
Kopfsalat	3	68,8	1,1	95,73	98,17
	1	76,7	2,0	72,26	97,03
Spinat	3	160,5	3,8	93,54	91,87
	1	159,2	3,9	92,20	87,34
Porree	3	300,0	2,2	89,00	78,18
	1	300,1	3,1	78,58	72,84
Eichblattsalat	3	150,0	1,7	82,95	96,53
	1	150,0	1,9	94,91	98,00
Wirsingkohl	3	101,7	1,3	84,62	86,22
	1	101,6	1,3	93,61	95,28

In Bezug auf die Ergebnisse der gesamten Am- und Pu-Ausbeuten sind von den 20 Werten aus Tabelle 1 vier unter 80 %, fünf im Bereich von 80 – 90 % und 11 über 90 %. Der Mittelwert beträgt $88,94 \pm 8,06$ % (Standardabweichung). Generell fällt die Pu-Ausbeute mit einem Mittelwert von $90,15 \pm 8,42$ % (Standardabweichung) etwas höher aus als die Am-Ausbeute mit einem Mittelwert von $87,74 \pm 7,49$ % (Standardabweichung).

Es fällt auf, dass für die Proben Kopfsalat, Spinat und Porree, bis auf eine Ausnahme, die jeweiligen Ausbeuten sehr dicht beieinander liegen und höher sind, wenn die Veraschungszeit länger war. Bei den anderen beiden Proben liegen die jeweiligen Ausbeuten größtenteils etwas weiter auseinander und sie sind höher bei kürzerer Veraschungszeit.

4 Schlussfolgerungen und Ausblick

Die Ergebnisse aus dieser Arbeit haben gezeigt, dass die Masse von Kohl- und Blattgemüse durch Veraschung sehr stark reduziert wird und so eine größere Probenmenge für die Analyse genutzt werden kann. Dadurch muss die Probe im Vorfeld nicht homogenisiert, sondern kann einfach grob zerkleinert werden. Auch wenn optisch ein leichter Unterschied zwischen den Aschen der beiden Veraschungszeiten (eine und drei Stunden) sichtbar war, waren beide Massen gleich und konnten jeweils vollständig für die weitere Analyse verwendet werden.

Die darauffolgende radiochemische Trennung der Aschen mittels DGA und TEVA Säulen der Firma Triskem haben in allen Fällen zu guten Ausbeuten geführt, sodass geschlossen werden kann, dass auch sehr kurze Veraschungszeiten von einer Stunde in Kombination mit der gewählten radiochemischen Trennung für Kohl- und Blattgemüse zufriedenstellende Ergebnisse liefern.

Außer Frage steht, dass Kohl- und Blattgemüse im Vergleich zu anderen Lebensmitteln mit 0,1 bis 0,3 g Fett pro 100 g sehr wenig Fett enthält und die Probenvorbereitung und Analyse damit wesentlich einfacher ist, als bei fettreicheren Lebensmitteln. Nimmt der Fettgehalt zu, muss die Veraschung angepasst und längere Aufheizraten miteingeplant werden. Aus diesem Grund sind Untersuchungen zu Veraschungen, bzw. Schnellveraschungen zu weiteren Lebensmitteln wichtig für zukünftige Arbeiten.

5 Danksagung

Besonderer Dank gilt Frau Schulz für ihre umfängliche Unterstützung und der experimentellen Umsetzung der Versuche.

Ein herzlicher Dank gilt auch den Teilnehmenden des Workshops des 16. Fachgesprächs und des BfS-Workshops in Berlin am 10.07.23 für die wertvolle Diskussion und die konstruktiven Vorschläge.

6 Literatur

- [1] Vo 2016/52/ Euratom
VERORDNUNG (Euratom) 2016/52 DES RATES vom 15. Januar 2016 zur Festlegung von Höchstwerten an Radioaktivität in Lebens- und Futtermitteln im Falle eines nuklearen Unfalls oder eines anderen radiologischen Notfalls und zur Aufhebung der Verordnung (Euratom) Nr. 3954/87 des Rates und der Verordnungen (Euratom) Nr. 944/89 und (Euratom) Nr. 770/90 der Kommission, Abl. L 13/8 - 15.01.2016, Anhang 1.
- [2] M. Linderer, A. Block, A. Kreisel, Agrarmärkte 2020, Schriftenreihe der Bayerischen Landesanstalt für Landwirtschaft 16 (2021) p. 105.

- [3] Allgemeine Verwaltungsvorschrift zum integrierten Mess- und Informationssystem zur Überwachung der Radioaktivität in der Umwelt (IMIS) nach dem Strahlenschutzvorsorgegesetz (AVV IMIS) vom 13. Dezember 2006, Anhang 2: Messprogramm für den Intensivbetrieb (Intensivmessprogramm).
- [4] S. Maxwell, B. Culligan, G. Noyes, Rapid separation of actinides and radiostrontium in vegetation samples, *Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry* 286 (2010) p 273.
- [5] S. Maxwell, B. Culligan, A. Kelsey-Wall, P. Shaw, Rapid determination of actinides in emergency food samples, *Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry* 292 (2012) p 339.

W042: Radionuklid-Massenspektrometrie an der PTB

J. Eberhardt, L. Flierl, D. Zapata-Garcia, O. Rienitz, A. Pramann, D. Arnold
Physikalisch-Technische Bundesanstalt (PTB), Braunschweig, Deutschland

Zusammenfassung

Dieser Beitrag gibt einen Einblick in den aktuellen Stand der Radionuklid-Massenspektrometrie an der PTB und auch in zukünftig geplante Arbeiten / Projekte, die zur Verbesserung der Überwachung der Umweltradioaktivität beitragen.

Die etablierten klassischen Zählmethoden zur Überwachung der Umweltradioaktivität erreichen im Allgemeinen die nötigen Messunsicherheiten, um unter kritischen Bedingungen eine schnelle Aussage für die Bevölkerung treffen zu können. Die PTB als das nationale Metrologieinstitut Deutschlands möchte umweltkritische Elemente wie Uran und Plutonium auch mithilfe der Massenspektrometrie höchst-empfindlich messen. Insbesondere bei α -spektrometrischen Messungen spielt die Messzeit eine entscheidende Rolle, so dass hier besonders die Massenspektrometrie zu einer schnelleren Bestimmung der Aktivitäten und der Isotopenverhältnisse führt. Zukünftig möchte die PTB nationale und internationale Umweltproben-Referenzmaterialien hinsichtlich ihrer Isotopenzusammensetzung, Isotopenverhältnisse und / oder der Aktivitätskonzentrationen für Uran und Plutonium zertifizieren. Zusätzlich sollen externe Kalibrierungen als Dienstleistung für radioökologisch tätige Laboratorien angeboten werden. Um diese Messkapazität zu etablieren, koordiniert die PTB das Europäische Forschungsprojekt MetroPOEM, in dem unter anderem die Vor- und Nachteile der verschiedensten Massenspektrometertypen hinsichtlich der Messung von Uran und Plutonium aufgezeigt werden sollen.

1 Einleitung

Der Fachbereich Radioaktivität der PTB hat seine Messkapazitäten in der Arbeitsgruppe Umweltradioaktivität erweitert und ein Multikollektor induktiv gekoppeltes Plasma Massenspektrometer (MC-ICP-MS) beschafft. Dabei handelt es sich um das Modell NEPTUNE Plus der Firma Thermo Fisher SCIENTIFIC. Ein solches Massenspektrometer besteht prinzipiell aus drei Komponenten: der Ionenquelle, die für die effektive Ionisierung im Argonplasma sorgt und gleichzeitig eine Diskriminierung zur Folge hat, dem doppelfokussierenden Analysator, bestehend aus einem elektrostatischen und magnetischen Analysator, und dem Detektor, der die simultane Messung mithilfe von Faraday-Cups von bis zu neun Isotopen ermöglicht und somit eine hohe Präzision bei mittlerer Sensitivität liefert. Die Motivation, sich ein MC-ICP-MS zu beschaffen, hatte folgende Gründe: Generell liefern massenspektrometrische Messungen kürzere Messzeiten als die klassischen radiometrischen Methoden (α - oder γ -Spektrometrie, Betazähler). Zusätzlich bieten sie die niedrigste erreichbare Messunsicherheit und eine gleichzeitige und separate Bestimmung der Plutoniumisotope ^{239}Pu und ^{240}Pu . Zukünftig ist es das Ziel, Umweltprobenreferenzmaterialien für die absolute Isotopenzusammensetzung und Aktivitätskonzentrationen mithilfe der Massenspektrometrie zu zertifizieren. Deshalb gibt es einen Bedarf an *ab-initio* Messungen, die nur mithilfe von gravimetrischen Isotopenmischungen realisiert werden können. Bei der Messung von gravimetrischen Isotopenmischungen bzw. deren Ausgangsmaterialien (angereicherte Isotope) können die Isotopenverhältnisse R sehr stark variieren und sich um bis zu fünf Größenordnungen unterscheiden. Ein grundsätzlicher Vorteil von einem Massenspektrometer mit einem magnetischen Sektorfeld liegt darin, dass nur dort der wichtige Kalibrier-Faktor (K -Faktor) unabhängig von R ist.

2 Kalibrierung am MC-ICP-MS

Generell ist das Ziel von massenspektrometrischen Messungen an einem MC-ICP-MS die Bestimmung von Isotopenverhältnissen. Allerdings werden bei diesen Messungen nur Intensitätsverhältnisse gemessen, die nicht den wahren Isotopenverhältnissen entsprechen. Während der Ionisation der Probe im Plasma findet ein sogenannter „Mass bias“ statt, der eine Kalibrierung der Messung erfordert. Die Bestimmung des Kalibrierfaktors K ist allerdings nur möglich, wenn ein Isotopenreferenzmaterial für das Element existiert. Dann kann das Isotopenverhältnis aus dem Zertifikat des Isotopenreferenzmaterials verwendet werden und in Relation zum gemessenen Intensitätsverhältnis der Probe gesetzt werden, so dass man den Kalibrierfaktor K für diese Messung entsprechend folgender Gleichung erhält:

$$K = \frac{R_{235/238}^{\text{Zert}}}{R_{235/238}^{\text{mess}}}$$

Dieser „Mass bias“ ist abhängig vom Element. Generell ist er bei leichten Elementen wesentlich größer als bei schwereren Elementen, so dass der K -Faktor beispielsweise bei Magnesium bei dem Verhältnis $R(^{26}\text{Mg}/^{24}\text{Mg})$ bei etwa 12 % und beim Uran bei dem Verhältnis $R(^{235}\text{U}/^{238}\text{U})$ bei etwa 1,2 % liegt. Auch wenn die Größenordnung des K -Faktors bekannt ist, so muss er doch bei jeder Messung erneut bestimmt werden.

2.1 Uranmessungen

Wenn es um die Messung der natürlich vorkommenden Uranisotope ^{234}U , ^{235}U und ^{238}U geht, werden die Messungen am MC-ICP-MS mit einem Isotopenreferenzmaterial (iRM) vom Institut für Referenzmaterialien und Messungen (IRMM) kalibriert. Das Material heißt IRMM-184 und enthält eine natürliche Uranisotopenzusammensetzung. Bei der Verwendung dieses iRM zur Berechnung des K -Faktors spricht man von der externen Korrektur. Folglich ist die erreichbare Unsicherheit für das Isotopenverhältnis der Probe von den Unsicherheiten aus dem Zertifikat von diesem Material abhängig. Die bisher erreichte relative erweiterte Unsicherheit (U_{rel}) für das Isotopenverhältnis einer Probe lag entsprechend bei 0,031 % für $R(^{235}\text{U}/^{238}\text{U})$ und bei 0,065 % für $R(^{234}\text{U}/^{238}\text{U})$.

2.2 Plutoniummessungen

Die Messung von Plutoniumisotopen (^{239}Pu , ^{240}Pu , ^{241}Pu und ^{242}Pu) gestaltet sich anspruchsvoller, da es kein iRM für Plutonium gibt. Dementsprechend muss einerseits für die Korrektur der Plutoniumisotopenverhältnisse eine externe Korrektur mit dem iRM IRMM-184 erfolgen und zum anderen eine Quer-Kalibrierung, da die Plutonium- und Uranisotope auf unterschiedlichen Detektoren gemessen werden. Für die Quer-Kalibrierung wurde eine Mischung aus IRMM-184 und IRMM-3636a hergestellt, wobei IRMM-3636a eine 1:1-Mischung aus ^{233}U und ^{236}U darstellt. Zur Berechnung des K -Faktors wird hier das „Exponential Law“ mit externem Uranstandard (IRMM-184) verwendet.

$$R_{\text{Smp}}^{\text{wahr}} \left({}^{240}\text{Pu} / {}^{239}\text{Pu} \right) = R_{\text{Smp}}^{\text{mess}} \left({}^{240}\text{Pu} / {}^{239}\text{Pu} \right) \cdot \left(\frac{R_{\text{IRMM-184}}^{\text{Zert}} \left({}^{235}\text{U} / {}^{238}\text{U} \right)}{R_{\text{IRMM-184}}^{\text{mess}} \left({}^{235}\text{U} / {}^{238}\text{U} \right)} \right)^{\gamma}$$

$\underbrace{\hspace{10em}}_{\substack{\approx k_2 \\ \approx k_4}}$

mit $\gamma = \frac{\ln \left(\frac{M({}^{240}\text{Pu})}{M({}^{239}\text{Pu})} \right)}{\ln \left(\frac{M({}^{235}\text{U})}{M({}^{238}\text{U})} \right)}$

Um die Plutoniumisotopenverhältnisse für diese Gleichung zu erhalten, muss zunächst die Querkalibrierung erfolgen, so dass die Plutoniumisotope, die auf Ionenzählern gemessen wurden, in Plutoniumisotopenverhältnisse berechnet werden, die auf Faraday-Cups (Standard-Detektoren dieses Massenspektrometers) gemessen wurden.

Bisher wurden für die Plutoniumisotopenverhältnisse ($R({}^{240}\text{Pu}/{}^{239}\text{Pu})$, $R({}^{241}\text{Pu}/{}^{239}\text{Pu})$, $R({}^{242}\text{Pu}/{}^{239}\text{Pu})$) relative erweiterte Unsicherheiten von 1 % erreicht. Derzeit wurden Nachweisgrenzen von 30 fg/g für jedes der genannten Plutoniumisotope erreicht.

3 Aktuelle Forschungsschwerpunkte am MC-ICP-MS

Derzeit arbeitet die Arbeitsgruppe an einem internationalen Ringvergleich zur Bestimmung des Uranmassenanteils in einer Bodenprobe. Dieser Ringvergleich wird von dem beratenden Komitee für die Stoffmenge innerhalb der anorganischen Arbeitsgruppe (CCQM-IAWG) von dem Jožef Stefan Institute (JSI) aus Slowenien und dem TÜBITAK UME aus der Türkei ausgerichtet. Der Uranmassenanteil wird dabei zwischen 2 µg/g und 10 µg/g liegen. Die Bestimmung des Uranmassenanteils erfolgt mit der Methode der doppelten Isotopen-Verdünnungsmassenspektrometrie (doppelte IDMS), da nur diese Messtechnik vom CCQM als Primärmethode anerkannt wurde. Die Probenbearbeitung beinhaltet einen komplexen Säureaufschluss mit Flusssäure, Salpetersäure und Salzsäure. Anschließend wird das Uran noch mithilfe eines extraktionschromatographischen Harzes von der Probenmatrix separiert. Die reine Uranfraktion wird am MC-ICP-MS gemessen, um das Isotopenverhältnis $R({}^{235}\text{U}/{}^{238}\text{U})$ zu bestimmen.

Der zweite Forschungsschwerpunkt beschäftigt sich mit dem europäischen Forschungsprojekt Metro POEM (Metrologie zur Harmonisierung der Messungen von Umweltschadstoffen in Europa - MetroPOEM), welches von Oktober 2022 bis September 2025 laufen wird. In dem Projekt werden das Plutoniumisotopenverhältnis, $R({}^{240}\text{Pu}/{}^{239}\text{Pu})$, und die Uranisotopenverhältnisse, $R({}^{235}\text{U}/{}^{238}\text{U})$, $R({}^{234}\text{U}/{}^{238}\text{U})$, $R({}^{236}\text{U}/{}^{238}\text{U})$, in einer aufgestockten Meerwasserprobe und einem synthetischen aufgestocktem Silikat bestimmt.

4 Danksagung

Das Projekt MetroPOEM (21GRD09 MetroPOEM) wird finanziert aus dem Forschungsprogramm „Europäische Partnerschaft für Metrologie“ der Europäischen Union, kofinanziert von den Mitgliedsstaaten.

5 *Literatur*

- [1] <https://www.npl.co.uk/euramet/metropoem>
- [2] <https://www.euramet.org/repository/research-publications-repository-link/>

W052: Methode zur Bestimmung von ^{90}Sr in Umweltproben mit erhöhtem Kalziumgehalt

R. A. S. Schupfner

URA-Laboratorium, Universität Regensburg

Kurzfassung

Hier werden neue Methoden vorgestellt, die sich zur nuklidspezifischen Bestimmung von geringen Spuren von ^{89}Sr und ^{90}Sr in kalziumhaltigem Probenmaterial bereits bewährt haben und die Strontiumanalytik deutlich vereinfachen. Bestimmte Eigenschaften dieser Nuklide verursachen enorme analytische Herausforderungen, da sie sich als reine Betastrahler einer direkten nuklidspezifischen Messung entziehen. Die Strontiumisotope können nur unter enorm hohem analytischem Aufwand vom Kalzium und allen wesentlichen Störradionukliden abgetrennt werden. Kalzium ist eines der Hauptelemente in Pflanzen, Milch, Boden oder Bauschutt und verhindert bei unvollständiger Abtrennung eine ausreichend empfindliche Messung der Betastrahlung der Strontiumisotope. Der klassische Analysenansatz besteht aus einer Reihe von Fällungsreaktionen, die die unterschiedliche Löslichkeit von Strontium- bzw. Kalziumverbindungen ausnutzen. Ein solcher Analysengang inklusive der Messungen ist sehr zeitaufwendig. Daher wurden Anstrengungen zur Verbesserung der Analytik unternommen. Einer dieser neuen analytischen Ansätze verwendet eine chromatographische Abtrennung bei rund 80 °C sowie anschließender Messung entweder mittels low-level-LSC oder low-level Gasdurchflusszähler. Diese Methode eignet sich auch bei radiologischen Notfällen, bei denen ^{89}Sr überwiegt. Ein weiterer neuer Analysenansatz geht davon aus, dass ^{89}Sr bereits zerfallen ist und dass sich das ^{90}Y im radioaktiven Gleichgewicht mit ^{90}Sr befindet. Dies ist bei stillgelegten kerntechnischen Anlagen der Fall. Bei der Analyse werden ^{90}Y zusammen mit zugegebenem stabilem Y^{3+} mittels Flüssig-Flüssig-Extraktion abgetrennt und gereinigt. Falls erforderlich, wird auch das Element Eisen entfernt oder maskiert. Die Präparation geschieht durch Mitfällung an $\text{Y}(\text{OH})_3$ oder durch direkte Messung der Rückextraktionslösung ohne weitere Präparation mittels Cherenkov-Counting. Bei der Fällung erfolgt die Messung am low-level- β -counter oder durch Messung im LSC nach Zugabe des Niederschlags zu einem geeigneten, Gel bildenden Szintillations-Cocktail. Je nach angewandeter Präparations- und Kernstrahlungsmessmethode werden ausreichend niedrige Nachweisgrenzen erreicht, die eine Anwendung in der Umgebungsüberwachung und einen Nachweis der Freigabefähigkeit ermöglichen. Die Leistungsfähigkeit der neuen Methoden ist erstaunlich, aber nicht unbegrenzt. Vor- und Nachteile werden diskutiert.

Workshop A2: Umweltradioaktivität, NORM

T. Heinrich¹, J. Peter²

¹Staatliche Betriebsgesellschaft für Umwelt und Landwirtschaft, Radebeul

²Bundesamt für Strahlenschutz, Neuherberg

Themen

Im Workshop A2 am 27.09.2023 ging es um Umweltradioaktivität und NORM (Naturally Occurring Radioactive Material). Dazu gab es drei Kurzvorträge:

Im Vortrag von H. Nowitzki über „Natürliche Radionuklide im Trinkwasser in der Bundesrepublik Deutschland“ (Nr. 5) wurde die Datenbank über Trinkwassermessungen mit mehr als 12000 Datensätze vorgestellt. Die Messungen der Betreiber von Wasserversorgungsanlagen ergeben sich aus der Pflicht nach Trinkwasserverordnung. In den meisten Fällen ergaben sich keine Auffälligkeiten bei den Angaben zu Rn-222 und der Gesamt-Alpha-Aktivitätskonzentration.

Der Vortrag von H. Behnsen über „Ausweisung der Radonvorsorgegebiete in Niedersachsen – Praxiserfahrungen bei der Durchführung groß angelegter Radon-Messkampagnen“ (Nr. 14) umfasste zwei abgeschlossene Messkampagnen mit ca. 8500 Einzelmessungen in Gebäuden. Dabei gab es ca. 10 % Verluste wegen unterschiedlicher Expositionszeiträume. Im Ergebnis wurden 3 Gemeinden bei Goslar als Radonvorsorgegebiete ausgewiesen. Als Konsequenz aus den Erfahrungen der Kampagnen ergeben sich weitere Optimierungsmöglichkeiten wie z. B. Geotargeting (Bewerbungsverfahren, nur interessante Messorte werden angenommen).

Zum Abschluss der Impulsvorträge berichtete S. Röttger über „Neue Metrologie für Radon in Außenluftmessungen: Verbesserte Rückführung für Klimabeobachtung und Strahlenschutz“ (Nr. 41). Im Rahmen eines EU-Projekts wurden Kalibrierverfahren für zwei Außenluftdetektoren entwickelt, die deutliche Verbesserungen gegenüber üblichen kommerziellen Radonmonitoren bieten.

Diskussion und Fazit

Übergeordnetes Thema dieses Workshops war die Gewinnung von Daten durch Messung im Bereich der natürlichen Radionuklide. Die Messbedingungen spielen dabei eine entscheidende Rolle und waren Gegenstand der lebhaften Diskussion. Bei Radon in Gebäuden gibt es einen großen Einfluss von Gebäudetyp und -aufbau (Unterkellerung), die besten Erkenntnisse liefern Erdgeschossmessungen. Radon im Freien stellt durch die niedrigen Konzentrationen eine messtechnische Herausforderung dar, kann aber auch wertvolle Erkenntnisse über atmosphärische Transportprozesse liefern. Messungen von Radon und alphastrahlenden Radionukliden im Trinkwasser liegen nun in großer Zahl vor. Diskutiert wurde u. a., inwieweit diese Daten für die Allgemeinheit verfügbar sein sollten.

W005: Natürliche Radionuklide im Trinkwasser in der Bundesrepublik Deutschland

Natural Radionuclides in drinking water in the Federal Republic of Germany

A. Artmann¹, K. Brennan¹, C.-L. Giorio¹, P. Hofmann², H. Meyering¹, H. Nowitzki¹

¹Gesellschaft für Anlagen- und Reaktorsicherheit (GRS) gGmbH, Köln, Deutschland

²Bundesamt für Strahlenschutz (BfS), Berlin, Deutschland

Zusammenfassung

Mit Inkrafttreten der Richtlinie 2013/51/Euratom zur Festlegung von Anforderungen an den Schutz der Gesundheit der Bevölkerung hinsichtlich radioaktiver Stoffe in Wasser für den menschlichen Gebrauch vom 22. Oktober 2013 [1] und Umsetzung in die geänderte Trinkwasserverordnung (TrinkwV) am 26. November 2015 [2] sind Betreiber von Wasserversorgungsanlagen (WVA) in Abhängigkeit ihrer Versorgungsgröße verpflichtet, Erstuntersuchungen des Trinkwassers auf Radionuklide natürlichen Ursprungs durchzuführen (TrinkwV Anlage 3a) [2]. Für alle bestehenden WVA mussten diese Untersuchungen bis spätestens 26. November 2019 abgeschlossen sein und die Ergebnisse den zuständigen Länderbehörden gemeldet werden. Im Rahmen des BfS-Vorhabens 3620S12281 „Natürliche Radionuklide im Trinkwasser in der Bundesrepublik Deutschland – Erfassung und Evaluierung der im Kontext der Richtlinie 2013/51/Euratom erhobenen TrinkwV Anlage 3a-Daten“ wurden von der Gesellschaft für Anlagen- und Reaktorsicherheit (GRS) gGmbH insgesamt rund 13.000 Datensätze zu natürlichen Radionukliden im Trinkwasser von insgesamt etwa 3.800 WVA zusammengestellt, validiert und ausgewertet. Weiterhin wurde ein Datenbankkonzept erarbeitet und umgesetzt, welches die Zusammenstellung sowie erste Auswertungen der Daten ermöglicht. Die Datenabfrage erfolgte bei den öffentlichen Wasserversorgungsunternehmen (WVU) und wurde durch von den Ländern zur Verfügung gestellte Trinkwasserdaten ergänzt. Die übermittelten Datensätze enthielten vor allem Angaben zu Rn-222 und der Gesamt-Alpha-Aktivitätskonzentration (95 % bzw. 70 % aller Datensätze). Bei den ausgewerteten Datensätzen war insgesamt nur eine geringe Anzahl an Auffälligkeiten und Abweichungen bei den Referenzaktivitätskonzentrationen, dem Prüfwert für Gesamt-Alpha-Aktivitätskonzentration bzw. den Parameterwerten festzustellen. Auffälligkeiten bei den Prüfwerten für die Gesamt-Alpha-Aktivitätskonzentration nach TrinkwV machen eingehendere Untersuchungen erforderlich, sind jedoch nicht gleichzusetzen mit einer Überschreitung des Parameterwertes für die Richtdosis. Eine tatsächliche Überschreitung des Parameterwertes für die Richtdosis war bei weniger als 1 % der Datensätze festzustellen.

Summary

With the Council Directive 2013/51/Euratom of 22 October 2013 laying down requirements for the protection of the health of the general public with regard to radioactive substances in water intended for human consumption [1] entering into force and its implementation in the amended Drinking Water Ordinance on November 26, 2015, owners of water supply facilities are obliged, depending on the size of their supply zone, to conduct initial surveys of drinking water for radionuclides of natural origin (Drinking Water Ordinance Annex 3a) [2]. For all existing water supply facilities, these surveys had to be completed and the results reported to the responsible author-

ities until November 26, 2019. Within the framework of the BfS project 3620S12281 “Natural radionuclides in drinking water in the Federal Republic of Germany - compilation and evaluation of the Drinking Water Ordinance Annex 3a data collected in the context of the Council Directive 2013/51/Euratom”, about 13,000 data sets on natural radionuclides in drinking water from about 3,800 water supply facilities were compiled, validated, and evaluated by the Gesellschaft für Anlagen- und Reaktorsicherheit (GRS) gGmbH. Furthermore, a database concept was developed and implemented, which enables the compilation as well as first evaluations of the data. To conduct the survey water supply facilities were interviewed using the developed database. The survey was supplemented by drinking water data provided by the federal states. The submitted data sets contain mainly information on Rn-222 and the total alpha activity concentration (95% and 70% of all data sets, respectively). In the evaluated data sets, only a small number of anomalies and deviations in the reference activity concentrations, the reference value for the total alpha activity concentration and the parameter values were found. Anomalies in the reference values for the total alpha activity concentration require according to the Drinking Water Ordinance more detailed investigations, but they are not equivalent to an exceedance of the parameter value for the reference dose. An actual exceedance of the parameter value for the reference dose was detected in less than 1% of the data sets.

1 Einleitung

In Deutschland ist die Ermittlung und Bewertung der Strahlenexposition der Bevölkerung durch natürliche Radionuklide eine grundlegende Ressortaufgabe des BMUV. Im Zeitraum 2003 bis 2008 führte das BfS im Auftrag des damaligen BMU bereits eine Datenerhebung zur Strahlenexposition der Bevölkerung durch natürliche Radionuklide im Trinkwasser durch [3]. Mit der Umsetzung der EU-Richtlinie 2013/51/Euratom in nationales Recht wurden insbesondere die für die Versorgung der Öffentlichkeit relevanten zentralen Wasserwerke verpflichtet, Erstuntersuchungen des Trinkwassers auf Radionuklide natürlichen Ursprungs durchzuführen, womit die Voraussetzungen für eine flächendeckende Erweiterung der bestehenden Datengrundlage im Rahmen dieses Vorhabens geschaffen wurde.

Im Mittelpunkt dieses Vorhabens standen die Zusammenführung und Validierung von insgesamt 12.753 Datensätzen zu natürlichen Radionukliden im Trinkwasser von insgesamt 3.835 WVA in einer zentralen Datenbank. Zur weiteren Auswertung der Daten durch das BfS wurden die Datensätze in der Datenbank falls möglich durch Informationen zur Geologie des Grundwasserleiters, zur Herkunft des genutzten Trinkwassers, zur Wasseraufbereitung im Wasserwerk und zu den erhobenen chemischen Parametern ergänzt. Mit Hilfe der Daten kann dann der Einfluss auf die Strahlenexposition der Bevölkerung detaillierter bewertet und hieraus – falls erforderlich – Schutzkonzepte abgeleitet werden.

2 Vorbereitung und Durchführung der Datenerhebung

Im Folgenden werden die einzelnen Arbeitsschritte beschrieben, welche im Rahmen der Datenerfassung erforderlich waren. Hierzu zählen die Bestandsaufnahme der WVA in Deutschland, die Erstellung eines Fragebogens zur Abfrage der benötigten Daten bei den WVU, der Aufbau einer Datenbank sowie die anschließende Zusammenführung und Validierung der erhobenen Datensätze.

2.1 Bestandsaufnahme Wasserversorgungsanlagen

Basierend auf einem Auszug aus der Regionaldatenbank Deutschland [4] wurden in einem ersten Arbeitsschritt die geografischen Grundlagen zu insgesamt 13.385 Gemeinden in Deutschland

recherchiert. Diese Datengrundlage wurde unter Einbeziehung eines Berichts des Umweltbundesamtes (UBA) [5] um Informationen zu insgesamt ca. 2.500 Wasserversorgungsgebieten sowie mit bereits vorhandenen Kontaktdaten und durch Internetrecherche zusammengestellten Kontaktdaten zu den einzelnen WVU ergänzt.

2.2 Erstellung eines Fragebogens und einer Datenbank

Entsprechend der Anforderungen der TrinkwV [2] wurde zur Abfrage der Daten der WVA ein Fragebogen entwickelt, in welchem Stammdaten und allgemeine Informationen zu den WVA, Angaben zur Herkunft und Aufbereitung des Wassers inklusive geologischer Angaben, Ergebnisse der Untersuchungen auf natürliche Radionuklide im Trinkwasser sowie chemische Parameter und Indikatorparameter abgefragt wurden. Die im Zusammenhang mit natürlichen Radionukliden im Trinkwasser abgefragten Daten beinhalten nach den Vorgaben der TrinkwV die Aktivitätskonzentrationen der Radionuklide U-238, U-234, Ra-226, Ra-228, Pb-210, Po-210, Rn-222 und H-3 sowie die Gesamt-Alpha-Aktivitätskonzentration und die durch die Labore ermittelte Richtdosis. Weiterhin wurde zur Zusammenführung und ersten Auswertung der Daten eine Datenbank erstellt, in welche sowohl die Betreiber der WVA die im entwickelten Fragebogen abgefragten Daten manuell eintragen konnten als auch ein Datenimport größerer Datensätze möglich ist.

2.3 Datenerhebung

Die Datenerhebung erfolgte zunächst durch direkte Kontaktaufnahme mit den Betreibern der WVA. Aufgrund der geringen Rücklaufquote (insgesamt wurden 6 % der Datensätze, die bei Vorhabenende vorlagen, durch die Betreiber der WVA selbst eingetragen) wurden die zuständigen Landesbehörden um Unterstützung des Vorhabens und um Übermittlung der den Behörden oder Gesundheitsämtern in der Regel bereits vorliegenden Daten gebeten. Bei den hierauf übermittelten Daten der Länder handelte es sich zumeist um beprobtes Trinkwasser, es wurden jedoch vereinzelt auch Daten von beprobtem Rohwasser übermittelt. Eine Differenzierung der Datensätze, für die ergänzende Informationen zu den jeweiligen Wasserproben notwendig wären, konnte in der im Folgenden vorgestellten Datenauswertung nicht vorgenommen werden. Für einen Teil der Datensätze wurden die fehlenden chemisch-physikalischen Parameter sowie Koordinaten recherchiert und in der Datenbank ergänzt.

2.4 Datenvalidierung

Eine Plausibilitätsprüfung der von den Bundesländern übermittelten Daten ergab, dass die Datensätze teilweise Messdaten mit fehlerhaften Einheiten enthielten (mBq/l vs. Bq/l). Die auffälligen Daten (auch diejenigen, bei denen vermutlich eine Messwertüberschreitung vorlag) wurden an die Bundesländer rückgemeldet. Hiervon waren insgesamt 11 % aller Datensätze betroffen, wobei 3 % aller Datensätze aufgrund möglicherweise fehlerhafter Einheiten rückgemeldet wurden und 7 % aufgrund einer Überschreitung der Prüfwerte für die Richtdosis und der Gesamt-Alpha-Aktivitätskonzentration sowie einzelner Referenzaktivitätskonzentrationen. Hierbei ist hervorzuheben, dass Überschreitungen des Prüfwertes der Gesamt-Alpha-Aktivitätskonzentration oder einzelner Referenzaktivitätskonzentrationen nicht automatisch eine Überschreitung des Prüfwertes für die Richtdosis bedeuten. Zum Zeitpunkt der Datenauswertung lag von fast allen Bundesländern eine Rückmeldung bzgl. der auffälligen Datensätze vor. Aufgrund des hohen zeitlichen Aufwandes für die Länder, die die Überprüfung und Korrektur der Daten in Anspruch nimmt, wurden allerdings 3 % aller Datensätze mit möglicherweise fehlerhaften Einheiten zurückgestellt und von der im Folgenden vorgestellten statistischen Auswertung ausgenommen.

5 Auswertung

Insgesamt wurden von 3.835 WVA Stammdaten mit insgesamt 12.753 Datensätzen mit Angaben zu radioaktiven Stoffen geliefert. Lediglich zu 144 dieser WVA lagen keine Koordinaten vor, sodass insgesamt eine detaillierte räumliche Zuordnung (vgl. Abb. 1) möglich war.

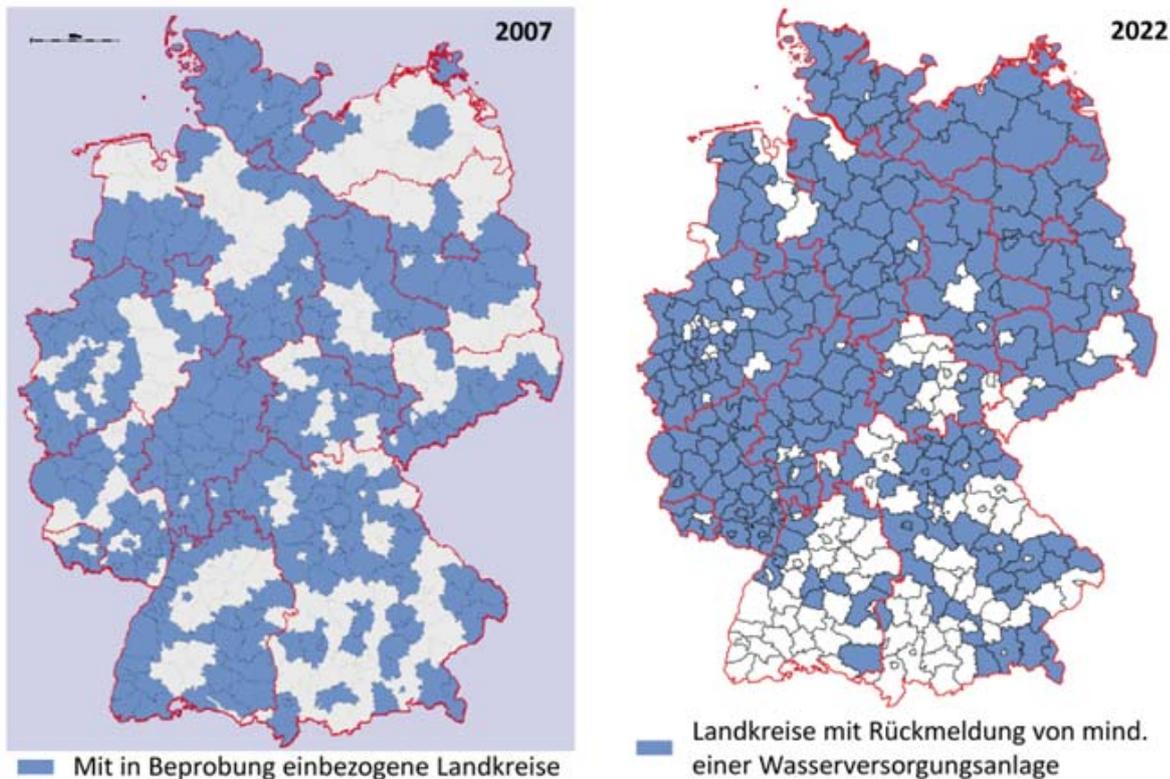


Abb. 1: Vergleich der Datenlagen zu radiologischen Parametern zwischen 2007 (links, Abb. entnommen aus [3]) und den 2022 im Rahmen des Projekts erhobenen Daten (rechts). Landkreise, zu denen mindestens eine Rückmeldung einer WVA vorlag, sind blau markiert. Hervorzuheben ist, dass für die weiß markierten Landkreise in der rechten Abb. der GRS keine Daten übermittelt wurden. Es ist jedoch davon auszugehen, dass in diesen Gebieten die Beprobungen und Messungen, welche nach TrinkwV bis Ende 2019 zu erfolgen hatten, stattgefunden haben und entsprechende Daten vorliegen. Teilweise liegen für diese Gebiete auch Daten aus der Studie des BfS vor (linke Abb., [3]).

Aufgrund der unterschiedlichen Rückmeldung der Bundesländer im Anschluss an die erfolgte Unterstützungsanfrage des BMUV an die Landesbehörden ergibt sich jedoch eine stark variierende räumliche Auflösung. Während von den meisten Bundesländern ländereigene Datenbanken zur Verfügung gestellt wurden, riefen andere die WVU erneut zur Datenübermittlung auf. Die gelieferten Datensätze enthielten vor allem Angaben zu Rn-222 und der Gesamt-Alpha-Aktivitätskonzentration (95 % bzw. 70 % aller Datensätze), was die Vorgaben für die Untersuchungen nach TrinkwV widerspiegelt. Auffälligkeiten ergaben sich fast ausschließlich bei der Gesamt-Alpha-Aktivitätskonzentration, was jedoch nicht automatisch eine Überschreitung der Richtdosis bedeutet. Nach TrinkwV müssen bei Überschreitung der Prüfwerte für die Gesamt-Alpha-Aktivitätskonzentration in einem gestuften Verfahren Einzelnukliduntersuchungen durchgeführt werden, um eine tatsächliche Überschreitung der Richtdosis zu überprüfen bzw. auszuschließen. Eine Zusammenfassung der Datenlage zu radiologischen Parametern zeigt Tabelle 1.

Tabelle 1: Datenlage zu radiologischen Parametern bezüglich des Anteils von nach TrinkwV auffälligen Werten. Insgesamt liegen 12.753 Datensätze vor.

Parameter, Gesamt-Alpha-Aktivitätskonzentration und Radionuklide	Datensätze mit entsprechenden Angaben	Referenzaktivitätskonzentration / Parameterwert / Prüfwert für Gesamt-Alpha-Aktivitätskonzentration nach TrinkwV	Abweichungen bei Referenzaktivitätskonzentration / Parameterwert / Prüfwert für Gesamt-Alpha-Aktivitätskonzentration
U-238	8 %	3000 mBq/l	-
U-234	7 %	2800 mBq/l	-
Ra-226	15 %	500 mBq/l	-
Ra-228	15 %	200 mBq/l	<1 %
Pb-210	14 %	200 mBq/l	-
Po-210	7 %	100 mBq/l	-
Rn-222	95 %	100 Bq/l	1 %
H-3	1 %	100 Bq/l	-
Richtdosis	24 %	0,1 mSv/a	<1 %
Gesamt-Alpha	70 %	50 bzw. 100 mBq/l	18 % bzw. 7 %

5.1 Statistische Auswertung

In insgesamt 2.254 Fällen wurde das Unterschreiten der Referenzaktivitätskonzentration oder der Parameterwerte dadurch angezeigt, dass der Messwert gleich Null gesetzt wurde. Diese Datensätze wurden von der durchgeführten statistischen Auswertung ausgenommen. Um eine Aussage bezüglich Über- oder Unterschreitung der Referenzaktivitätskonzentration oder des Parameterwertes zu treffen, konnten diese Datensätze jedoch genutzt werden (siehe Tabelle 1). In 943 Fällen wurde die zahlenmäßige Angabe der Referenzaktivitätskonzentration bzw. des Parameterwertes genutzt, um anzuzeigen, dass diese unter- bzw. überschritten wurden. Diese Datensätze wurden ebenso von der statistischen Auswertung ausgenommen und konnten ebenfalls lediglich genutzt werden, um eine Aussage bezüglich Über- oder Unterschreitung der Referenzaktivitätskonzentration oder des Parameterwertes zu treffen. Der sich aus der Validierung der Daten ergebende Gesamtdatensatz wurde, unterteilt nach den einzelnen Bundesländern sowie für Deutschland insgesamt, statistisch ausgewertet. Die statistische Auswertung für Deutschland insgesamt ist in Tabelle 2 gezeigt. Für die Aktivitätskonzentrationen der abgefragten Nuklide sowie für die Gesamt-Alpha-Aktivitätskonzentration wurden jeweils Minimum- und Maximum-Werte sowie der Medianwert berechnet. Die Maximalwerte der Aktivitätskonzentrationen liegen für die einzelnen Bundesländer sowie für Deutschland insgesamt in der Regel unterhalb der Referenzaktivitätskonzentrationen bzw. unterhalb des Prüfwertes für die Gesamt-Alpha-Aktivitätskonzentration nach TrinkwV. Der Median der Aktivitätskonzentrationen liegt jeweils für alle Bundesländer für alle Radionuklide sowie für Gesamt-Alpha unterhalb der durch die TrinkwV vorgegebenen Werte. Werte einzelner WVA, die die Referenzaktivitätskonzentrationen oder den Prüfwert für die Gesamt-Alpha-Aktivitätskonzentration nach TrinkwV überschreiten, wurden den Ländern zur Prüfung rückgemeldet. Es ist davon auszugehen, dass in diesen Einzelfällen entsprechende Maßnahmen bzw. weitere Überprüfungen erfolgt sind. Eine weiterführende Abfrage ist jedoch in diesem Projekt nicht vorgesehen gewesen.

Tabelle 2: Statistische Auswertung (Minimum- und Maximum- und Medianwerte) der Aktivitätskonzentrationen für Deutschland insgesamt, exklusive unklarer bzw. nicht nutzbarer Datensätze (vgl. Kapitel 2.4).

Nuklid/Summenparameter	Aktivitätskonzentrationen in mBq/l (Rn-222 in Bq/l)		
	Minimum	Maximum	Median
U-238	0,00	277,59	14,00
U-234	0,00	420,00	35,00
Ra-226	0,00	229,00	8,70
Ra-228	0,00	236,00	9,00
Pb-210	0,01	168,00	17,00
Po-210	0,00	64,00	2,00
Rn-222	0,01	1477,00	9,10
Gesamt-Alpha	0,00	1000,00	25,00

Neben der dargestellten Berechnung der Minimal-, Maximal- und Medianwerte wurden für die Nuklide U-234 und U-238, Ra-226 und Ra-228 sowie Pb-210 und Po-210 jeweils die Aktivitätsverhältnisse berechnet (Tabelle 3) und mit den Ergebnissen aus [3] verglichen.

Tabelle 3: Medianwerte, Bereiche und Anzahl der in die Berechnung einbezogenen Datenpunkte n für die Aktivitätsverhältnisse der Nuklide U-234 und U-238, Ra-226 und Ra-228 sowie Pb-210 und Po-210.

Nuklide	Median	Bereich	n
U-234/U-238	1,72	0,54 – 25,50	636
Ra-226/Ra-228	1,01	0,06 – 9,00	819
Pb-210/Po-210	6,38	0,30 – 32,00	94

5.2 Geografische Darstellung der Daten

Durch Zusammenführen der Koordinatenangaben und der Medianwerte der übermittelten Radionuklidaten auf Gemeindeebene ergibt sich eine geografische Darstellung der Radionuklidvorkommen im Trinkwasser in Deutschland. Eine solche geografische Darstellung wurde jeweils für die einzelnen Radionuklide, die Gesamt-Alpha-Aktivitätskonzentration und die Richtdosis durchgeführt, wobei sich die Darstellung jeweils an den in der TrinkwV angegebenen Referenzaktivitätskonzentrationen bzw. Parameterwerten orientiert. Da die Wassereinzugsgebiete der WVA jedoch nicht zwangsweise mit den Wasserversorgungsgebieten übereinstimmen, ist zu betonen, dass eine Schlussfolgerung auf vorliegende natürlichen Radionuklidgehalte in den einzelnen Regionen auf Basis der übermittelten Daten nicht ohne weitere Informationen zu den Wassereinzugsgebieten möglich ist.

6 Schlussfolgerungen

Insgesamt ist bei den ausgewerteten Datensätzen nur eine geringe Anzahl an Auffälligkeiten und Abweichungen bei Referenzaktivitätskonzentrationen, dem Prüfwert für Gesamt-Alpha-Aktivitätskonzentration bzw. Parameterwerten festzustellen, wobei Auffälligkeiten bei den Referenzaktivitätskonzentrationen und den Prüfwerten für die Gesamt-Alpha-Aktivitätskonzentration nach TrinkwV die Überprüfung weiterer Parameter erforderlich machen, nicht jedoch gleichzusetzen sind mit einer Überschreitung des Parameterwertes für die Richtdosis. Eine Überschreitung des Parameterwertes für die Richtdosis ist bei weniger als 1 % der Datensätze festzustellen.

Ein Vergleich der berechneten Aktivitätsverhältnisse für U-234/U-238, Ra-226/Ra-228, Pb-210/Po-210 mit [3] ergibt für die Aktivitätsverhältnisse der Radionuklide U-234/U-238 und Ra-226/Ra-228 jeweils ähnliche Ergebnisse, jedoch Abweichungen für das Aktivitätsverhältnis von Pb-210/Po-210 zu [3], was sich allerdings auch durch die geringe Anzahl an hier in die Berechnung einfließenden Daten erklären lässt. Ein Vergleich der in dieser Studie berechneten Mediane der Aktivitätskonzentrationen mit [3] zeigt, dass beide Datensätze ähnliche Tendenzen aufweisen, jedoch regionale Unterschiede festzustellen sind. Ob diese auf die regional unterschiedliche Anzahl an zur Verfügung stehenden Daten zurückzuführen sind, könnte in einer detaillierten Auswertung der Daten geprüft werden. Insgesamt bietet das Vorhaben eine gute Grundlage für eine weiterführende Zusammenstellung und detaillierte Auswertung der Daten in möglichen weiteren Vorhaben.

7 Danksagung

Diese Arbeit wurde vom BMUV gefördert (FKZ 3620S12281).

8 Literatur

- [1] Richtlinie 2013/51/Euratom des Rates vom 22. Oktober 2013 zur Festlegung von Anforderungen an den Schutz der Gesundheit der Bevölkerung hinsichtlich radioaktiver Stoffe in Wasser für den menschlichen Gebrauch. Zuletzt geändert 22. Oktober 2013 (Amtsblatt der Europäischen Union L 296/13).
- [2] Verordnung zur Novellierung der Trinkwasserverordnung vom 21. Mai 2001 in der Fassung von Bundesgesetzblatt Teil 1; Nr. 24. Zuletzt geändert 2001.
- [3] M. Beyermann, T. Bünger, K. Gehrcke, D. Obrikat: Strahlenexposition durch natürliche Radionuklide im Trinkwasser in der Bundesrepublik Deutschland. Hrsg.: Bundesamt für Strahlenschutz (BfS) (2009).
- [4] Statistische Ämter des Bundes und der Länder: Entgelt für die Trinkwasserversorgung privater Haushalte - Stichtag 01.01.2019 - regionale Tiefe: Gemeinden. Erreichbar unter <https://www.regionalstatistik.de/genesis//online/data?operation=table&code=32271-01-01-5&levelindex=1&levelid=1601306909857>, abgerufen am 19. August 2020.
- [5] Bundesministerium für Gesundheit, Umweltbundesamt: Bericht des Bundesministeriums für Gesundheit und des Umweltbundesamtes an die Verbraucherinnen und Verbraucher über die Qualität von Wasser für den menschlichen Gebrauch (Trinkwasser) in Deutschland (2014 - 2016). Hrsg.: Umweltbundesamt (UBA), 74 S.: Dessau-Roßlau, 2018.

W014: Ausweisung der Radonvorsorgegebiete in Niedersachsen – Praxiserfahrungen bei der Durchführung groß angelegter Radon-Messkampagnen

Designation of radon precautionary areas in Lower Saxony -
practical experience in the implementation of large-scale
radon measurement campaigns

H. Behnsen, K. Rupprecht, S. Herrmann, C. Liebethuth

*Niedersächsischer Landesbetrieb für Wasserwirtschaft, Küsten- und Naturschutz
(NLWKN), Hildesheim, Deutschland*

Zusammenfassung

Nach § 121 des Strahlenschutzgesetzes waren die zuständigen Behörden der Bundesländer verpflichtet, Gebiete festzulegen, in denen die über das Jahr gemittelte Radon-222-Aktivitätskonzentration (kurz: Radonkonzentration) in der Luft in einer beträchtlichen Zahl von Gebäuden mit Aufenthaltsräumen oder Arbeitsplätzen den gesetzlich festgelegten Referenzwert von 300 Becquerel pro Kubikmeter überschreitet. In Niedersachsen wurden die drei Gemeinden Goslar, Clausthal-Zellerfeld und Braunlage als Radonvorsorgegebiete identifiziert und Ende Dezember 2020 durch die zuständige Behörde per Allgemeinverfügung ausgewiesen. Der Gebietsausweisung liegt ein knapp zweijähriger Prozess der Planung, Durchführung und Auswertung einer durch den Niedersächsischen Landesbetrieb für Wasserwirtschaft, Küsten- und Naturschutz (NLWKN) durchgeführten, groß angelegten, niedersachsenweiten Messkampagne zur Bestimmung der Radonkonzentration in Innenräumen und der Bodenluft zu Grunde. Zur Bestimmung der Innenraumkonzentrationen wurden passive Kernspurdetektoren („Exposimeter“) eingesetzt, welche für einen Zeitraum von drei Monaten auszulegen waren. Die Auswertung der Exposimeter erfolgte im Anschluss durch das Herstellerlabor. Unser Beitrag ist ein Erfahrungsbericht über den Umfang und die Herausforderungen bei der Durchführung der niedersächsischen Radonmesskampagnen, um dem Wissensmanagement für die Qualitätssicherung zukünftiger Datenerhebungen Erkenntnisse und Verbesserungen in der Praxis zu liefern.

Summary

According to Section 121 of the German Radiation Protection Act, the competent authorities of the federal states were obliged to designate areas in which the average annual radon-222 activity concentration (“radon concentration” for short) in the air exceeds the statutory reference value of 300 Becquerels per cubic metre in a significant number of buildings with habitable rooms or workplaces. In Lower Saxony, the three municipalities of Goslar, Clausthal-Zellerfeld and Braunlage were identified as radon precautionary areas and designated by the responsible authority by general decree at the end of December 2020. The designation of the areas is based on an almost two-year process of planning, implementing and analysing a large-scale, Lower Saxony-wide measurement campaign carried out by the Lower Saxony Water Management, Coastal Protection and Nature Conservation Agency (NLWKN) to determine the radon concentration in indoor spaces and soil air. To determine the indoor concentration, passive nuclear track detectors (“exposimeters”) were used, which were designed for a period of three months. The exposimeters were then analysed by the manufacturer's laboratory. Our article is a field

report on the scope and challenges of carrying out radon measurement campaigns in Lower Saxony in order to provide knowledge management with findings and improvements in practice for the quality assurance of future data collection.

1 Einführung

Radon ist ein radioaktives Edelgas, welches überall in unserer Umwelt vorzufinden ist. Durch seine physikalischen Eigenschaften ist sein natürliches Vorkommen qualitativ und quantitativ nur durch Messungen zu erfassen. Das Radon-222-Nuklid entsteht im Untergrund durch den Zerfall der festen Mutternuklide Uran und Thorium. Häufigkeit und Wahrscheinlichkeit seines Auftretens werden somit maßgeblich durch die geologische Beschaffenheit des Untergrundes bestimmt und können starken regionalen Schwankungen unterliegen. Das aus dem Boden entweichende Radon verflüchtigt sich normalerweise rasch in der Umgebungsluft. In Gebäuden allerdings kann Radon durch Boden- und Mauerwerksundichtigkeiten eindringen und sich bei unzureichender Belüftung anreichern. Eine langfristige Inhalation erhöhter Radonkonzentration in der Raumluft steigert nach dem heutigen Stand der Wissenschaft das Risiko an Lungenkrebs zu erkranken.

Das Strahlenschutzgesetz (StrlSchG) [1] verpflichtet den Staat zur Gefahrenabwehr der Bevölkerung durch Radon (Vollzug des Strahlenschutzgesetzes Teil 4, Kapitel 2). Das Ziel ist eine Senkung der Strahlenexposition der Bevölkerung durch Radon mittels Öffentlichkeitsarbeit, Datenerhebung und Ausweisungen von Radonvorsorgegebieten. Zu diesem Zweck führt der NLWKN seit 2019 für das Land Niedersachsen unter anderem Messkampagnen in Innenräumen privater Haushalte und von Behörden durch. Der kontinuierlich anwachsende Datenpool wird dem Bundesamt für Strahlenschutz (BfS) zur Weiterentwicklung und Aktualisierung der bundesweiten Prognosekarte für das Radonpotenzial regelmäßig übermittelt und dient gleichzeitig als Grundlage zur Ausweisung und Überprüfung von niedersächsischen Radonvorsorgegebieten.

Unser Beitrag soll einen Einblick über den Umfang und die Herausforderungen bei der Durchführung der niedersächsischen Messkampagnen geben, denn ein richtungsweisendes Dokument wie zum Beispiel „Lessons Learned“ [2] des BfS existierte zum Zeitpunkt der ersten zwei Messkampagnen nicht. Wir möchten mit unseren Erfahrungen gerne zum länderübergreifenden Austausch anregen, um Strategien, gerade entlang der Ländergrenzen, auf einander abstimmen und vergleichbare Messergebnisse erzielen zu können.

2 Was wurde bisher erreicht?

Im Rahmen der Radonvorsorgegebietsausweisung zum 31.12.2020 nach § 121 StrlSchG führte der Niedersächsische Landesbetrieb für Wasserwirtschaft, Küsten- und Naturschutz (NLWKN) zwischen 2019 und 2020 eine erste groß angelegte, niedersachsenweite Messkampagne der Innenraum-Radonkonzentration durch. Hierdurch wurden niedersachsenweit insgesamt 1.131 Privathaushalte und einzelne Behörden für Messungen gewonnen. Zwischen September 2019 und Juni 2020 wurden so die ersten 3.500 Einzelmesswerte generiert. Parallel zu den Innenraummesskampagnen wurden in Niedersachsen zusätzlich Radonmessungen der Bodenluft durchgeführt. Alle Messwerte wurden dem Bundesamt für Strahlenschutz (BfS) für die Erstellung der Radonpotenzialkarte übermittelt. Durch direkte Messungen wurden aus niedersächsischer Sicht potenziell betroffene Gebiete anhand realer Werte besser erfasst und eingegrenzt. In Folge dessen wurde auf [Empfehlung des NLWKN](#) [3] eine Ausweisung der Gemeinden Goslar, Clausthal-Zellerfeld und Braunlage als Radonvorsorgegebiet per Allgemeinverfügung durch die staatliche Gewerbeaufsicht Niedersachsens umgesetzt [4]. Aufgrund der im StrlSchG verankerten Überprüfungspflicht der Gebietsausweisung wurden seit Anfang 2021 bereits eine weitere

niedersachsenweite Folgemesskampagne durchgeführt. Dadurch konnten bis Ende 2022 weitere 4.963 Einzelmesswerte aus 1.863 Privathaushalten und 23 Behördengebäuden gewonnen werden. Zusätzlich wurde seit 2019 die Radonkonzentration der Bodenluft gemessen. Dabei wurden in Niedersachsen bis Ende 2023 269 Messpunkte beprobt. Dies entspricht bei 3 Messungen pro Messpunkt 807 durchgeführten Einzelmessungen.

Im Februar 2024 endet der Jahresmesszeitraum der dritten niedersächsischen Radonmesskampagne. In dieser wurden anhand der vorab gewonnenen Erfahrungen der ersten beiden Messkampagnen erste Anpassungen an das Vorgehen, die Planung und die Umsetzung vorgenommen. Diese werden in Kapitel 3 näher beleuchtet.

3 Welche Herausforderungen gab und gibt es bei der Durchführung der Radonmesskampagnen?

Vereinfacht lassen sich aus unserer Sicht Herausforderungen, welche sich im Zusammenhang mit der Durchführung der Radonmesskampagnen herauskristallisiert haben, in zwei Kategorien einteilen. In die erste Kategorie fallen Herausforderungen, welche wir als „allgemein“ einstufen und denen vermutlich jede Behörde, Institution oder Privatperson/Unternehmen bei der Planung und Umsetzung einer großen Radonmesskampagne auf die eine oder andere Art gegenüberstehen wird. Dazu zählt zum Beispiel Werbung: Wie erreicht man die gewünschten Bevölkerungsgruppen (Eigenheimbesitzer, Mieter in Erdgeschoss, Arbeitgeber, andere Behörden)? Welche Medien bieten sich an und sind sinnvoll? Wie grenze ich meine Werbung lokal oder auch regional ein? Des Weiteren steht man Fragen zum Datenschutz, dem allgemeinen Umfang und Design der Messkampagne (Ziel und Zweck?) und der Logistik gegenüber. Ein weiterer großer Unsicherheitsfaktor stellt die Zuverlässigkeit der Teilnehmenden dar, welche sich unmittelbar auf die Qualität der Messdaten auswirken kann. Diese „allgemeinen“ Herausforderungen oder Fragestellungen finden sich mittlerweile in dem durch das BfS veröffentlichte „Lessons Learned“-Dokument [2] wieder und sind dort in Form von Umsetzungsvorschlägen sehr gut beschrieben.

In die zweite Kategorie fallen im Rahmen dieses Beitrags die internen Herausforderungen denen der NLWKN zusätzlich gegenüber stand. Zum einen war das kurze Zeitfenster für die Gewinnung von Messdaten vor der gesetzlich festgelegten Ausweisung der Radonvorsorgegebiete ein großes Problem. Durch die knappe Zeit wurden in der ersten Messkampagne hauptsächlich Kurzzeitmessungen über drei Monate angeboten, eine Messung über zwölf Monate konnte jedoch freiwillig gewählt werden. Der lange Anmeldezeitraum von rund vier Monaten gekoppelt mit unterschiedlich wählbaren Messzeiträumen führte über einen sehr langen Zeitraum zu einem kontinuierlichen, kaum zu überblickendem Rücklauf an Exposimetern, wodurch sich letzte Anmeldungen mit ersten Rücksendungen überlagerten. Dieses Vorgehen wurde in der zweiten Messkampagne noch nicht verändert und führte zu den gleichen logistischen Problemen. Eine weitere große Herausforderung bestand zu Beginn der Messkampagnen darin, dass digitale Prozesse kaum bis gar nicht implementiert waren. Anmeldungen zur Teilnahme wurden größtenteils telefonisch entgegengenommen und mussten in Excel-Tabellen übertragen werden. Die Exposimeternummern wurden vor dem Versand händisch den teilnehmenden Personen in der Excel-Tabelle zugewiesen und die Entwicklung einer sinnvollen Datenbankstruktur, z. B. in MS Access, stand noch aus. Zudem waren aus heutiger Sicht die Teilnahmebedingungen in beiden niedersachsenweiten Messkampagnen nicht ausreichend strikt definiert. Die Anmeldung war für alle niedersächsischen BürgerInnen offen und kostenlos. Dadurch gab es zum Beispiel viele Anmeldungen aus Obergeschoss, welche für eine Radonbewertung kaum Relevanz haben, sowie Anmeldungen mit geringem ernsthaftem Interesse an der zugrunde liegenden Thematik. Demzufolge wurden etliche Exposimeter trotz Anleitung an ungeeigneten Orten platziert, nie

ausgelegt oder man erhielt diese, trotz mehrfacher und regelmäßiger Erinnerungen, nicht oder zu früh/spät wieder zurück.

4 Optimierungen bei der Durchführung niedersächsischer Radonmesskampagnen

Durch die intensive Evaluation der Probleme der ersten beiden niedersachsenweiten Radonmesskampagnen konnten für folgende Kampagnen bereits erste wichtige Optimierungen und Anpassungen umgesetzt werden. In einem Testlauf hatten 70 Teilnehmende, welche sich zu spät für die zweite Messkampagne angemeldet und sich auf persönlichen Wunsch auf eine Vormerkliste setzen lassen hatten, Mitte 2021 nun die Möglichkeit, unter angepassten, klarer definierten Teilnahmebedingungen Radonmessungen über zwölf Monate durchzuführen. Die Messergebnisse dieser „kleinen Messkampagne“ sind Bestandteil der Auswertung der zweiten Messkampagne 2020/2021. Die meisten Anpassungen erfolgten jedoch in Vorbereitung auf und bei der Umsetzung der aktuell laufenden dritten Radonmesskampagne.

Bei der Durchführung der beiden vorangegangenen niedersachsenweiten Messkampagnen hat sich gezeigt, dass Gebiete, in welchen das Thema Radon präsenter ist (Radonvorsorgegebiete oder Gebiete, in welchen die Medien das Thema und die Messkampagne aufgegriffen hatten), überproportional viele Anmeldungen hervorrufen. Gleichzeitig bleiben mögliche, auf Basis der Radonpotenzialkarte oder geologischen Gegebenheiten, für eine Radonproblematik relevante Gebiete Niedersachsens „weiße Flecken“. Um für diese interessanten Gebiete Messwerte zu erlangen, werden die kommenden Messkampagnen, inklusive der aktuell laufenden, nicht mehr niedersachsenweit, sondern per „Geo-Targeting“ in ausgewählten Landkreisen oder Gemeinden durchgeführt. Dies erfordert sehr konkrete Anpassungen an die Werbestrategie. Für die laufende Messkampagne wurden zum Beispiel zehn Gemeinden des LK Göttingen („Südharzrand“) ausgewählt, welche durch Anzeigen in einer nur in diesen Gemeinden verfügbaren Tageszeitung direkt auf die Messkampagne aufmerksam gemacht werden konnten.

Zudem wurden die Teilnahmebedingungen weiter verschärft und klarer definiert. Zu den verschärften Teilnahmebedingungen zählt unter anderem die Festlegung des Messzeitraums auf zwölf Monate. Kurzzeitmessungen werden zukünftig nicht mehr angeboten mit dem Ziel, die Datenqualität langfristig zu verbessern und eine bessere Vergleichbarkeit der niedersächsischen und bundesweiten Messwerte zu schaffen. Anmeldungen aus Ober-/Dachgeschossen werden unter anderem nicht mehr akzeptiert. Da sich die Messkampagne(n) an Privathaushalte richtet werden Gewerbetreibende und/oder Unternehmen nicht berücksichtigt. Wichtig war hierbei auch die Änderung des Begriffs „Anmeldung“ hin zu „Bewerbung“ für eine Teilnahme an der Messkampagne. Dies macht es uns als Behörde leichter, Bewerbungen aufgrund unzureichender oder unpassender Kriterien abzulehnen. Der Begriff „Anmeldung“ beinhaltet aus unserer Sicht einen zu starken Anspruch an der Teilnahme mit wenig Möglichkeiten zur begründeten Ablehnung. Zusätzlich wurden direkt nach Ende des Bewerbungszeitraums alle Exosimeter innerhalb eines kurzen Zeitraums von maximal zwei Wochen an die Teilnehmenden versendet. Dies schränkt den Rücklauf der Exosimeter zeitlich ein und macht die notwendigen Erinnerungen über Messende und Rücksendung an die Teilnehmenden plan- und überschaubarer. Chaotische Zustände wie in den ersten beiden Kampagnen werden dadurch vermieden.

Zusätzlich sind mittlerweile viele digitale Prozesse automatisiert und vereinfacht. Dazu zählten bereits für die zweite Messkampagne die Beschaffung eines Barcode-Scanners für die Zuordnung der für den Versand vorbereiteten Exosimeter zu den entsprechenden Teilnehmenden. Auch die Nutzung von Serienbriefen und seriellen E-Mails für den Kontakt mit teilnehmenden BürgerInnen (Anmeldebestätigung, Versandbestätigung, Erinnerung über Messende/Rückver-

sand) schaffte Erleichterung und eine bessere Übersicht. Die Entwicklung und Pflege der internen Radon-Datenbank waren und sind dabei einer der wichtigsten Bestandteile bei der Abwicklung der Messkampagnen. Ein weiterer großer Schritt ist die Digitalisierung und Online-Abwicklung der Bewerbungen für die Teilnahme. Es besteht nun die Möglichkeit notwendige unterstützende Dokumente wie zum Beispiel den Gebäudefragebogen (und zukünftig das Messprotokoll) online auf unserer Webseite auszufüllen. Diese Formulare erhält die Radonberatungsstelle als E-Mail an das Funktionspostfach, und die Daten können automatisiert ausgelesen und in die Datenbank übertragen werden. Im Vergleich zum händischen Übertragen aus ausgefüllten und den Rücksendungen beigefügten Papierbögen erspart dieser Prozess viel Arbeitszeit und ist weniger fehleranfällig. Unterstützende Dokumente werden beim Versand der Messgeräte jedoch weiterhin in Papierform beigefügt, da nicht alle teilnehmenden Personen über einen entsprechenden Internetzugang oder das technische Know-how verfügen. Um nicht-digitalisierte BewerberInnen von einer Teilnahme auch künftig nicht auszuschließen, wird eine Bewerbung für nachfolgende Messkampagnen immer telefonisch möglich sein.

5 Schlussfolgerungen

Die Durchführung größer angelegter Radoninnenraummesskampagnen für die BürgerInnen Niedersachsens bleibt eine Herausforderung. Wir sind überzeugt, dass unsere bisherigen Optimierungen, insbesondere im digitalen Umfeld, aber auch in Bezug auf Planung, Dimensionierung und Zuschnitt der Messkampagnen, nicht nur zu einer allgemeinen vereinfachten Durchführung an sich, sondern auch zu einer deutlich gesteigerten Datenqualität der Radonmessungen aus Privathaushalten geführt hat und weiterhin führen wird. Auf das Messverhalten der Teilnehmenden kann leider kein direkter Einfluss genommen werden, und es basiert überwiegend auf Vertrauen, sofern keine grobe Fahrlässigkeit zu erkennen ist und zum Ausschluss des Messergebnisses führt. Hier stoßen qualitätssichernde Maßnahmen auch zukünftig an ihre Grenzen. Eine gute Auswahl der Teilnehmenden, leicht verständliche Messanleitungen und Öffentlichkeitsarbeit können nur bedingt dazu beitragen. Dennoch werden die umfangreicheren Datensätze, gepaart mit einer durchschnittlich verbesserten Datenqualität, die Festlegung potenzieller neuer und auch die Überprüfung bestehender Radonvorsorgegebiete in Niedersachsen stärker untermauern. Die sich daraus ergebenden möglichen Konsequenzen für betroffene BürgerInnen sowie ArbeitgeberInnen werden mit einer fundierten, Messwert-gestützten Ausweisung gleichzeitig einfacher und verständlicher kommunizierbar.

7 Danksagung

Die Kosten für die eingesetzten Exposimeter und die Bodenluftmesstechnik, sowie Stellenanteile werden durch das BMUV erstattet.

8 Literatur

- [1] Gesetz zum Schutz vor der schädlichen Wirkung ionisierender Strahlung (Strahlenschutzgesetz – StrlSchG) vom 27. Juni 2017 (BGBl. I S. 1966) in der jeweils gültigen Fassung.
- [2] B. Hoffmann, N. Suhr, Lessons Learned – Erfahrungen aus der Vorbereitung und Durchführung von Messprogrammen zu Radoninnenraumlufmessungen und Radonbodenluftmessungen, BfS-51/23, Bundesamt für Strahlenschutz (2023).
- [3] Empfehlung zur Festlegung von Gebieten nach § 121 Absatz 1 Satz 1 StrlSchG, Niedersächsischer Landesbetrieb für Wasserwirtschaft, Küsten- und Naturschutz (2020), https://www.nlwkn.niedersachsen.de/download/162077/Empfehlung_zur_Ausweisung_der_Radonvorsorgegebiete_NLW-KN_2020.pdf

[4] Festlegung von Gebieten gemäß § 121 Abs. 1 Satz 1 StrlSchG i. V. m. § 153 Abs. 1 StrlSchV, AV d. GAA Braunschweig v. 30.11.2020 – 40350/06/10, in: Nds. MBl. Nr. 57/2020.

W041: Neue Metrologie für Radon in Außenluftmessungen: Verbesserte Rückführung für Klimabeobachtung und Strahlenschutz

New metrology for radon in outdoor air measurements: Improved traceability for climate monitoring and radiation protection

Dr. S. Röttger¹, Dr. A. Röttger¹, Dr. F. Mertes², A. Honig¹

¹ *Physikalisch-Technische Bundesanstalt, 38116 Braunschweig, Deutschland*

² *Bundesamt für Strahlenschutz, Deutschland*

Zusammenfassung

Das natürlich vorkommende Radon ist Ursache für den größten Teil der Exposition der Bevölkerung durch ionisierende Strahlung. Radon ist gleichzeitig ein hocheffizienter Tracer, um atmosphärische Prozesse zu verstehen, die Genauigkeit chemischer Transportmodelle zu bewerten und integrierte Emissionsschätzungen von Treibhausgasen zu ermöglichen. Für Atmosphären-, Klima- und Strahlenschutzforschung wird daher ein metrologisches System für die Messung der atmosphärischen Radonaktivitätskonzentrationen benötigt. Die besondere Herausforderung liegt in der niedrigen Aktivitätskonzentration des Radons in der Außenluft von $1 \text{ Bq}\cdot\text{m}^{-3}$ bis $100 \text{ Bq}\cdot\text{m}^{-3}$, wobei es unterhalb von $100 \text{ Bq}\cdot\text{m}^{-3}$ derzeit keine metrologische Rückführung gibt. So können Messwerte unterschiedlicher Instrumente, betrieben an unterschiedlichen Standorten, bzgl. ihrer Ergebnisse nicht verglichen und Austauschprozesse in der Atmosphäre nicht verfolgt werden. Um Abhilfe zu schaffen, wird eine neue Kalibriermethode für Aktivitätskonzentrationen unterhalb von $20 \text{ Bq}\cdot\text{m}^{-3}$ am Beispiel eines ersten tragbaren Radonmonitors-Prototyps vorgestellt, der bei diesen Aktivitätskonzentrationen erstmals metrologisch rückgeführte Unsicherheiten von 5 % (bei $k=2$) erreichen kann.

Diese Ergebnisse wurden im Rahmen des Projekt EMPIR 19ENV01 traceRadon erzielt, dessen weitere Ziele darin bestehen, einen standardisierten Ansatz für die Anwendung der Radon Tracer Methode (RTM) zu finden, eine Infrastruktur mit einer Rückführungskette für Radonaktivitätskonzentrations- und Radonflussmessungen zu schaffen sowie Instrumente für die Validierung von Radonflussmodellen zu entwickeln. Da Radonflüsse aus dem Boden die terrestrische Gammadosisleistung (TGDR) dominieren, werden die traceRadon-Ergebnisse auch die Empfindlichkeit von Strahlenschutz-Frühwarnnetzen verbessern, da eine enge Korrelation zwischen Radonfluss und Umgebungs-Äquivalentdosisleistung besteht.

Summary

Naturally occurring radon is the cause of most of the population's exposure to ionising radiation. Radon is also a highly efficient tracer for understanding atmospheric processes, evaluating the accuracy of chemical transport models, and enabling integrated emission estimates of greenhouse gases. A metrological system for measuring atmospheric radon activity concentrations is therefore required for atmospheric, climate and radiation protection research. The particular challenge lies in the very low activity concentration of radon in the outside air of $1 \text{ Bq}\cdot\text{m}^{-3}$ to $100 \text{ Bq}\cdot\text{m}^{-3}$, whereby there is currently no metrological traceability below $100 \text{ Bq}\cdot\text{m}^{-3}$. This means that measured values from different instruments operated at different locations cannot be compared in terms of their results and exchange processes in the atmosphere cannot be tracked. To remedy this situation, a new calibration method for activity concentrations below

20 Bq·m⁻³ is presented using the example of a prototype of a first portable radon monitor, which for the first time can achieve metrologically traceable uncertainties of 5 % (at $k=2$) at these activity concentrations.

These results were obtained within the EMPIR 19ENV01 traceRadon project, whose further objectives are to find a standardised approach for the application of the Radon Tracer Method (RTM), to create an infrastructure with a traceability chain for radon activity concentration and radon flux measurements and to develop tools for the validation of radon flux models. As radon fluxes from the ground dominate the terrestrial gamma dose rate (TGDR), the traceRadon results will also improve the sensitivity of radiation protection early warning networks, as there is a close correlation between radon flux and ambient dose equivalent rate.

1 Rückführung von niedrigen Radon-Aktivitätskonzentrationen

Im Rahmen des im Jahr 2020 gestarteten EMPIR-Projekts traceRadon wurden neue Rückführungen bzgl. der Aktivitätskonzentration in der Atmosphäre sowie für den Radonfluss aus dem Boden entwickelt [1]. Rückführung im metrologischen Sinne bedeutet, dass das Messverfahren an das SI-Einheitensystem im zu erwartenden Messbereich angeschlossen ist. Wichtiger Bestandteil der Kalibrierung und der Messung ist dann die Zuordnung einer Unsicherheit, die alle einzelnen Unsicherheitsbeiträge (Statistik der Messung, Unsicherheit der Kalibrierung, Null-effekt etc.) enthält. Da Radon sich als Tracer für die Klimabeobachtung so gut eignet, wurden zu diesem Zweck sehr empfindliche Radon-Monitore entwickelt. Empfindlich heißt, dass selbst bei kleinen Aktivitätskonzentrationen kleine Veränderungen in kurzer Zeit beobachtet werden können. Die Fähigkeit, relative Änderungen mit einer kleinen Unsicherheit zu beobachten, sagt aber nichts über die Unsicherheit des Absolutwertes aus.

Bei der Annahme, dass die Aktivitätskonzentration c aus der Anzeige des Messgerätes c_a nach Abzug des Eigennulleffekts c_0 multipliziert mit einem Kalibrierfaktor k bestimmt werden kann, also $c = k \cdot (c_a - c_0)$, wird schnell klar, dass sich der Kalibrierfaktor und dessen Unsicherheit bei der Betrachtung von Quotienten von Werten eines Messsystems heraus kürzt. Deshalb sind relative Schwankungen auch deutlich leichter zu messen als absolute Werte. Trotzdem ist die Unsicherheit des Nulleffekts auch bei der Betrachtung relativer Werte eine Ursache von Messunsicherheit. Das bedeutet, dass die bisher fehlende Rückführung verhindert, dass die Radonmessungen geräteunabhängig verglichen werden können. Da die Messgeräte meist fest an einem Standort installiert sind, war das Ziel des Projektes eine transportable Kalibriermöglichkeit für sie zu entwickeln.

Auch wenn Radon mit seinen Folgeprodukten am meisten zur natürlichen Strahlenexposition des Menschen beiträgt, wurde es wegen der Anreicherung in Gebäuden historisch nur als Innenraum-Schadstoff betrachtet. Auch die Netzwerke des radiologischen Notfallschutzes besitzen keine geeignete Außenluft-Messtechnik, obwohl die Radon-Folgeprodukte den größten Anteil an der Variation der Ortsdosisleistung aus natürlichen Quellen ausmachen. Dies ist insbesondere auch deshalb relevant, da das niederschlagsbedingte Auswaschen von Radon-Folgeprodukten für den Hauptanteil aller Fehlalarme verantwortlich ist. Trotzdem stellen die zeitlich dynamischen Ortsdosisleistungs-Karten das Vorbild für die Entwicklung von dynamischen europäischen Radon- und Radonfluss-Karten dar (<https://remon.jrc.ec.europa.eu/About/Atlas-of-Natural-Radiation/Digital-Atlas/Radon-flux/Radon-flux>).

2 Neue Kalibrierquellen

Es wurden eine Reihe neuer Emanationsquellen mit geringer Aktivität entwickelt [2,3,4,5,6], wobei sechs verschiedene Prinzipien verwendet wurden.

Der erste und älteste Ansatz ist eine Radon-Emanationsquelle, bestehend aus einem getropften Präparat mit ^{226}Ra auf Filterpapier, eingeschlossen in Polyethylenfolie.

Der zweite Ansatz ist eine Radon-Emanationsquelle, die aus einer Emulsion von Fettsäuresalzen in Silikonkautschuk hergestellt wird, die aus der gewogenen Standardlösung gebildet wird. Die Rückführung der ^{226}Ra -Aktivität wird durch Wägung und Gammaspktrometrie sichergestellt. Mit Hilfe eines zylindrischen Edelstahlgehäuses mit Ventilen und Aerosolfiltern, ultratrockener Luft und einem Massenflussregler mit Befeuchter (zur Steuerung der Verdünnung der Aktivitätskonzentration) wird eine zeitlich stabile Radonaktivitätskonzentration erreicht. Mit diesem Ansatz wurde eine Radonquelle mit zeitstabiler Radonaktivitätskonzentration für den Einsatz in Radon-Kalibrierkammern geschaffen.

Der dritte Ansatz ist die Entwicklung einer schwach aktiven Emanationsquelle, die auf der galvanischen Abscheidung einer trägerfreien ^{226}Ra -Lösung auf einer Edelstahlplatte basiert. Die ^{222}Rn -Emanationsrate dieser Quellen wird online mittels Gammaspktrometrie unter Verwendung tragbarer Szintillationsdetektoren wie Lanthanbromid (LaBr_3)-Kristallen gemessen. Die Emission von ^{222}Rn folgt von Natur aus Differenzialgleichungen, die das Entstehen des ^{222}Rn durch den Zerfall des ^{226}Ra , sowie den radioaktiven Zerfall des ^{222}Rn selbst, einschließen. Dadurch ist die Abschätzung der Emission des ^{222}Rn auf der Basis der Messung des in Quelle zerfallenden ^{222}Rn nur durch eine mathematische Inversion möglich. Dazu wurde im Rahmen des Projekts ein Algorithmus entwickelt, der eine neue statistische Methode auf der Grundlage der Bayes-Filterung (Kalman-Filter, Filterung mit angenommener Wahrscheinlichkeitsdichte) verwendet [7,8]. Mit diesem Algorithmus wird das emanierende ^{222}Rn in der Einheit Atome pro Sekunde sowie die zugehörige Unsicherheit online aus den spektrometrischen Daten unter Einbeziehung der Kenntnis der bereits gemessenen Spektren bestimmt.

Der vierte Ansatz verwendet durch Beschleuniger-Massenspektrometrie getrennte ^{226}Ra -Ionenimplantierte Emanationsquellen. Als Metallsubstrat dient z. B. Aluminium oder Wolfram. Bei diesen Quellen handelt es sich um hochwertige metrologische Quellen, die eine ideale Aktivitätsverteilung (scharfe Gauß-Verteilung) aufweisen und deren Radonemanation wenig bis gar nicht von den Umgebungsbedingungen (Feuchtigkeit, Temperatur) abhängig ist, da sie ausschließlich durch Rückstoß angetrieben wird. Die Verfügbarkeit dieser Quellen ist durch die Produktionsmöglichkeiten eingeschränkt.

Der fünfte Ansatz ist die thermische Aufdampfung von RaCl_2 direkt auf einen Träger. Diese Quellen zeigen eine gute Einsetzbarkeit, sind weniger abhängig von den Umgebungsbedingungen als die des dritten Ansatzes und lassen sich relativ leicht herstellen und charakterisieren.

Der sechste Ansatz ist ein integriertes Radiumquellen-Detektionssystem, welches im Online-Modus betrieben wird. Dazu wird ein ionenimplantierter Silizium-Halbleiterdetektor mit Radiumchlorid ($^{226}\text{RaCl}_2$) in definierter Weise durch thermische Abscheidung aus der Gasphase direkt auf die Totschicht des Detektors beschichtet. Der Detektor ist somit gleichzeitig die Quelle für Radon und spektrometrisches Messsystem für die entstehende Alphastrahlung. Sowohl die absolute Aktivität von ^{226}Ra als auch der Verlust von ^{222}Rn , sprich die Emanation können direkt durch Analyse der Alphaspektren bestimmt werden. Hierfür kann der für den dritten Ansatz entwickelte Inversionsalgorithmus analog angewandt werden. Daraus ergibt sich die absolute Aktivität von ^{222}Rn , die von der "Integrierten Radiumquelle/Detektor" (IRSD) ausgeht.

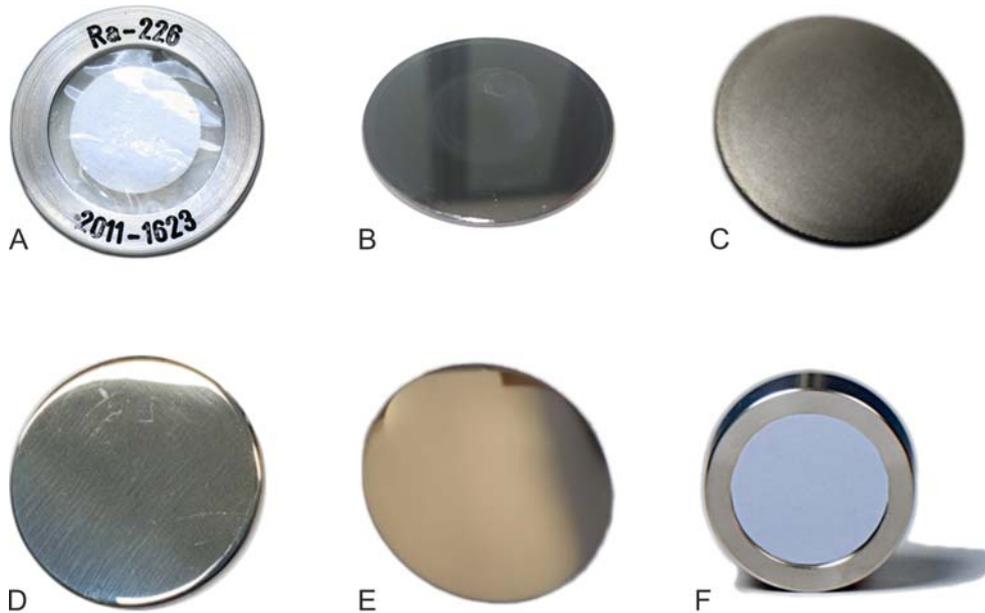


Abb. 1: Übersicht über Radon-Emanationsquellen. Historische Entwicklung von oben links nach unten rechts.

(A) ^{226}Ra -Lösung, die auf einen zwischen Polyethylen-Folien eingeschlossenen Faserfilter getropft wurde.

(B) ^{226}Ra -Lösung, galvanisch abgeschieden auf einem Edelstahlträger.

(C) Massenetrenntes, ionenimplantiertes ^{226}Ra auf einem Wolframträger (W oder Al).

(D) Thermisch-physikalische Gasphasenabscheidung von $^{226}\text{RaCl}_2$ auf einem Träger aus rost-freiem Stahl.

(E) Thermisch-physikalische Gasphasenabscheidung von $^{226}\text{RaCl}_2$ auf einem 1"-Silizium-Wafer.

(F) Thermisch-physikalische Abscheidung aus der Gasphase von $^{226}\text{RaCl}_2$ auf einem 450 mm² großen ionenimplantierten Siliziumdetektor.

3 Kalibrierung eines Prototyps für die Radon-Aktivitätskonzentration in der Außenluft

Heutzutage gibt es eine Vielzahl von Radonmonitoren, die auf unterschiedlichen Messtechniken basieren. Der Kompromiss zwischen handelsüblichen Radonmonitoren für die Raumluftüberwachung und Forschungsmonitoren für Radonmessungen in der Außenluft besteht häufig darin, dass letztgenannte weniger tragbar sind, dafür aber eine höhere Genauigkeit bei der Messung niedriger Aktivitätskonzentrationen aufweisen. Diese Eigenschaften wurde verwendet, um die vorgeschlagenen Parameter für ein Transfornormal für die rückführbare Kalibrierung von atmosphärischen Radonmonitoren gemäß IEC 61577 zu ermitteln. Anhand der Ergebnisse der Eigenschaftsmatrix wurden zwei Forschungsmonitore für Radonmessungen in der Außenluft, eine neuartige tragbare 200-Liter-Version des ANSTO-Monitors (Australia's Nuclear Science and Technology Organisation (ANSTO)) und eine optimierte Version des ARMON v2 der Universität Politècnica de Catalunya, entwickelt und gebaut:

- Der ANSTO 200 L passt in ein 19"-Geräterack, hat einen geringen Strombedarf (~100 W bei 240 VAC), ist für den wartungsarmen Langzeitbetrieb in Innenräumen oder im Freien geeignet und zeichnet interne Umweltparameter auf.

- Ein optimierter ARMON v2 zur Messung von atmosphärischem Radon unter 100 Bq m^{-3} auf der Grundlage elektrostatischer Ablagerung von ^{218}Po und unter Verwendung der α -spektrometrischen Analyse zur Bestimmung der Radon-Aktivitätskonzentration wurde entworfen und gebaut. Der Monitor wurde zuvor in der spanischen Radonkammer der Universität Politècnica de Catalunya charakterisiert.

Sowohl der ANSTO 200 L als auch der ARMON v2 waren Kandidaten für einen Transferstandard für Radonmessungen in der Außenluft. Beide Detektoren wurden in Vergleichsmessungen eingesetzt. Daneben fanden Feldmessungen statt: Im Atmosphärenturm der Université de Versailles Saint-Quentin-en-Yvelines wurde eine Langzeitvergleichskampagne durchgeführt, bei der zwei Monate lang Luftproben in 100 m über dem Meeresspiegel entnommen wurden und eine Vielzahl anderer Radonmesssystemen zum Einsatz kamen.

Im Folgenden wird die Langzeitkalibrierung des ANSTO 200 L vorgestellt, die über einen Zeitraum von 5 Monaten durchgeführt wurde. Um die Rückführung herzustellen, wurden die neuen Kalibrierquellen zur Erzeugung einer nicht konstanten, aber ungestörten Radon-Referenzatmosphäre in einer Klimakammer verwendet. Dieses vorläufige primäre Messverfahren führte zu einem Kalibrierungsfaktor von $(26,0 \pm 1,3) \text{ s} \cdot \text{Bq} \cdot \text{m}^{-3}$ für $k=1$ für den neuen 200-Liter-Radonmonitor der Australia's Nuclear Science and Technology Organisation (ANSTO), siehe Abb.2

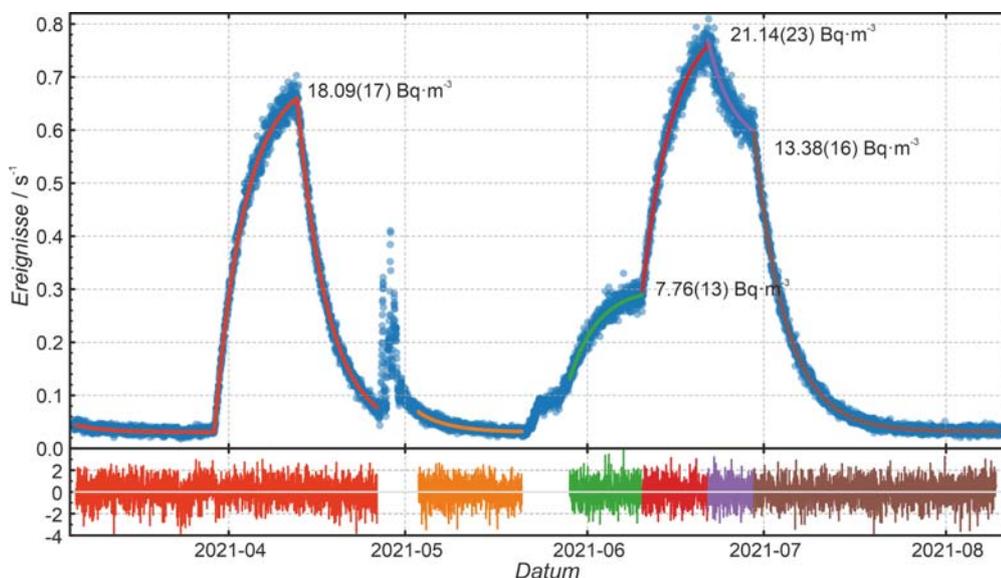


Abb. 2: Kalibrierung eines hochempfindlichen Radon-Detektors (ANSTO 200 L) mit verschiedenen, gut charakterisierten Radon-Emanationsquellen in einer großvolumigen Klimakammer mit rückführbarem Volumen. Bei diesem Kalibrierungslauf wurden drei verschiedene Radon-Emanationsquellen in unterschiedlichen Kombinationen verwendet. Dies wird durch die verschiedenen Farben in der Abbildung angezeigt. Die y-Achse zeigt die gemessene Aktivitätskonzentration c (Ereignissen s^{-1}), die vom Detektor erfasst wird. Die jeweilige Radonaktivitätskonzentration im Gleichgewicht der jeweiligen Quelle in diesem Volumen mit der zugeordneten Unsicherheit ($k=1$) ist durch die Werte an den entsprechenden Positionen gegeben. Passt man dieses Modell an die Datenpunkte an, so erhält man eine gemeinsame Kalibrierung und einen Faktor für den Untergrundwert des Detektors. Die Differenz zwischen Modell und Daten wird als Residuum in der unteren Grafik dargestellt.

4 Ausblick

Radon ist die größte Quelle für die Exposition der Bevölkerung, innerhalb der natürlich vorkommender Radioaktivität. Daneben können auf atmosphärischen Messungen basierende Radonkarten bei der Entwicklung des Radon-Maßnahmenplans entsprechend der EU-Grundnorm in der nationalen Umsetzung (Strahlenschutzgesetz) zukünftig genutzt werden.

Radon in der Außenluft kann zudem als Tracer zur Bewertung von Ausbreitungsmodellen verwendet werden, die für die Ermittlung erfolgreicher Strategien zur Eindämmung von Treibhausgasen (THG) wichtig sind. Um die Genauigkeit sowohl der Strahlenschutzmessungen als auch der für die Modellierung von Treibhausgasen verwendeten Messungen zu erhöhen, müssen die Freisetzungsraten von Radon aus dem Boden, seine Aktivitätskonzentration in der Atmosphäre und validierte Modelle für seine Ausbreitung auf SI-Einheiten zurückgeführt werden können [9,10]. Im Rahmen des traceRadon-Projektes wurde die erforderliche Messinfrastruktur geschaffen, um mittels der Anwendung der Radon-Tracer-Methode die Emissionsschätzungen zur Unterstützung der nationalen Berichterstattung im Rahmen des Pariser Abkommens zum Klimaschutz zu unterstützen.

Neben Radon in der Innen- und Außenluft entsteht im Zusammenhang mit moderner Stadtentwicklung eine neue Herausforderung, insbesondere unter dem Aspekt der Notwendigkeit von Energieeinsparung und Energiewende. Die Verringerung des Luftaustauschs in großen Gebäuden bietet einen Punkt für Kosteneinsparungen, stößt jedoch aufgrund von Bedenken hinsichtlich des Strahlenschutzes bzgl. Radon auf Widerstand. Da die Radon-Aktivitätskonzentration in der Außenluft in der Regel niedriger ist, ist eine effiziente Belüftung nach wie vor die bewährte Technik zur Verringerung der Exposition durch Radon und seinen Folgeprodukten. Die Belüftung erhöht jedoch den Energieverbrauch und die Wartungskosten und sollte nur so viel wie nötig eingesetzt werden, um die Luftqualität in Innenräumen und insbesondere die Radon-Aktivitätskonzentrationen zu reduzieren. Schwankungen in der Radon-Emanation aus Boden und Baustoffen aufgrund von Temperatur-, Druck- und Feuchtigkeitsschwankungen unterstreichen die Notwendigkeit des Einsatzes intelligenter Sensornetzwerke in vernetzten Gebäuden, um die Veränderungen der Werte zu überwachen. Diese technologische Anpassung ist zwingend erforderlich, um energieeffiziente Designs für zukünftige Gebäude zu erreichen.

In diesem Zusammenhang steht ein neues Projekt der europäischen Metrologieforschung, welches aus der Stakeholder-Konsultation des Europäischen Metrologie Netzwerkes für den Strahlenschutz (<https://www.euramet.org/european-metrology-networks/radiation-protection>) hervorgegangen ist: „Radon metrology: Sensor networks for big buildings and future cities“ (EPM 23IND07 RadonNET).

Das Thema Radon bleibt also auch für die Metrologie spannend!

5 Danksagung

Das Projekt 19ENV01 traceRadon wurde im Sommer 2020 gestartet. Unterstützung erhielt es von einer weltweiten breiten wissenschaftlichen Gemeinschaft aus Klimaforschung, Strahlenschutz und Metrologie. Alle Akteure einte das Ziel, neue und verbesserte Daten für die Wissenschaft, die Bevölkerung und die Entscheidungsträger bereit zu stellen.

Es sind die folgenden Institute als Projektpartner beteiligt: Physikalisch-Technische Bundesanstalt, Deutschland, Budapest Főváros Kormányhivatala Hungary, Cesky Metrologicky Institut, Tschechische Republik, Agenzia Nazionale per le nuove tecnologie, l'energia e lo sviluppo economico sostenibile, Italien, Institutul National de Cercetare-Dezvoltare pentru Fizica si Inginerie Nucleara "Horia Hulubei", Rumänien, NPL Management Limited, Vereinigtes Königreich, Institut

Za Nuklearne Nauke Vinca, Serbien, Österreichische Agentur für Gesundheit und Ernährungssicherheit GmbH, Österreich, Centralne Laboratorium Ochrony Radiologicznej, Polen, Instituto de Engenharia de Sistemas e Computadores, Tecnologia e Ciência, Portugal, Joint Research Centre – European Commission, Lunds Universitet, Schweden, Státní ústav jaderné, chemické a biologické ochrany, Tschechische Republik, Universidad De Cantabria, Spain, University of Bristol, Vereinigtes Königreich, Universitat Politècnica de Catalunya, Spanien, Université de Versailles Saint-Quentin-en-Yvelines, Frankreich, IDEAS Hungary Betéti Társaság, Ungarn.

Unterstützt wurde das Konsortium von den folgenden Kooperationspartnern: Universität Heidelberg, Deutschland, ANSTO, Australia's Nuclear Science and Technology Organisation, Australien, ERA, European Radon Association, Europa, Met Office, Vereinigtes Königreich, University of Novi Sad, Serbien, Politecnico di Milano, Italien, University of Cordoba, Spanien, EURADOS, e.V., Europa, Universität Siegen, Deutschland, Institut de Radioprotection et de Sûreté Nucléaire, Frankreich, ARPA Piemonte, Italien, ARPA Valle d'Aosta, Italien.

Dabei reichten das Interesse und die Unterstützung des Projektes über Europa weit hinaus: So kamen die Mitglieder des Stakeholder-Komitees von vier verschiedenen Kontinenten.

Die Autoren bedanken sich bei den Projektpartnern und den Kooperationspartner von traceRadon, sowie allen Institutionen, die das Projekt mit Empfehlungen unterstützt haben. Ein großer Dank geht an die beteiligten Beschäftigten für die herausfordernde Arbeit. Ein weiterer Dank geht an EURAMET e.V., der Europäische Vereinigung nationaler Metrologie-Institute, die mit dem Rahmenprogramm EMPIR ein solches Projekt überhaupt erst möglich gemacht haben.

Dieses Projekt 19ENV01 wurde aus dem EMPIR-Programm, das von den teilnehmenden Staaten kofinanziert wird, und aus dem Forschungs- und Innovationsprogramm Horizont 2020 der Europäischen Union unterstützt.

6 Literatur

- [1] A. Röttger et al: New metrology for radon at the environmental level. *Meas. Sci. Technol.* 32, 124008 (2021), <https://doi.org/10.1088/1361-6501/ac298d>
- [2] D. Linzmaier et. al.: Development of a low-level radon reference atmosphere, *Applied Radiation and Isotopes* 81, 208–211 (2013), <https://doi.org/10.1016/j.apradiso.2013.03.032>
- [3] F. Mertes et. al.: Ion implantation of ²²⁶Ra for a primary ²²²Rn emanation standard, *Applied Radiation and Isotopes*, Volume 181, 110093 (2022), <https://doi.org/10.1016/j.apradiso.2021.110093>
- [4] F. Mertes et. al.: Development of ²²²Rn emanation sources with integrated quasi 2pi active monitoring, *Int. J. Environ. Res. Public Health*, 19, 840 (2022), <https://doi.org/10.3390/ijerph19020840>
- [5] S. Röttger et al: Radon metrology for use in climate change observation and radiation protection at the environmental level, *Adv. Geosci.*, 57, 37–47 (2022), <https://doi.org/10.5194/adgeo-57-37-2022>
- [6] S. Röttger et al.: Evolution of traceable radon emanation sources from MBq to few Bq, *Applied Radiation and Isotopes*, Volume 196, 110726 (2023), <https://doi.org/10.1016/j.apradiso.2023.110726>
- [7] F. Mertes et. al.: D3.3 Approximate sequential Bayesian filtering to estimate Rn-222 emanation from Ra-226 sources from spectra (2021), <https://doi.org/10.5162/SMSI2021/D3.3>
- [8] F. Mertes et al.: Approximate sequential Bayesian filtering to estimate ²²²Rn emanation from ²²⁶Ra sources using spectral time series, *J. Sens. Sens. Syst.*, 12, 147–161 (2023), <https://doi.org/10.5194/jsss-12-147-2023>

- [9] A. Röttger et al: Beyond the state of art: New metrology infrastructure for radon measurements at the environmental level, Proceedings of IMEKO TC11 & TC24 Joint Hybrid Conference (2022), <https://www.imeko.org/publications/tc11-2022/IMEKO-TC11-2022-05.pdf>
- [10] A. Röttger et al.: Metrology infrastructure for radon metrology at the environmental level, Acta IMEKO, Vol. 12, No.2 (2023), <https://acta.imeko.org/index.php/acta-imeko/article/view/1440>

Workshop A3: Datenmanagement und Datennutzung

A. Graupner, W. Preuß

Bundesamt für Strahlenschutz, Berlin, Deutschland

1 Themen

Bei dem diesjährigen Fachgespräch wurden eine Reihe Workshops angeboten, in denen es eine fachliche Einleitung durch mehrere Kurzvorträge gab und anschließend Zeit für Diskussionen mit dem Plenum zur Verfügung stand. Im Workshop A3 am 27.09.2023 ging es übergeordnet um Datenmanagement und Datennutzung. Eingeleitet wurde mit einem fachlichen Beispiel von Frau Völpel (Bundesamt für Gewässerkunde, BfG) mit dem Thema „Tritium – mehr als nur ein radioaktiver Stoff“. In diesem Kurzvortrag zeigte Frau Völpel sehr anschaulich, wie Tritium als Tracer im Flusswasser der Mosel verwendet wurde, um den flussspezifischen Dispersionskoeffizienten zu bestimmen und somit die Modelle, die auf empirischen Formeln basieren, zu verifizieren bzw. anzupassen. Die Einleitung von Tritium fand routinemäßig durch das KKW Cattenom statt. An acht Stellen entlang der Mosel wurden über einen Zeitraum von 35 Tagen täglich Wasserproben entnommen und anschließend im Labor analysiert.

Wie solche und andere Daten visualisiert werden können, zeigte der zweite Impulsvortrag von Herrn Burbeck (Bundesamt für Strahlenschutz, BfS): „Self-Service Anwendung zur interaktiven Datenpräsentation“. Hier stellte Herr Burbeck eine neue in-house Entwicklung des BfS vor, die es den Nutzern intuitiv ermöglichen soll, in Zukunft alle vom BfS gesammelten Daten in einem online-Portal abzurufen und nach Bedarf anpassen zu können. Die gesetzliche Grundlage für dieses Projekt ist das Informationsfreiheitsgesetz.

Im dritten Impulsvortrag stellte Frau Graupner (BfS) das Integrierte Mess- und Informationssystem für die Überwachung der Umweltradioaktivität (IMIS) vor. Das IMIS dient bisher zur Erfassung der künstlichen Radioaktivität in der Umwelt und umfasst thematisch die beiden vorangegangenen Vorträge bzgl. der Datenerzeugung (Tritium in der Mosel) und Datennutzung (Datenvisualisierung): Im IMIS können die Daten gesammelt, aufbereitet und bewertet werden (Datenmanagement). Es wurde aufgezeigt, welche weiteren Daten im IMIS erfasst und gesammelt werden könnten (z. B. natürliche Radionuklide in der Umwelt), aber auch, welche Herausforderungen damit einhergehen.

2 Umfragen und Meinungsbild

Um die Diskussion in diesem Workshop anzuregen, wurden die Zuhörer*innen gebeten an einer interaktiven Umfrage teilzunehmen (über das online-tool Mentimeter). Zur besseren Einordnung des fachlichen Hintergrundes des Plenums wurde zunächst abgefragt, aus welchem Themenbereich die Zuhörer*innen kommen. Hierbei ergab sich folgende Verteilung: 44 % der Teilnehmer*innen kamen aus dem IMIS-Bereich, je 21 % aus dem Bereich KTA/REI bzw. Sonstige und 14 % aus dem Notfallschutz (insgesamt 43 Antworten aus dem Plenum). Anschließend wurde gefragt, ob der Wunsch besteht, IMIS als nationale Umweltradioaktivitätsdatenbank zu nutzen. Hier waren 36 Teilnehmer*innen dafür (86 %), 1 Person dagegen und 5 (12 %) wählten als Antwort „Kommt drauf an“. Die Frage „Welche Daten gehören Ihrer Meinung nach in eine nationale Datenbank für Umweltradioaktivität?“ wurde folgendermaßen beantwortet (Abbildung 1):



Abb. 1: Auswertung als Wortwolke zur Frage „Welche Daten gehören Ihrer Meinung nach in eine nationale Datenbank für Umweltradioaktivität?“ der online-Umfrage mit den Antworten der Teilnehmer*innen im Workshop „A3: Datenmanagement und Datennutzung“. Es haben insgesamt 22 Teilnehmer*innen auf diese Frage geantwortet, eine Mehrfachnennung war möglich. Die Schriftgröße innerhalb der Wortwolke wird durch die Häufigkeit der Nennung skaliert.

Bei der Frage, ob die Teilnehmer*innen Daten in das IMIS liefern würden, antworteten 30 mit ja (91 %) und 3 (9 %) mit „nicht relevant“. (Anmerkung der Autoren: Nicht jede Frage wurde von allen Teilnehmern beantwortet, daher ergeben sich unterschiedliche absolute Zahlen. Zum besseren Vergleich wurden deshalb auch prozentuale Angaben gemacht.)

3 Diskussion und Fazit

Die Veranschaulichung der Antworten auf die gestellten Fragen in der live-Umfrage in Form von Balkendiagrammen (nicht dargestellt, siehe Abschnitt 2) und einer Wortwolke (siehe Abbildung 1) führte schnell in eine Diskussion. Zwar wünschte sich die Mehrheit IMIS als nationale Datenbank (86 %) und wäre auch bereit Daten zu liefern, allerdings wurde in der Diskussion deutlich, dass die Frage bei näherer Betrachtung nicht pauschal in ja/nein kategorisiert werden kann. Es ist anzunehmen, dass *nicht die eine* Datenbank für Umweltradioaktivität (z. B. IMIS) die Antwort auf „alle“ Anforderungen zum Datenmanagement und Datennutzung im Bereich der Umweltradioaktivität sein kann. Allerdings soll – und kann – das zukünftige Datenportal des BfS verschiedene Datenquellen zusammenfassen.

Interessanterweise schwenkte die Diskussion nach kurzer Zeit zum Thema der öffentlichen Wahrnehmung des IMIS und der Aktivitäten bei Bund und Ländern im Bereich der Überwachung der Umweltradioaktivität ab. Es wurde aufgeworfen, dass das IMIS für die Öffentlichkeit nicht sichtbar genug ist. Interessierte würden zwar im Internet entsprechende Informationen dazu finden, aber dies setzt eine aktive Suche nach „IMIS“ (und somit Wissen über IMIS) voraus. Das

Thema Öffentlichkeitsarbeit wird oft verkannt, hat jedoch in der heutigen Zeit mit polarisierender Berichterstattung und schnell verfassten Kurznachrichten auf Social-Media-Kanälen an Relevanz gewonnen: Gerade Fachbehörden stehen vor dem Dilemma „Wahrnehmung von Fakten“ vs. „Misstrauen/Ignoranz“ in der Bevölkerung. In der Diskussion wurde auch erörtert, inwiefern es die Aufgabe von Fachbehörden sein muss (oder kann), hier Aufklärungsarbeit zu leisten. Letztendlich waren sich die Teilnehmer*innen mehrheitlich einig, dass es eine permanente Aufgabe der Fachbehörden von Bund und Ländern ist Öffentlichkeitsarbeit zu betreiben, wissenschaftlich basierte Fakten zu vermitteln und damit auch das IMIS in der öffentlichen Wahrnehmung präsenter werden zu lassen.

W045: IMIS als nationale Datenbank für Umweltradioaktivität?

A. Graupner, C. Bischoff, J. Buermeyer, W. Preuß
Bundesamt für Strahlenschutz, Berlin, Deutschland

1 Warum gibt es das IMIS und was kann es?

Das Reaktorunglück in Tschornobyl 1986 und dessen Auswirkungen auf die Radioaktivität in der Umwelt machten deutlich, dass koordinierte Messungen und der notwendige Informationsaustausch nicht ausreichend etabliert waren. Noch im selben Jahr wurde deshalb das Strahlenschutzvorsorgegesetz verabschiedet, dessen Aufgabenstellungen im Jahr 2017 in das Strahlenschutzgesetz (§§ 161-163 StrlSchG) übernommen wurden. Dieses Gesetz bildet zusammen mit der IMIS-Zuständigkeitsverordnung (IMIS-ZustV) und der Allgemeinen Verwaltungsvorschrift (AVV IMIS) die gesetzliche Grundlage für das IMIS, dem „Integrierten Mess- und Informationssystem für die Überwachung der Radioaktivität in der Umwelt“. Das übergeordnete Ziel im IMIS ist es, Kontaminationen durch künstliche Radionuklide in der Umwelt schnell zu erkennen. Dies wird durch routinemäßige, sich jährlich wiederholende Messprogramme sichergestellt, die in einem radiologischen Notfall intensiviert werden.

Das IMIS umfasst vielfältige Aspekte wie Aufgaben zu Messungen und Probennahmen, Qualitätssicherung, Datenfluss und -prüfung sowie den Betrieb der zentralen IMIS-IT-Komponenten beim BfS. Unter IMIS-Daten werden die auf der Grundlage der AVV IMIS erhobenen Daten verstanden, die ein Produkt des IMIS darstellen und für gesetzlich geforderte Berichterstattungen bzw. die Bewertung möglicher radiologischer Notfalllagen genutzt werden. Die zentralen IMIS-IT-Komponenten dienen der Verwaltung der Daten: Im IMIS-LADA (Labordaten) werden die Messdaten erfasst, ausgewertet und plausibilisiert. Im IMIS-GIS (Geoinformationssystem) werden die Daten visualisiert und im IMIS-DokPool (Dokumentenpool) die daraus resultierenden Berichte zur Verfügung gestellt. Somit ist IMIS das wichtigste Instrument des Radiologischen Lagezentrum des Bundes (RLZ Bund) für die Bereitstellung von Daten und Informationen im radiologischen Notfall.

Die Aufgaben zur Überwachung der Umwelt sind zwischen Bund und Länder aufgeteilt. Dabei ist der Bund für die überregionalen Umweltbereiche zuständig (§ 161 StrlSchG). Mit insgesamt ca. 1.800 automatischen Messstationen überwacht der Bund die Gamma-Ortsdosisleistung, Luft, Niederschlag, Aerosole, Bundeswasserstraßen und die Nord- und Ostsee. Die Messungen erfolgen im 10-Minuten- bis 1-Tages-Takt und liefern insgesamt mehrere 100.000 Messwerte pro Tag. Die Länder überwachen in 40 Landesmessstellen (Labore) mit festgelegten Messprogrammen die Umweltbereiche, die regional von Relevanz sind: Lebensmittel, Futtermittel, Trinkwasser, Grundwasser, Oberflächenwasser, Abwasser, Klärschlamm, Abfälle, Böden und Pflanzen (§ 162 StrlSchG). Dabei fallen im Routinebetrieb ca. 12.000 Laborproben pro Jahr mit jeweils mehreren, mindestens zweifach geprüften Messwerten für verschiedene relevante Radionuklide an.

Die Stärken des IMIS sind vielseitig. Sie liegen einerseits in der Überwachung einer Vielzahl von Umweltbereichen (zurzeit sind in der Datenbank plausibilisierte Messdaten an Proben aus 139 Umweltbereichen vorhanden), aber auch in der eingeübten und qualitätsgesicherten Probenahme, Messung und Auswertung. Die hohe, auch formal gesicherte Datenqualität wird u. a. durch ein dreistufiges Plausibilisierungsverfahren gewährleistet. Die elektronische Datenhaltung im IMIS erfolgt nunmehr seit fast 30 Jahren, sodass Messdaten als Zeitreihen seit 1993/1994 darstellbar sind und für Auswertungen herangezogen werden können. Ein weiterer Vorteil des

IMIS ist die hohe und schnelle Datenverfügbarkeit. Seit 2019 stehen die zentralen IMIS-IT-Komponenten als Webanwendungen zur Verfügung, wodurch technische Barrieren (wie z. B. durch spezielle Hardware oder separate Netzwerke) weggefallen sind.

IMIS ist somit das etablierte System für die Erfassung, Auswertung und Visualisierung von Messdaten zu künstlichen Radionukliden gemäß der AVV IMIS einschließlich der Überwachung im radiologischen Notfall. Aber welche Nutzung von IMIS wäre noch denkbar, wenn von einer nationalen Datenbank für Umweltradioaktivität die Rede ist?

2 Welche weiteren Daten kämen für die Erfassung im IMIS in Betracht?

Neben den Messdaten von bestimmten künstlichen Radionukliden, die schon jetzt im IMIS erfasst werden, gibt es weitere Daten zur Umweltradioaktivität, die prinzipiell in das IMIS aufgenommen werden könnten.

Einen großen Bereich stellen natürliche Radionuklide dar. Hier gibt es die NORM (naturally occurring radioactive materials) aus industriellen Rückständen (wie z. B. dem Rückbau von Erdgas-Pipelines) sowie Baumaterialien wie Ziegel und Beton, die relevante Aktivitäten an natürlichen Radionukliden enthalten können, und bergbauliche Hinterlassenschaften (z. B. des Uranbergbaus der Wismut). Ebenso käme Radon als natürliches Radionuklid in Betracht – aus Sicht des Strahlenschutzes für die Bevölkerung das wohl wichtigste natürliche Radionuklid. Radon wird in einer eigenen Datenbank (BuRG) erfasst und über das für das IMIS entwickelte Geoportal des BfS für die Öffentlichkeit bereitgestellt (<https://www.imis.bfs.de/geoportal/>).

Weitere Daten, die in IMIS erfasst werden könnten, wären Aktivitätsdaten von Radionukliden aus der amtlichen Lebens- und Futtermittelüberwachung. Dies erfolgt teilweise bereits in Form von Landesmessprogrammen im IMIS-LADA (zum Beispiel für das sogenannte Wildschwein-Monitoring). Aufgrund der Entwicklung in der Pharmaindustrie werden auch zunehmend medizinische Radionuklide, z. B. in Abwässern, detektiert. Diese Nuklide werden aktuell noch nicht im IMIS erfasst, wurden aber im Entwurf der neuen AVV IMIS berücksichtigt. Schließlich sind Citizen Science Data zu erwähnen: Damit sind in erster Linie ODL-Handmessungen gemeint, die vor allem im radiologischen Notfall von der interessierten Bevölkerung durchgeführt werden würden. Für solche Datenquellen müssten natürlich Anforderungen an die Qualität der Daten geklärt werden, während die potenziell große Akzeptanz der Daten in der Bevölkerung von Vorteil wäre.

3 Herausforderungen und Randbedingungen einer nationalen Umweltradioaktivitätsdatenbank

Die Nutzung des IMIS als umfassende nationale Datenbank für Umweltradioaktivität wäre grundsätzlich technisch möglich und hätte den Vorteil an einer zentralen, niederschwellig erreichbaren Stelle (Webanwendung) alle verfügbaren Daten zur Verfügung zu haben, um umfassende Auswertungen und kartografische Visualisierungen vornehmen zu können. Allerdings gibt es auch einige Fragen, die zu klären sind:

- Für welche Daten besteht wirklich ein solcher Bedarf bzw. wofür werden sie wo benötigt? Sind nur künstliche Radionuklide (status quo) oder ebenso natürliche Radionuklide von breitem Interesse?
- Wer darf Daten liefern? Sollen Citizen Science Data (die zumindest hinsichtlich der formalen Qualitätssicherung nicht per se als vergleichbar zu betrachten sind) einbezogen werden oder sollen Bundes- und Landesbehörden auch zukünftig die exklusiven Datenlieferanten sein?

- Wenn der Kreis der Datenlieferanten erweitert wird, stehen weitere Fragen im Raum hinsichtlich der Datenqualität und -formate:
 - Wie soll die jetzige sehr hohe Datenqualität (auch formal, z. B. mehrstufiges Plausibilisierungsverfahren) sichergestellt werden?
 - Sollen neben dem Internationalen Datenaustauschformat (IDF) und dem Labordatenaustauschformat (LAF) weitere Datenformate akzeptiert werden? Wenn ja, welche?
 - Wer übernimmt eventuell anfallende Aufwandsentschädigungen?

Neben diesen Fragen, deren Beantwortung nicht durch das BfS allein erfolgen kann, gibt es auch Randbedingungen für das IMIS von Seiten der Zentralstelle des Bundes (ZdB) beim BfS. Die jetzigen Aufgaben zur Überwachung der Umweltradioaktivität und Zuordnung der Aufgaben an die verschiedenen Bundesbehörden und Länder sind in der AVV IMIS und IMIS-Zuständigkeits-Verordnung festgelegt. Basierend auf diesen Aufgaben wurden die zentralen IMIS-IT-Komponenten (IMIS-LADA, IMIS-GIS, IMIS-DokPool) entwickelt. Eine Nutzung darüber hinaus (z. B. Erfassung der natürlichen Radionuklide, weitere Datenlieferanten, ...) ist möglich, bedarf aber konkreter organisatorischer (Zuständigkeiten) und technischer Abstimmungen, sowie der Zustimmung des BMUV und des BfS. Die in Betracht gezogene erweiterte Nutzung der IMIS-IT-Komponenten (z. B. Datenbank) würde formal außerhalb des IMIS stattfinden und darf die eigentlichen IMIS-Aufgaben gemäß AVV IMIS nicht beeinträchtigen.

Im BfS wird derzeit eine Datenstrategie verfolgt, die ein umfassendes Datenportal beinhaltet, in der auch die IMIS-Datenbanken integriert werden sollen. Daher sollten IMIS-externe Datenerfassungen und -verwaltungen vorrangig im Rahmen des Datenportals verfolgt werden und nicht im engeren IMIS-Fokus. Dazu gehören auch Datenquellen und Datenerhebungen, die durch entsprechende Aufgabenzuweisung im BfS liegen und schon jetzt aufgrund unterschiedlicher Anforderungen an das Datenmodell in eigenen Datenbanken verwaltet werden (z. B. die Datenbank BuRG für Radon).

4 Fazit

Die Antwort auf die eingangs gestellte Frage, ob IMIS als nationale Datenbank für Umweltradioaktivität dienen kann, lautet: Ja, IMIS ist bereits jetzt eine nationale Datenbank für die Überwachung der Umweltradioaktivität in Bezug auf künstliche Radionuklide. Dies wurde auch in den Antworten einer online-Umfrage im Plenum deutlich: 86 % wünschen sich IMIS als nationale Datenbank für Umweltradioaktivität (siehe auch Abstract zu Workshop A3: Datenmanagement und Datennutzung). Für eine eventuelle Erweiterung der Datenbank oder Nutzung des Datenbankkonzepts für natürliche Radionuklide bilden die vorhandenen IMIS-IT-Komponenten eine leistungsfähige und sehr gut funktionierende technische Grundlage. Durch die konsequente Verfolgung der open source Strategie innerhalb der IMIS-Entwicklung ist die IT-Infrastruktur offen für Erweiterungen und andere Nutzungen.

Die fachlich strukturierten und visuell aufbereiteten Daten sind über das Geoportal (<https://www.imis.bfs.de/geoportal/>) öffentlich zugänglich und liefern somit einen wichtigen Beitrag zur transparenten und kontinuierlichen Wissenschaftskommunikation. Außerdem werden durch den Zugang zu den Daten die gesetzlichen Verpflichtungen gegenüber den Bürger*innen laut Informationsfreiheitsgesetz und Umweltinformationsgesetz erfüllt.

Prinzipiell wäre eine Adresse/URL für alle Radioaktivitätsmessungen in der Umwelt (künstlichen und natürlichen Ursprungs) wünschenswert, zum Beispiel um umfassende Auswertungen effektiv zu ermöglichen. Allerdings gibt es organisatorische Herausforderungen (z. B.: Was wird wann von wem geliefert und von wem auf Vollständigkeit geprüft?) und technischen Abstimmungsbe-

darf (Welche Datenformate sind möglich und zugelassen?), die zunächst zu klären sind (siehe Abschnitt 3). Im ersten Schritt sollten vorhandene Bedarfe ermittelt und an das BfS übermittelt werden, sodass die Klärung von Detailfragen zielgerichtet erfolgen kann.

W049: Eine Self-Service-Anwendung zur interaktiven Datenrepräsentation mit Karten und Charts

A self-service application for interactive data presentation with maps and charts

S. Burbeck

Bundesamt für Strahlenschutz (RN1 | Koordination Notfallschutzsysteme), Freiburg

Zusammenfassung

Beim Bundesamt für Strahlenschutz (BfS) wird im Rahmen des Projektes „Datenplattform“ eine Self-Service-Anwendung zur Datenrepräsentation mit Karten und Charts entwickelt. Diese – oft als „widget factory“ bezeichnete – Applikation ermöglicht die intuitive Erstellung komplexer Diagramme und Kartodiagramme sowie deren Einbettung in entsprechende Websites.

Die zentrale Komponente der Anwendung basiert auf der Business Intelligence Software Apache Superset [1]. Weitere Komponenten sind das Content-Management-System Plone als „headless CMS“ [2] im Zusammenspiel mit dem Frontend VOLTO [3] zur intuitiven Content-Zusammenstellung und Webseitengestaltung.

Das System berücksichtigt die etablierten Workflows zur Content-Veröffentlichung ebenso wie ein detailliertes Rechtemanagement für Daten und Visualisierungen.

Die erstellten Visualisierungen (Charts, Karten, Dashboards) können prinzipiell auch in beliebige andere Webseiten integriert werden.

Summary

The Federal Office for Radiation Protection (BfS) is developing a self-service application for data representation with maps and charts as part of the “Data Platform” project. This application - often referred to as a “widget factory” - enables the intuitive creation of complex diagrams and cartodiagrams and their embedding in corresponding websites.

The central component of the application is based on the business intelligence software Apache Superset [1]. Further components are the content management system Plone as a “headless CMS” [2] in combination with the front-end VOLTO [3] for intuitive content compilation and website design.

The system takes into account the established workflows for content publication as well as detailed rights management for data and visualisations.

In principle, the visualisations created (charts, maps, dashboards) can also be integrated into any other website.

1 Hintergrund

Durch das Bundesamt für Strahlenschutz (BfS) sind im Rahmen seiner Aufgaben im Radiologischen Lagezentrum des Bundes (RLZ) in einem Ereignisfall schnellstmöglich unterschiedliche Datenbestände zu überwachen, zu sichten und zu bewerten.

Die aus den Daten gewonnenen Informationen müssen anschließend unmissverständlich und zielgruppengerichtet aufbereitet werden, um sie sachgerecht und ohne Informationsverlust zu kommunizieren. Diese Kommunikation geschieht in zunehmendem Maße über geeignete Datenvisualisierungen.

Aus den gewonnenen Informationen werden dabei für eine große Bandbreite unterschiedlicher Aufgaben spezifische Visualisierungen benötigt. Dies reicht von der Einbindung in interne Entscheidungsprozesse im radiologischen Notfallschutz über die Aufbereitung in Lageberichte für Entscheidungsträger bis hin zu Pressemitteilungen oder sonstigen Kanälen im Rahmen der Information der Öffentlichkeit.

2 Umsetzung

Vor dem genannten Hintergrund entstand der Bedarf an einer Software zur zielgruppenorientierten Erstellung, Verwaltung und Einbindung von Businessgrafiken im Sinne einer „Self-Service-Anwendung“.

Bei der konzeptionellen Idee einer Datenexplorations- und Visualisierungsplattform handelt es sich um ein universell einsetzbares Konstrukt. Für die Umsetzung fiel die Wahl auf die Open-Source-Software (& -Plattform) Apache Superset sowie die Entscheidung, zusätzlich benötigte Funktionalität im Rahmen eines entsprechenden Plugins entwickeln zu lassen.

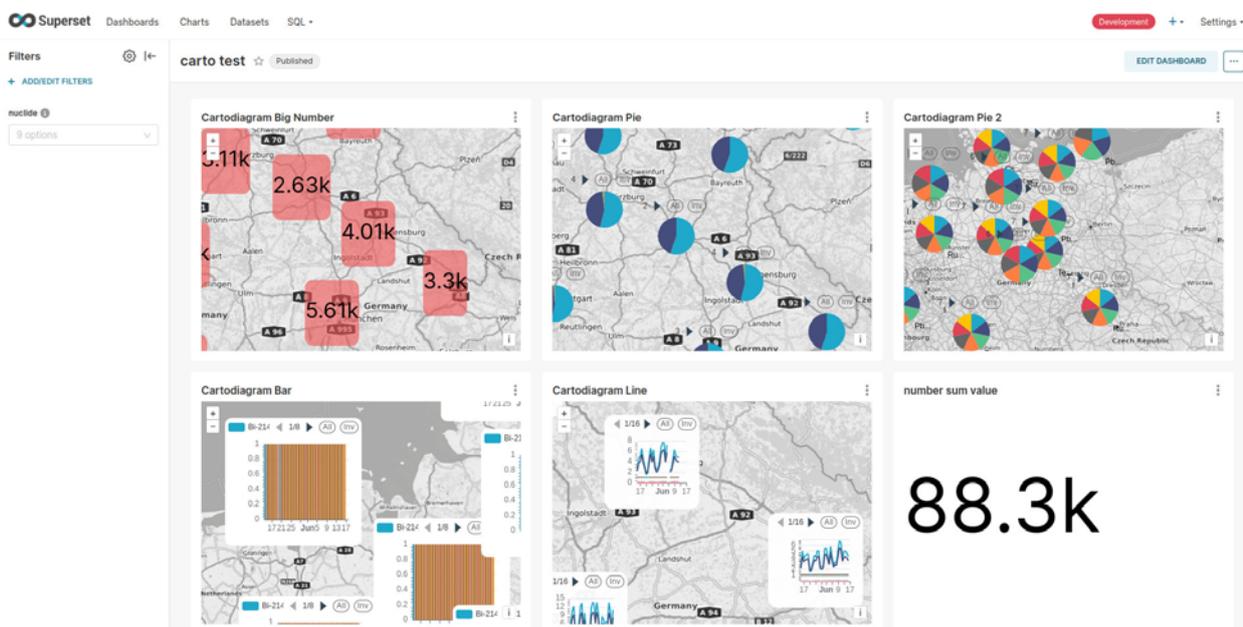


Abb. 1: Dashboard mit verschiedenen Kartodiagrammen. Die Größe der Kartodiagramme ist frei konfigurierbar und kann, wenn gewünscht, dynamisch mit der Zoomstufe der Karte korrelieren. Quelle: <https://github.com/apache/superset/pull/25869> (Bildlizenz: <https://www.apache.org/licenses/LICENSE-2.0>)

Entwickelt wurde u. a. ein Plugin, welches Anwender*innen ermöglicht, eigene Daten als frei wählbare Diagramme (bspw. Tortendiagramme, Zeitreihen, Histogramme) auf einer Karte zu visualisieren.

Wurde die Entwicklung des Kartodiagramm-Plugins zunächst noch als „externes Plugin“ betrieben, so wird es aktuell ertüchtigt, um zukünftig eine Kernkomponente von Apache Superset zu sein (siehe: <https://github.com/apache/superset/pull/25869>)

Die Konfiguration der Visualisierungen erfolgt über eine grafische Benutzeroberfläche, erfordert somit keine Programmiererfahrung und ermöglicht Fachanwender*innen ohne technische Vorerfahrung eine einfache und intuitive Bedienung.

Das gesamte System kann auf Basis einer modernen Container-Architektur gestartet werden, es ist aufgrund seiner Generik auch für andere datengetriebene Anwendungsfälle einsetzbar.

Im Sinne der OpenSource-Strategie des BfS wurde stets das Ziel verfolgt, die in das Projekt geflossenen Entwicklungen unter freier Lizenz zu veröffentlichen.

Die Architektur des Gesamtsystems ermöglicht es die Zugriffsrechte sowohl auf einzelne Visualisierungen, als auch auf komplette Dashboards detailliert auf Nutzer- und Rollenebene zu steuern, die Visualisierungen über Metadaten zu beschreiben und somit im Laufe der Zeit eine Art "Visualisierungsbibliothek" aufzubauen. Die erstellten Visualisierungen können dann in mehreren Anwendungen verwendet werden.

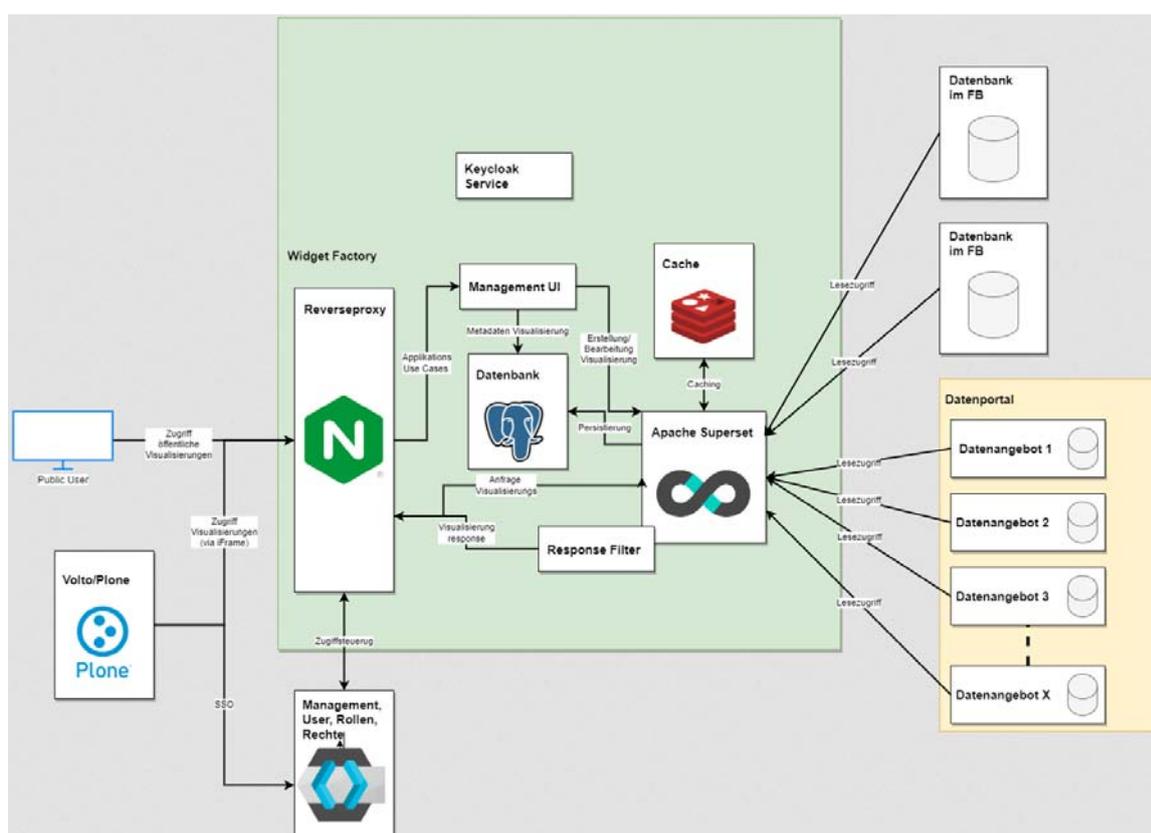


Abb. 2: Architekturskizze der „Widget Factory“ zur interaktiven Datenrepräsentation mit Karten und Charts. Quelle: eigene Darstellung

Die Daten, welche den Visualisierungen zugrunde liegen, können über diverse Quellen integriert werden. Unterstützt werden selbstverständlich alle gängigen relationalen Datenbanken wie PostgreSQL, MySQL oder Oracle aber auch Elasticsearch oder Apache Spark SQL. Auch der Upload von Excel bzw. CSV-Dateien ist möglich.

Jede Kartendarstellung kann individuell um beliebig viele externe Layer erweitert werden. Unterstützt werden rasterbasierte Dienste wie WMS (Web Map Service) oder kachelbasierte Rasterdaten (XYZ Tile Service). Vektordaten können per WFS (Web Feature Service) eingebunden werden und anschließend innerhalb des Plugins mithilfe des integrierten GeoStylers [4] gestaltet werden.

3 Ausblick

Die Entwicklung erfolgt iterativ und soll im weiteren Verlauf im Rahmen einzelner Projekte eingesetzt und praxisnah getestet werden.

Aktuell wird an einem weiteren Plugin gearbeitet, welches es ermöglicht auch die zugrunde liegenden Daten selbst direkt über die Oberfläche zu stylen und dabei die Möglichkeiten einer attributiv gesteuerten Gestaltung nutzen zu können. Das bedeutet, dass beispielsweise Farbe, Größe etc. für jedes dargestellte Objekt automatisch durch die Auswertung einzelner Datenattribute bestimmt werden.

4 Links

[1] <https://superset.apache.org>

[2] <https://plone.de/>

[3] <https://github.com/plone/volto>

[4] <https://geostyler.org/>

W016: Tritium – mehr als nur ein radioaktiver Stoff

R. Völpel, A. Linkhorst, J. Arndt, A. Schmidt und L. Duester

Bundesanstalt für Gewässerkunde, Referat G4 – Radiologie und Gewässermonitoring

Kurzfassung

Für die Erstellung von Ausbreitungsprognosen radioaktiver Stoffe in Bundeswasserstraßen setzt das Referat G4 der Bundesanstalt für Gewässerkunde das eindimensionale Modell QSim ein. Nach einer unfallbedingten Freisetzung kann damit die zeitliche und räumliche Veränderung der Radionuklidaktivität simuliert werden – eine Grundlage für Maßnahmen zum Schutz der Bevölkerung.

Der wesentliche Parameter im Rahmen dieser Modellierung ist der longitudinale Dispersionskoeffizient. Die zahlreichen, existierenden empirischen Formeln zur Bestimmung des Parameters bilden das Verhalten und den Transport radioaktiver sowie gelöster Stoffe nur unzureichend ab. Um die flussspezifischen Dispersionsprozesse im Modell präzise widerzuspiegeln, bedarf es daher der Durchführung von Dispersionsversuchen, bei denen die fließende Welle mit einem Tracer markiert wird. Die Eigenschaften des Tracers, wie konservativer Transport und keine Sorptionseffekte, sind dabei maßgeblich. Tritium wird diesen Anforderungen gerecht, steht durch die routinemäßigen Einleitungen von Kernkraftwerken „gratis“ zur Verfügung und gilt somit für den Einsatz bei Dispersionsversuchen als idealer Tracer.

Ein solcher umfangreicher Versuch wurde im Frühjahr 2021 entlang des deutschen Teils der Mosel durchgeführt. Unter Verwendung der Tritium-Einleitungen des Kernkraftwerkes Cattenom wurden an acht Standorten mehr als 3.500 Wasserproben über einen Zeitraum von 35 Tagen entnommen und auf ihre Tritium-Aktivitätskonzentration hin analysiert. Mittels der gewonnenen Daten wurde das Ausbreitungsmodell kalibriert. Die Ergebnisse werden im Rahmen dieses Beitrages präsentiert und zeigen, wie entscheidend die Durchführung von Dispersionsversuchen für die Erstellung von Ausbreitungsprognosen ist.

Workshops Block B

Workshop B1: Umweltradioaktivität, Medizinische Radionuklide

T. Heinrich¹, J. Peter²

¹Staatliche Betriebsgesellschaft für Umwelt und Landwirtschaft, Radebeul

²Bundesamt für Strahlenschutz, Neuherberg

Themen

Im Workshop B1 am 27.09.2023 ging es um Umweltradioaktivität und medizinische Radionuklide. Dazu gab es zwei Kurzvorträge:

J. Wiederhold sprach über „Möglichkeiten und Herausforderungen der gamma-spektrometrischen Bestimmung medizinischer Radionuklide in Oberflächengewässern“ (Nr. 8). Untersucht wurden I-131, Lu-177 und Ra-223, wobei I-131 leicht zu bestimmen war, Lu-177 schwer und Ra-223 sehr schwer. Da Patienten in der Regel nach 48 Stunden entlassen werden, können diese Radionuklide ins Abwasser ausgeschieden und bei IMIS-Routinemessungen nachgewiesen werden. Da oft Monatssammelproben vorliegen und der Eintragszeitpunkt unbekannt ist, ist eine Quantifizierung wegen der Halbwertszeiten unsicher. Die Dosisrelevanz für die Bevölkerung ist aktuell gering.

Der Vortrag von C. Miezwia behandelte „Medizinische Radionuklide in Berliner Reststoffen“. Medizinische Radionuklide werden regelmäßig in Reststoffen wie Klärschlamm nachgewiesen. Die Auswertung und Berichterstattung dieser Nuklide ist im Rahmen der AVV IMIS nicht verpflichtend, wird aber dennoch häufig durchgeführt. Es sind umfangreiche Zeitreihen seit Anfang der Zweitausender vorhanden, diese zeigen Wechsel in den bevorzugt angewandten Nukliden. Lu-177 z. B. wird erst seit etwa 2012 nachgewiesen, wogegen der Nachweis von Tl-201 ab diesem Zeitpunkt zurückging.

Diskussion und Fazit

Fragen in der Diskussion richteten sich auf die Herkunft der Radionuklide, ihre messtechnische Bestimmung und zu Sonderereignissen, wie z. B. Inkontinenzwindeln in Eingangsportalen von Müllverbrennungsanlagen. Die gegenüber früher verkürzte Aufenthaltszeit von Patienten bei stationären nuklearmedizinischen Behandlungen spielt eine Rolle. Ein zentraler Diskussionspunkt war, ob weitere gesetzliche Regelungen notwendig sind.

W008: Möglichkeiten und Herausforderungen der gammaspektrometrischen Bestimmung medizinischer Radionuklide in Oberflächengewässern

Possibilities and challenges in the gamma spectrometric determination of medical radionuclides in surface waters

*J. G. Wiederhold, C. Sachsinger, A. Schmidt, L. Düster
Bundesanstalt für Gewässerkunde (BfG), Koblenz, Deutschland*

Zusammenfassung

In der Nuklearmedizin werden eine Vielzahl künstlicher Radionuklide zu diagnostischen oder therapeutischen Zwecken eingesetzt. Dabei handelt es sich meist um relativ kurzlebige Nuklide mit Halbwertszeiten (HWZ) im Bereich von Stunden bis zu wenigen Tagen. Während das Abwasser nuklearmedizinischer Einrichtungen gesammelt und erst nach ausreichender Abklingzeit kontrolliert abgeleitet wird, können einige medizinische Radionuklide von behandelten Patienten nach ihrer Entlassung auch noch zuhause ausgeschieden werden und über Kläranlagen in Oberflächengewässer gelangen. In der Überwachung der Umweltradioaktivität im Rahmen des IMIS werden durch die BfG und Landesmessstellen einige medizinische Radionuklide regelmäßig in Oberflächenwasser und Schwebstoffen deutscher Fließgewässer per Gammaspektrometrie nachgewiesen. Neben I-131 (HWZ: 8 Tage), welches schon seit etlichen Jahren häufig in verschiedenen Flüssen gemessen wird, wurden in letzter Zeit auch vereinzelt Lu-177 (HWZ: 6,6 Tage) und Ra-223 (HWZ: 11,4 Tage) detektiert. Dabei stellen sich jedoch einige analytische Herausforderungen heraus, die in diesem Beitrag anhand von aktuellen Beispielen erläutert werden. Im IMIS-Routinemessprogramm werden meist Monats- oder Quartalsmischproben von Oberflächenwasser und Schwebstoffen untersucht, in denen zum Zeitpunkt der Messung die nuklearmedizinischen Radionuklide bereits größtenteils oder im Falle des ebenfalls häufig in der Nuklearmedizin eingesetzten Tc-99m (HWZ: 6 Stunden) vollständig zerfallen sind. Zudem kann z. B. bei ungeeigneter Probenvorbereitung I-131 durch gasförmige Verluste verloren gehen, und die Emissionslinien von Lu-177 und Ra-223 sind teilweise von Emissionslinien natürlicher Radionuklide überlagert. Für Ra-223 muss zudem der natürliche Beitrag aus der U-235-Zerfallsreihe von einem möglichen nuklearmedizinischen Eintrag unterschieden werden. Hier können Wiederholungsmessungen nach mehreren HWZ eine Bestimmung des nachwachsenden natürlichen Hintergrunds ermöglichen und den Einfluss interferierender Emissionslinien aufzeigen.

Summary

In nuclear medicine, a large number of artificial radionuclides are used for diagnostic or therapeutic purposes. These are usually relatively short-lived nuclides with half-lives ($t_{1/2}$) ranging from hours to a few days. While sewage water from nuclear medicine facilities is collected and only discharged in a controlled manner after a sufficient decay time, some medical radionuclides can be excreted by treated patients after their discharge at home and enter surface waters via wastewater treatment plants. While monitoring the environmental radioactivity as part of the IMIS (Integrated Measuring and Information System for monitoring environmental radioactivity), some medical radionuclides are regularly detected in surface water and suspended particulate matter in German rivers by gamma spectrometry by the Federal Institute of Hydrology (BfG)

and the laboratories of the federal states. In addition to I-131 ($t_{1/2}$: 8 days), which has been frequently measured in various rivers since a number of years, Lu-177 ($t_{1/2}$: 6.6 days) and Ra-223 ($t_{1/2}$: 11.4 days) have also been detected in a few cases recently. However, this poses a number of analytical challenges, which are explained in this presentation using current examples. In the IMIS routine measurement programme, monthly or quarterly mixed samples of surface water and suspended particulate matter are usually examined in which the nuclear medicine radionuclides have already decayed for the most part or, in the case of Tc-99m ($t_{1/2}$: 6 hours), which is also frequently used in nuclear medicine, completely decayed at the time of measurement. In addition, I-131 can be lost due to volatilization during sample preparation, for example, and the emission lines of Lu-177 and Ra-223 are partially overlaid by emission lines of natural radionuclides. For Ra-223, the natural contribution from the U-235 decay series must also be distinguished from a possible nuclear medical input. Here, repeat measurements after several half-lives can enable the determination of the continuous replenishment of the natural background and elucidate the influence of interfering emission lines.

1 Einleitung

Der Einsatz von Radionukliden in der Medizin stellt einen seit vielen Jahren einen wachsenden und inzwischen unverzichtbar gewordenen Bestandteil der Diagnostik und Therapie für eine Vielzahl medizinischer Anwendungen dar [1]. Hierbei werden einerseits sehr kurzlebige Nuklide mit Halbwertszeiten im Bereich von Minuten bis Stunden (z. B. Tc-99m, F-18, O-15) für bildgebende Verfahren in der Diagnostik (z. B. Szintigraphie, PET-Scan) verwendet. Zum anderen werden Radionuklide mit Halbwertszeiten im Bereich von einigen Tagen (z. B. I-131, Lu-177, Ra-223) zu therapeutischen Zwecken eingesetzt (z. B. Schilddrüsenerkrankungen, Tumorthherapie) [2, 3]. So werden beispielsweise in der EU derzeit etwa 120.000 Radioiodtherapien mit einer eingesetzten Gesamtnuklidmenge von ca. 240.000 GBq I-131 pro Jahr durchgeführt [4]. Der therapeutische Einsatz von Radionukliden erfolgt in spezialisierten Kliniken innerhalb von Abteilungen mit getrennter Abwassersammlung. Das Ableiten des Abwassers in die Kanalisation erfolgt erst nach ausreichendem Zerfall der medizinischen Radionuklide in Abklingtanks [5]. Die behandelten Patienten werden jedoch häufig nach 48 Stunden aus der Klinik entlassen. Im Körper der Patienten verbliebene Restaktivitäten werden anschließend zum Teil zuhause ausgeschieden und können über die Kanalisation und Kläranlagen auch in Oberflächengewässer gelangen [6-9]. Diese Einträge erfolgen meist räumlich und zeitlich heterogen verteilt, und im Gewässer erfolgt eine Partitionierung der Radionuklide zwischen Wasser, Schwebstoff und Sediment [10]. Im Rahmen des Routinemessprogramms des integrierten Mess- und Informationssystems des Bundes zur Überwachung der Radioaktivität in der Umwelt (IMIS) wurden in den letzten Jahren immer wieder medizinische Radionuklide in Proben von Oberflächenwasser und Schwebstoff aus Fließgewässern nachgewiesen. In vielen Fällen ist jedoch ein sicherer Nachweis nicht möglich, da der Großteil der kurzlebigen Nuklide mit Halbwertszeiten von wenigen Tagen in den Proben zum Zeitpunkt der Messung bereits zerfallen ist (Abb. 1). Im Rahmen des IMIS werden meist Sammelproben über einen Monat oder ein Quartal untersucht. Somit werden in der Regel überwiegend die Einträge von medizinischen Radionukliden nachgewiesen, die am Ende des Probennahmezeitraums erfolgt sind.

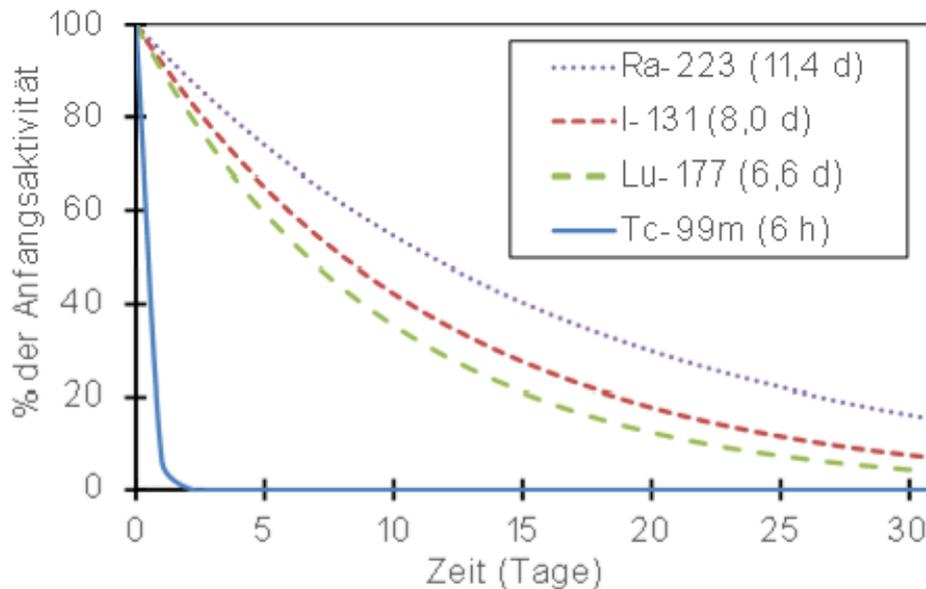


Abb. 1: Darstellung des radioaktiven Zerfalls der in der Nuklearmedizin eingesetzten Radionuklide Tc-99m, Lu177, I131 und Ra-223 über einen Zeitraum von einem Monat.

Zur Berechnung der gemessenen Aktivitätskonzentrationen wird die Bezugszeit auf die Mitte des Sammelzeitraums gesetzt, da der tatsächliche Zeitpunkt des Eintrags der medizinischen Radionuklide in das Oberflächengewässer in der Regel nicht bekannt ist. Es ist jedoch zu beachten, dass dieses Vorgehen zu deutlichen Unter- oder Überschätzungen der eingetragenen Nuklidmengen führen kann, wenn der Eintrag hauptsächlich am Anfang oder am Ende des Sammelzeitraums stattfand. Neben dem Zerfall der kurzlebigen Radionuklide während des Sammelzeitraums ist auch der zeitliche Abstand zwischen Probennahme und Messung ein wichtiger Faktor. Durch den Probentransport und die Aufbereitung der Proben im Labor vor der Messung kommt es in der Regel zu einer weiteren zeitlichen Verzögerung von einigen Tagen bis Wochen, wodurch der Nachweis medizinischer Radionuklide in Oberflächenwasserproben durch die abnehmenden Aktivitäten zusätzlich erschwert wird. Wenn jedoch eine möglichst zeitnahe gamma-spektrometrische Messung durchgeführt werden kann, ist auch der Nachweis verschiedener medizinischer Radionuklide in Umweltproben ohne Mehraufwand gut möglich. Eine Voraussetzung dafür ist aber natürlich, dass die für die Auswertung der Probenspektren verwendete Nuklidbibliothek die relevanten Daten zu den Emissionslinien und Emissionswahrscheinlichkeiten der jeweiligen Radionuklide enthält.

2 Beispiele für die Bestimmung medizinischer Radionuklide in Schwebstoffproben aus deutschen Fließgewässern

Im Folgenden werden für die drei Radionuklide Iod-131 (I-131), Lutetium-177 (Lu-177) und Radium-223 (Ra-223), die zu den häufigsten in der Nuklearmedizin für therapeutische Zwecke eingesetzten Nukliden zählen [4], Beispiele für den Nachweis in Schwebstoffproben aus deutschen Fließgewässern präsentiert sowie die jeweiligen Besonderheiten und Herausforderungen für ihre gamma-spektrometrische Bestimmung erläutert.

2.1 Iod-131

Mit einer Halbwertszeit von 8,0 Tagen zählt I-131 zu den am häufigsten in Umweltproben nachgewiesenen medizinischen Radionukliden. Es ist jedoch zu beachten, dass das Nuklid I-131 ebenfalls zu den wichtigsten dosisrelevanten Radionukliden zählt, die als kurzlebige Spaltprodukte im Zusammenhang mit unfallbedingten Freisetzungen von Radioaktivität aus kerntechnischen Anlagen in die Umwelt gelangen können (z. B. Tschornobyl oder Fukushima [11]). Daher zählt I-131 auch bereits zu den im Rahmen von IMIS routinemäßig überwachten Radionukliden. In Schwebstoffproben aus deutschen Fließgewässern wird I-131 seit vielen Jahren regelmäßig nachgewiesen und in der Berichterstattung berücksichtigt [11]. So wurde beispielsweise im Jahr 2022 I-131 häufig in Schwebstoff-Monatssammelproben des BfG-Messnetzes aus dem Rhein (Weil: in 12 von 12 Proben; Breisach: 7 von 12; Koblenz: 9 von 12; Wesel: 2 von 6) und der Mosel (Perl: 8 von 12; Palzem: 5 von 12, Trier: 10 von 12; Fankel: 4 von 9 und Koblenz: 4 von 11) nachgewiesen. Weitere Nachweise von I-131 in Schwebstoff-Monatssammelproben aus dem BfG-Messnetz an Bundeswasserstraßen erfolgten 2022 in der Saar (Schoden: 9 von 12), der Elbe (Dresden: 5 von 9), der Spree (Berlin: 4 von 6) sowie vereinzelt in der Donau (Vilshofen: 3 von 11) und der Weser (Langwedel: 1 von 11). Der Nachweis von I-131 ist jedoch, wie bereits weiter oben erläutert, stark von Sammelzeitraum und Messzeitpunkt abhängig. Es ist davon auszugehen, dass I-131 in etlichen weiteren untersuchten Proben aus Oberflächengewässern enthalten war, jedoch zum Zeitpunkt der Messung bereits nicht mehr nachgewiesen werden konnte. Der gammaspektrometrische Nachweis von I-131 erfolgt in der Regel über die Emissionslinie bei 364,5 keV (81,2 %), die keine Überlagerung mit Emissionslinien anderer in Umweltproben vorkommender Radionuklide aufweist (Abb. 2). Gelegentlich können in Probenspektren auch die beiden schwächeren Emissionslinien von I-131 bei 637,0 keV (7,12 %) und 284,3 keV (6,14 %) beobachtet werden. Um mögliche gasförmige Verluste von Iod auszuschließen, sollten Proben vor der Analyse auf I-131 nicht thermisch vorbehandelt werden. Die Bestimmung des Wassergehaltes zur Angabe der ermittelten Aktivitätskonzentration auf die Trockenmasse einer Schwebstoffprobe sollte daher entweder an einem separaten Probenaliquot oder erst im Anschluss an die Messung erfolgen.

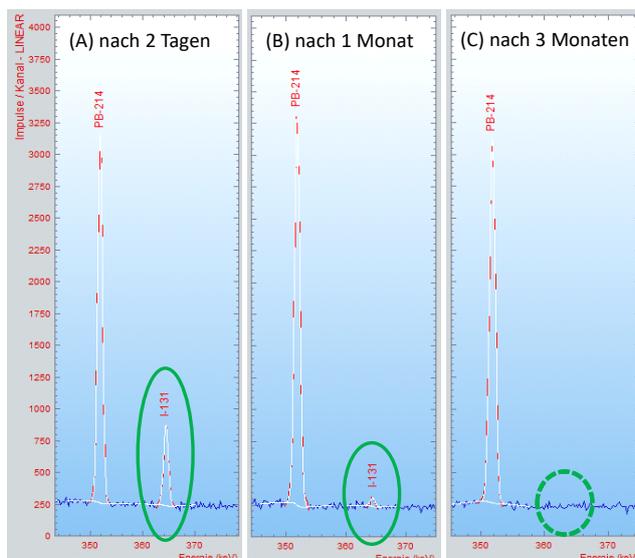


Abb. 2: Veränderung der Intensität der zum Nachweis von I-131 verwendeten Emissionslinie bei 364,5 keV über drei zeitlich aufeinanderfolgende gammaspektrometrischen Messungen einer mittels Durchflusszentrifuge gewonnenen Schwebstoffprobe aus dem Rhein (Fluss-km 170,3 in Weil am Rhein) (A) 2 Tage, (B) einen Monat und (C) drei Monate nach der Probenahme im Januar 2022. Die über die Zeit in ihrer Intensität unveränderte benachbarte Emissionslinie des natürli-

chen Radionuklids Pb-214 bei 351,9 keV ist zum Vergleich dargestellt.

2.2 Lutetium-177

Das Radionuklid Lu-177 besitzt eine Halbwertszeit von 6,6 Tagen. Es zählt nach I-131 zu den am häufigsten zu therapeutischen Zwecken eingesetzten medizinischen Radionukliden [2, 4, 12], wobei das Haupteinsatzgebiet die Tumortherapie darstellt. In Umweltproben wird Lu-177 im Vergleich zu I-131 noch relativ selten nachgewiesen, was neben der kürzeren Halbwertszeit auch daran liegen könnte, dass es in vielen in Routinemessprogrammen eingesetzten Nuklidbibliotheken nicht enthalten ist. Zudem weist der gammaspektrometrische Nachweis einige Herausforderungen auf. So ist beispielsweise die häufigste Emissionslinie von Lu-177 bei 208,4 keV (10,4 %) in Spektren von Umweltproben in vielen Fällen von der Emissionslinie des natürlichen Radionuklids Ac-228 bei 209,3 keV (3,97 %) überlagert (Abb. 3). Daher ist die Emissionslinie von Lu-177 bei 113,0 keV (6,20 %) in der Regel besser für den Nachweis geeignet. Hierbei ist jedoch zu beachten, dass es auch in diesem Bereich des Gammaspektrums zu Interferenzen kommen kann, wobei insbesondere die schwache Emissionslinie des natürlichen Radionuklids Th-234 bei 112,8 keV (0,22 %) berücksichtigt werden muss. Für einen sicheren Nachweis von Lu-177 bieten sich daher zeitlich versetzte Nachmessungen an, um einen möglichen Th-234-Hintergrund nach dem Zerfall von Lu-177 bestimmen zu können (Abb. 4). Eine weitere Besonderheit der Untersuchung von Lu-177 in Umweltproben stellt eine je nach Herstellungsmethode auftretende mögliche Verunreinigung von Lu-177-Präparaten mit Lu-177m dar [2]. Das metastabile Nuklid Lu-177m weist gegenüber Lu-177 eine längere Halbwertszeit von 160,4 Tagen auf und besitzt zusätzliche Emissionslinien, die eine Identifikation im Gammaspektrum ermöglichen (z. B. 228,5 keV, 37,0 %). In Messungen des IMIS-Routinemessprogramms an Schwebstoffproben aus Bundeswasserstraßen durch die BfG wurde Lu-177 in den letzten Jahren vor allem im Rhein bei Weil (je 4 aus 12 Proben in den Jahren 2021 und 2022) nahe der Schweizer Grenze nachgewiesen. Dies passt gut zu den schon länger vorliegenden Messwerten aus der Schweiz [13] und lässt sich auf die Verwendung von Lu-177 in nuklearmedizinischen Abteilungen von Kliniken in Basel zurückführen. Vereinzelt wurde Lu-177 in den letzten Jahren aber auch in Schwebstoffproben des Rhein bei Koblenz nachgewiesen.

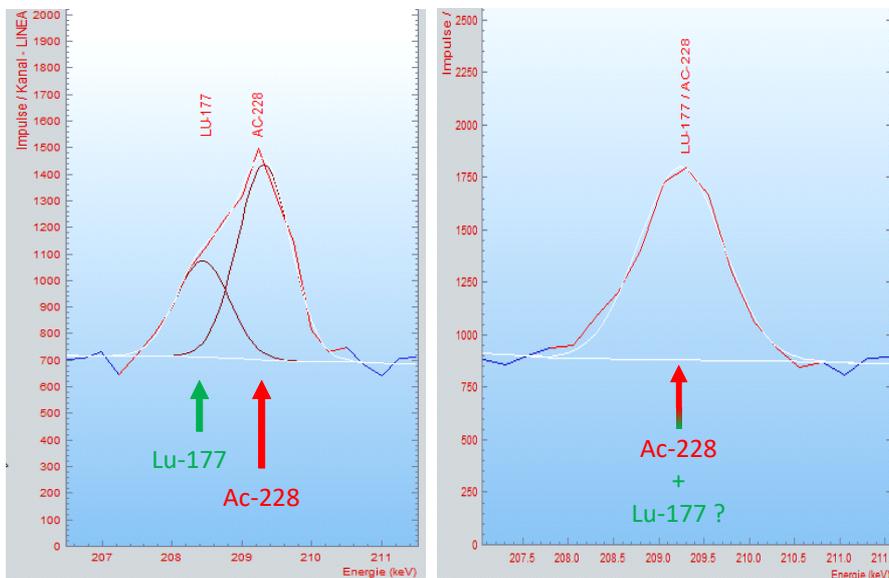


Abb. 3: Überlagerung der häufigsten Emissionslinie von Lu-177 bei 208,4 keV (10,4 %) mit der Emissionslinie des natürlichen Radionuklids Ac-228 bei 209,3 keV (3,97 %). Eine Separierung der

beiden Peaks (Beispiel links) ist daher in den meisten Fällen schwierig (Beispiel rechts).

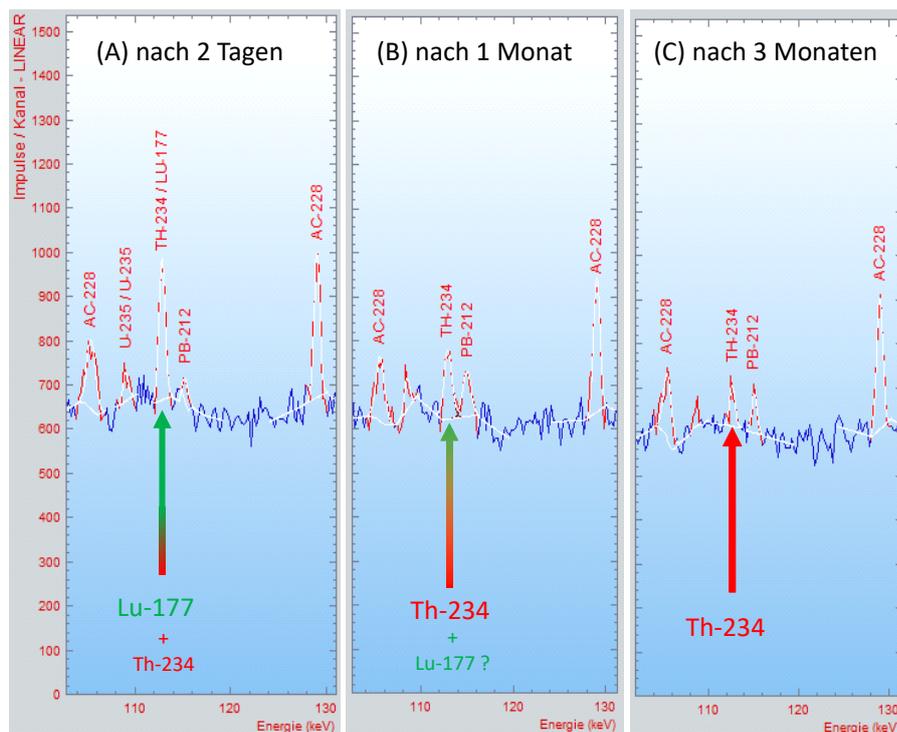


Abb. 4: Veränderung der Intensität der zum Nachweis von Lu-177 verwendeten Emissionslinie bei 113,0 keV (6,20 %) über drei zeitlich aufeinanderfolgende gammaspektrometrischen Messungen einer mittels Durchflusszentrifuge gewonnenen Schwebstoffprobe aus dem Rhein (Fluss-km 170,3 in Weil am Rhein) (A) 2 Tage, (B) einen Monat und (C) drei Monate nach der Probennahme im Januar 2022. Die über die Zeit in ihrer Intensität unveränderten benachbarten Emissionslinien der natürlichen Radionuklide Ac-228, U-235, und Pb-212 sowie die überlagernde Emissionslinie von Th-234 bei 112,8 keV (0,22 %) sind zum Vergleich dargestellt.

2.2 Radium-223

Das Nuklid Ra-223 mit einer Halbwertszeit von 11,4 Tagen wird in der Nuklearmedizin zu therapeutischen Zwecken eingesetzt [14], ist jedoch auch ein Zwischenprodukt der natürlichen U-235-Zerfallsreihe. Dies erschwert den Nachweis von medizinischem Ra-223 in Umweltproben, da auch der natürliche Hintergrund berücksichtigt werden muss. Im Gammaskpektrum von Umweltproben ist die häufigste Emissionslinie von Ra-223 bei 269,5 keV (14,2 %) oft durch die Emissionslinie von Ac-228 bei 270,3 keV (3,55 %) überlagert. Der Nachweis von Ra-223 ist jedoch durch andere Emissionslinien gut möglich, z. B. über die Emissionslinie bei 154,2 keV (5,84 %). Zur Unterscheidung von natürlichem und medizinischem Ra-223 bietet es sich an, das Gammaskpektrum auf das Vorkommen von Th-227, des natürlichen Mutternuklids von Ra-223 mit einer Halbwertszeit von 18,7 Tagen, zu untersuchen sowie zeitversetzte Nachmessungen der Proben durchzuführen. Th-227 lässt sich durch die Emissionslinie bei 236,0 keV (12,6 %) im Gammaskpektrum bestimmen. Während die Peakintensität von Ra-223 medizinischen Ursprungs im Gammaskpektrum über die Zeit abnimmt, deuten unveränderte Peakintensitäten über die Zeit auf eine kontinuierliche Nachlieferung von natürlichem Ra-223 aus der U-235-Zerfallsreihe hin. Demnach stammt das im IMIS-Routinemessprogramm in Schwebstoffproben aus Bundeswasserstraßen nachgewiesene Ra-223 überwiegend aus natürlichen Quellen (Abb. 5).

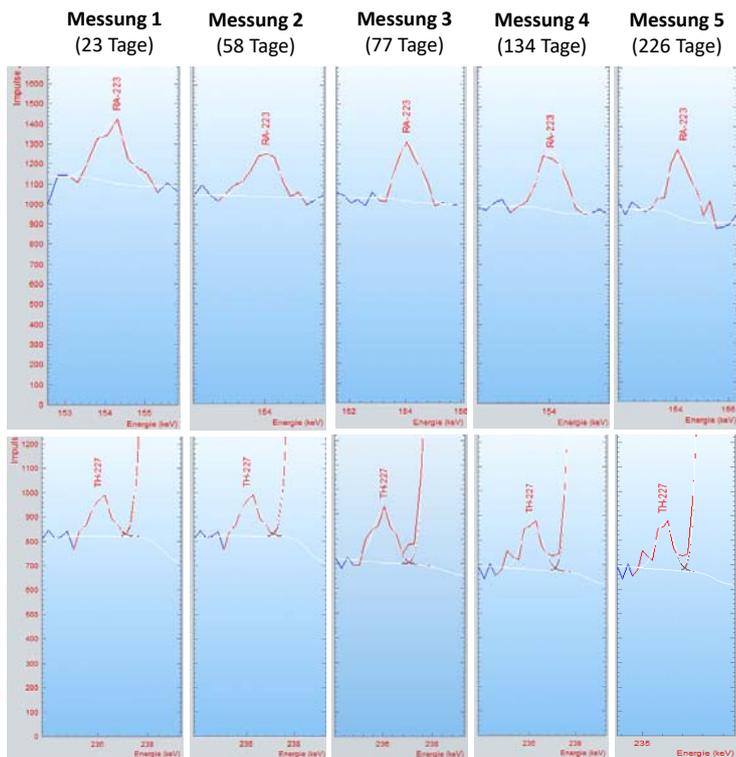


Abb. 5: Intensität der zum Nachweis von Ra-223 (obere Reihe) verwendeten Emissionslinie bei 154,2 keV (5,84 %) über fünf zeitlich aufeinanderfolgende gammaspektrometrische Messungen einer über einen Monat (Juni 2022) in einem Absatzbecken gesammelten Schwebstoffprobe aus dem Rhein (Fluss-km 170,3 in Weil am Rhein) 23, 58, 77, 134 und 226 Tage nach dem Bezugszeitpunkt Mitte Juni 2022. In der unteren Reihe ist der jeweilige Peak von Th-227 (Mutternuclid von Ra-223 in der natürlichen U-235-Zerfallsreihe) bei 236,0 keV (12,6 %) neben der ansteigenden Peakflanke von Pb-212 (238,6 keV, 43,6 %) dargestellt.

3 Schlussfolgerungen

Der zunehmende Einsatz von Radionukliden in der Medizin [1-4] führt dazu, dass sich diese in geringen Mengen auch in Oberflächengewässern nachweisen lassen, vermutlich überwiegend bedingt durch Ausscheidungen von behandelten und kürzlich entlassenen Patienten und den Transportpfad über die Kanalisation und Kläranlagen. Der Nachweis dieser relativ kurzlebigen Nuklide im Rahmen von Routinemessprogrammen, welche nicht speziell dafür ins Leben gerufen wurden, wird jedoch dadurch erschwert, dass sie zum Messzeitpunkt häufig schon weitgehend zerfallen sind. Die Dosisrelevanz von medizinischen Radionukliden in Oberflächengewässern für die allgemeine Bevölkerung ist momentan als gering einzustufen. Aus der Überwachung medizinischer Radionuklide in Umweltproben könnten sich jedoch möglicherweise interessante Anwendungen als neuartige Tracer für Transportprozesse in Fließgewässern ergeben. Während I-131 relativ häufig und eindeutig per Gammaspektrometrie nachgewiesen wird, ist die Bestimmung von Lu-177 durch überlagernde Emissionslinien und im Falle von Ra-223 durch den natürlichen Hintergrund erschwert. Insbesondere da in der Medizin ständig neue Nuklidtherapien entwickelt und eingesetzt werden, sollte das Augenmerk in der Umweltüberwachung zukünftig stärker auf das Vorkommen von medizinischen Radionukliden gerichtet werden.

4 Danksagung

Wir danken Christian Fogel und Alex Zavorsky (BfG) für die Unterstützung bei der Schwebstoffprobenahme mit der Durchflusszentrifuge in Weil am Rhein.

5 Literatur

- [1] U. Blum, Nuklearmedizin. in: M. Kahl-Scholz, C. Vockelmann (Hrsg.) Basiswissen Radiologie. Springer, Berlin, Heidelberg (2017). doi:10.1007/978-3-662-54278-1_11
- [2] Strahlenschutzkommission (SSK). Therapeutische Verfahren in der Nuklearmedizin. Empfehlung der Strahlenschutzkommission, verabschiedet in der 321. Sitzung der Strahlenschutzkommission am 22./23. September 2022. urn:nbn:de:101:1-2023061410391510508702. Bekanntmachung im BAnz AT 13.06.2023 B6
- [3] R. Bekiř, B. Polack, M. F. Bozkurt (Hrsg.) Radionuclide Therapy. Springer, Cham (2022). doi:10.1007/978-3-030-97220-2
- [4] A. Ligtvoet, C. Scholten, A. Dave, R. King, L. Petrosova, A. Chiti, Study on sustainable and resilient supply of medical radioisotopes in the EU, M. Goulart De Medeiros and A. Joerger (Hrsg.), EUR 30690 EN, Publications Office of the European Union, Luxembourg (2021). doi:10.2760/642561, JRC124565.
- [5] F. Sudbrock, K. Schomäcker, A. Drzezga, The effectiveness of wastewater treatment in nuclear medicine: Performance data and radioecological considerations. Journal of environmental radioactivity, 166, (2017), 202-207. doi:10.1016/j.jenvrad.2016.04.002
- [6] H. W. Fischer, S. Ulbrich, D. Pittauerová, B. Hettwig, Medical radioisotopes in the environment—following the pathway from patient to river sediment. Journal of environmental radioactivity, 100(12), (2009), 1079-1085. doi:10.1016/j.jenvrad.2009.05.002
- [7] V. Hormann, H. W. Fischer, A simple compartment model for the dynamical behavior of medically derived ¹³¹I in a municipal wastewater treatment plant. Environmental science & technology, 52(16), (2018), 9235-9242. doi:10.1021/acs.est.8b01553
- [8] M. R. Zehring, Fate of radiopharmaceuticals in the environment. in: I. Zhu (Hrsg.) Sewage. InTech. (2018) doi:10.5772/intechopen.74665
- [9] J. Martínez, T. Baciú, A. Peñalver, C. Aguilar, F. Borrull, Occurrence of and radioanalytical methods used to determine medical radionuclides in environmental and biological samples. A review. Journal of environmental radioactivity, 207, (2019), 37-52. doi:10.1016/j.jenvrad.2019.05.015
- [10] J. G. Wiederhold, A. Schmidt, Radioaktive Stoffe in Binnengewässern. In: Umweltradioaktivität in der Bundesrepublik Deutschland : Bericht der Leitstellen des Bundes und des Bundesamtes für Strahlenschutz. BMUV (2022), p. 52-60. <http://nbn-resolving.de/urn:nbn:de:0221-2022010530428>
- [11] G. Steinhauser, A. Brandl, T. E. Johnson, Comparison of the Chernobyl and Fukushima nuclear accidents: a review of the environmental impacts. Science of the total environment, 470, (2014), 800-817. doi:10.1016/j.scitotenv.2013.10.029
- [12] S. Banerjee, M. R. A. Pillai, F. F. Knapp, Lutetium-177 therapeutic radiopharmaceuticals: linking chemistry, radiochemistry, and practical applications. Chemical reviews, 115(8), (2015), 2934-2974. doi: 10.1021/cr500171e
- [13] R. Dolf, J. Mazacek, A. Pregler, M. Zehring, Radioaktivitäts-Monitoring des Rhein-Schwebstoffs in Basel – Auswertung und Interpretation der Daten von 1982 bis 2019. Vom Wasser, 119(1), (2021), 12-22. doi:10.1002/vomw.202100001

- [14] D. Saurat, O. Aupée, E. Gontier, D. Métivier, A. Cazoulat, A., Y. Lecompte, Recommendations for monitoring and internal dosimetry for nuclear medicine staff exposed to radiopharmaceuticals ^{223}Ra dichloride. Radiation Protection Dosimetry, 182(3), (2018), 299-309. doi: 10.1093/rpd/ncy065

W037: Medizinische Radionuklide in der gammaspektrometrischen Messung von Reststoffen

C. Mierzwa

Senatsverwaltung für Mobilität, Verkehr, Klimaschutz und Umwelt, Berlin, Deutschland

Zusammenfassung

Medizinische Radionuklide werden regelmäßig in Reststoffen wie Klärschlamm nachgewiesen. Die Auswertung und Berichterstattung dieser Nuklide ist im Rahmen der AVV-IMIS nicht verpflichtend, wird aber dennoch häufig durchgeführt. Insbesondere bei nur seltenen Nachweisen können sich dadurch Herausforderungen sowohl im Bereich der quantitativen als auch der qualitativen Bestimmung ergeben. Eine Auflistung von in der Medizin angewendeten Radionukliden, bspw. anhand frei zugänglicher Daten von Kliniken und Praxen, kann bei der Identifizierung hilfreich sein. Zusätzlich und auch zur quantitativen Einordnung lassen sich langjährige Messreihen nutzen, anhand derer sich zeitliche Verläufe der spezifischen Aktivitäten erkennen sowie außerordentliche Messwerte besser einordnen lassen. Eindeutige Identifikationen lassen sich in einigen Fällen nur durch eine Nachmessung mit zeitlichem Abstand über das Abklingverhalten der Radionuklide erzielen.

1 Medizinische Radionuklide in Reststoffen

Die in der medizinischen Diagnostik und Therapie angewendeten Radionuklide sind für die Umweltradioaktivitätsüberwachung und den Notfallschutz in der Bedeutung nachrangig. Entsprechend ist die Meldung dieser Radionuklide im Rahmen der Berichterstattung nach der AVV IMIS nicht verpflichtend. Abweichend hiervon ist nur das Iod-131 zu sehen, welches sowohl medizinisch genutzt wird, als auch bei einem radiologischen Ereignis freigesetzt werden kann. Die IMIS-Messstellen melden nachgewiesene medizinischen Radionuklide in unterschiedlichem Umfang. Daher gibt es teils kaum Langzeitdokumentationen von Messwerten dieser Radionuklide und Erfahrungen mit üblichen Wertebereichen. Auch kann es gelegentlich zu Fehlidentifikationen von medizinischen Radionukliden kommen.

Zum Nachweis medizinischer Radionuklide in Reststoffen eignet sich insbesondere Klärschlamm (oder Klärschlammgranulat) und die nach dessen Verbrennung anfallende Klärschlammmasche, da hier vom ungereinigten Abwasser ausgehend jeweils eine Anreicherung der Nuklide stattfindet.

2 Abwasserbehandlung und radiomedizinische Anwendungen in Berlin

Die Abwasserentsorgung in Berlin erfolgt sowohl über getrennte Abwasserkanäle für Schmutz- und Regenwasser (~75 %) als auch über ein Mischsystem. Im Durchschnitt werden hierüber täglich 680.000 m³ Abwasser geleitet. Dieses wird in sechs Klärwerken behandelt, welche auch Abwasserzuleitungen aus Brandenburg erhalten. Die größten Klärwerke in Ruhleben und Waßmannsdorf verarbeiten 2/3 der Abwassermengen. Beprobet werden in Berlin gemäß AVV IMIS vier Klärwerke unter anderem mit dem Medium Klärschlamm (Dickschlamm). Der größte Teil (~60 %) des in Berlin anfallenden Klärschlammes wird in der Klärschlammverbrennungsanlage in Ruhleben verwertet. In diese erfolgen aber auch Anlieferungen von Klärwerken außerhalb Berlins.

3 Radiomedizinische Anwendungen in Berlin

In Berlin waren zum Zeitpunkt der Datenerhebung (2020) 27 Kliniken und Praxen ansässig, die Anwendungen in Nuklearmedizin und Strahlentherapie anboten. Um potenziell in Reststoffen enthaltene Radionuklide zu identifizieren, wurde eine Übersicht mit Hilfe der über das Internet verfügbaren Angaben erstellt. Hierzu wurden die Therapien erfasst und die angewendeten Radionuklide den jeweiligen Einzugsgebieten der Klärwerke zugeordnet (Abb. 1). Nur ein Teil der über die Internetrecherche ermittelten Radionuklide wurde in den einzelnen Einzugsgebieten auch nachgewiesen. Das waren insbesondere die häufig angewendeten Radionuklide Technetium-99m, Iod-131 und Lutetium-177. Einige der potenziell verwendeten Radionuklide konnten gar nicht nachgewiesen werden. Dafür wurden auch Radionuklide wie Selen-75 und Samarium-153 identifiziert, die nicht in der Datenerhebung genannt waren. Ursache hierfür kann eine unvollständige Nennung der Radionuklide in den Internetauftritten sein. Hinzu kommt, dass Patient(inn)en nach der Entlassung aus der Klinik weiterhin die eingesetzten Radionuklide ausscheiden, und diese dann auch abseits des Behandlungsortes in das Abwasser eingebracht werden können. Eine Quantifizierung dieses Einflusses ist jedoch nicht möglich, da hierfür zusätzliche Daten über die angewendeten Aktivitäten und den der Diagnose / Therapie nachfolgenden Aufenthaltsorte der Patient(inn)en bekannt sein müssten. Auch ist durch die stichprobenartige Probennahme nur ein unvollständiger Nachweis der Radionuklide im Klärschlamm möglich. Daher ist zur Verifizierung der Radionuklide in der Regel auf Erfahrungen beispielsweise anhand bisheriger Messergebnisse zurückzugreifen.

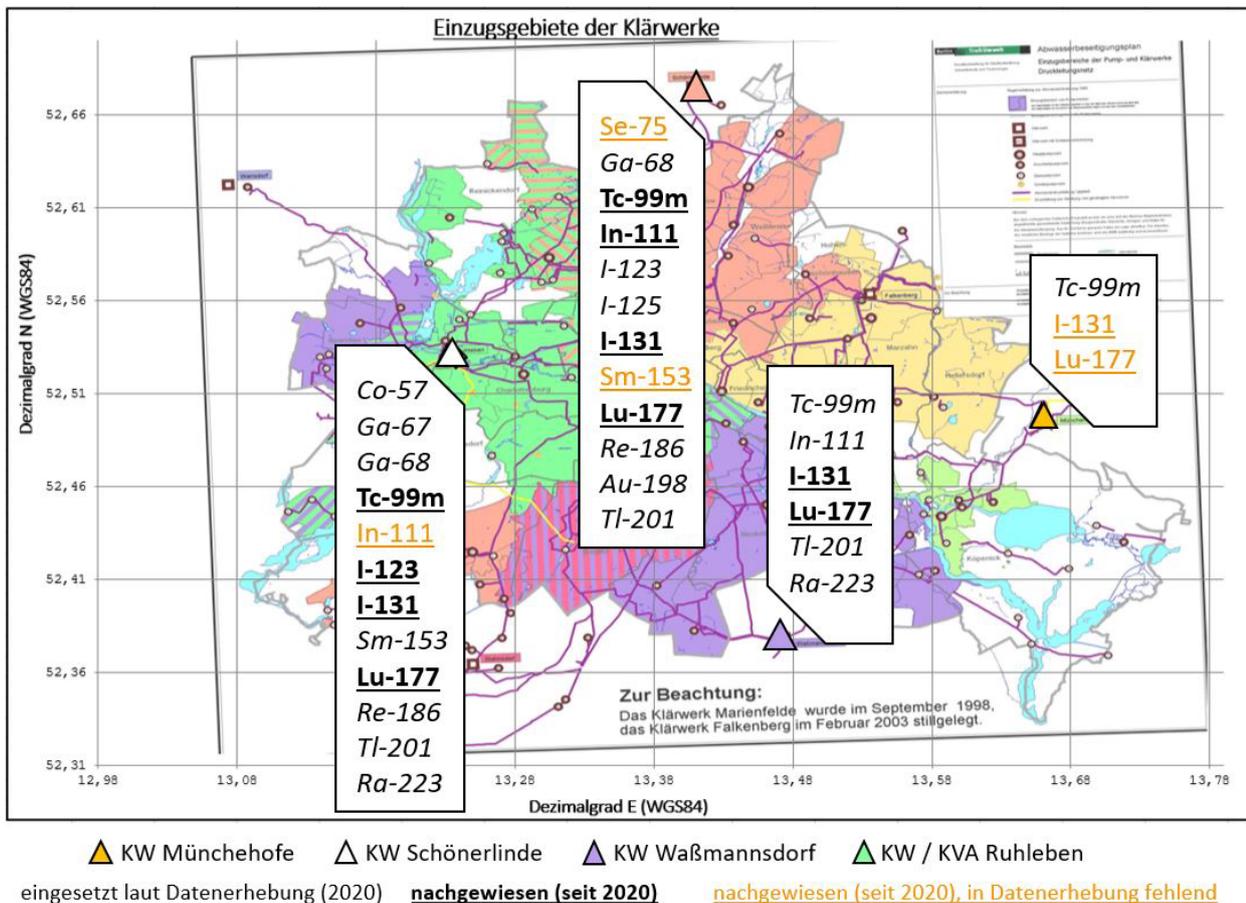


Abb. 1: Im Rahmen von Therapie und Diagnostik eingesetzte Radionuklide (Stand 2020), basierend auf frei zugänglichen Angaben. Zugeordnet sind diese den Einzugsgebieten der im Rahmen

der AVV IMIS untersuchten Klärwerke. Diese konnten teilweise seit der Datenerhebung in Klärschlamm(asche) gemessen werden (unterstrichen), während andere nicht nachgewiesen werden konnten (kursiv) oder in der Datensammlung nicht angeführt sind aber dennoch nachgewiesen wurden (gelb).

4 Betrachtung ausgewählter Radionuklide anhand von Messreihen

Eine Aussage über die üblicherweise im Klärschlamm nachweisbaren spezifischen Aktivitäten relevanter medizinischer Radionuklide lässt sich auch auf Basis bisheriger Messergebnisse treffen. Für das Berliner Klärwerk in Ruhleben sowie die angeschlossene Klärschlammverbrennungsanlage liegen Daten seit Beginn der neunziger Jahre vor. In den folgenden Abschnitten wird auf Grundlage dieser Messreihen beispielhaft die Entwicklung der üblichen Wertebereiche einiger Radionuklide aufgezeigt. Zusätzlich lassen sich über das in der Klärschlammverbrennungsanlage in Ruhleben entnommene Medium Klärschlammasche Aussagen über die eingesetzten Radionuklide treffen. Aufgrund der Anreicherung der meisten Radionuklide in der Klärschlammasche lassen sich hier auch Aktivitäten nachweisen, die im Klärschlamm unterhalb der Erkennungsgrenze liegen.

4.1 Indium-111, Samarium-153, Rhenium-186

Für das Isotop In-111 lässt sich die Anwendung über den Zeitraum 1991 – 2020 gut nachvollziehen (Abb. 2). Ab 1998 wurde eine Zunahme der gemessenen spezifischen Aktivitäten in Klärschlamm und in Klärschlammasche verzeichnet. Seit Mitte 2020 wurde In-111 nicht mehr in Klärschlamm nachgewiesen, in Klärschlammasche wurden noch bis 2021 geringe spezifische Aktivitäten berichtet. Sowohl Re-186 als auch Sm-153 wurden erstmalig 2002 in Klärschlammasche nachgewiesen. In Klärschlamm erfolgte der Nachweis im folgenden beziehungsweise darauffolgenden Jahr. Während Re-186 in Klärschlamm nur vereinzelt nachgewiesen wurde, konnten in Klärschlammasche häufiger Aktivitäten bis 38 Bq/kg (Trockenmasse) gemessen werden.

Für alle drei Radionuklide ist in den letzten drei Jahren eine stetige Abnahme sowohl der Häufigkeit des Auftretens als auch der nachgewiesenen Aktivitäten zu verzeichnen.

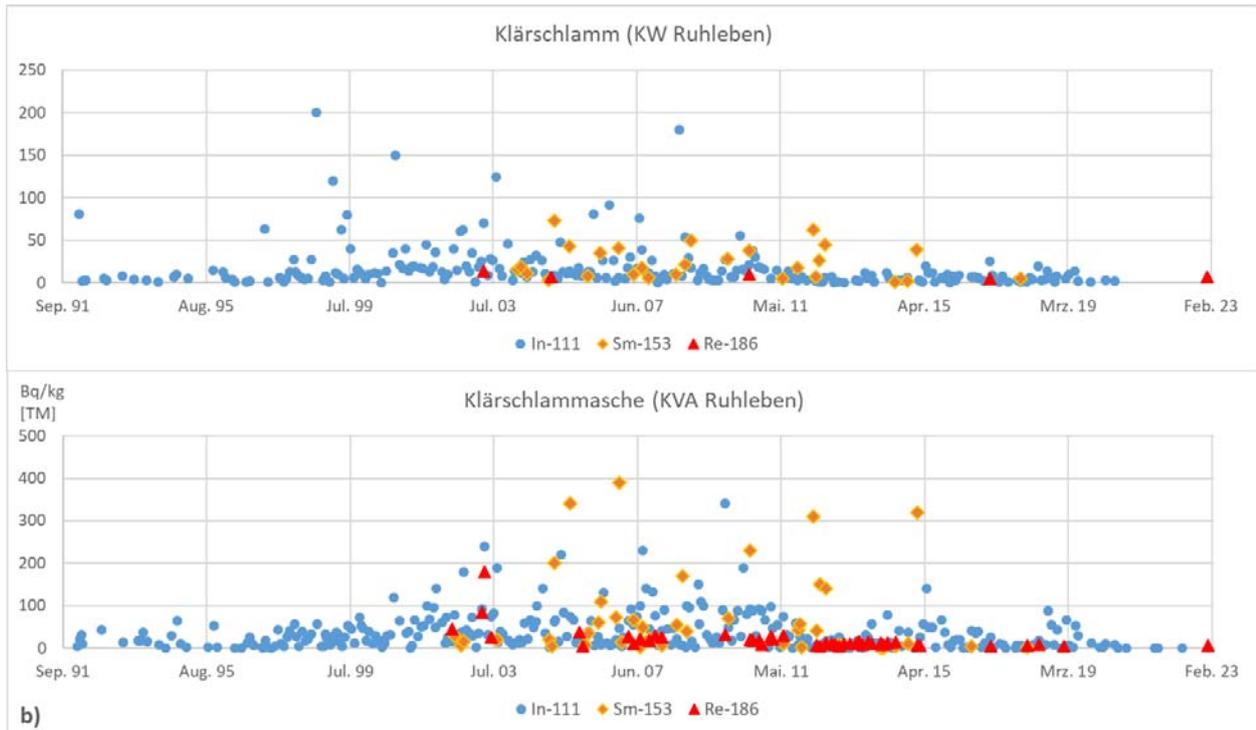


Abb. 2: Alle Messwerte beziehen sich auf die Trockenmasse. a) Spezifische Aktivitäten der Radionuklide In-111, Sm-153 und Re-186 in Klärschlamm. Die Messwerte zeigen über die ersten 20-25 Jahre hinweg zunächst einen Anstieg der spezifischen Aktivitäten, später eine Abnahme. Re-186 wurde nur vereinzelt nachgewiesen. b) In Klärschlammmasche spiegelt sich der zeitliche Verlauf der spezifischen Aktivitäten im Klärschlamm wieder. Aufgrund der Anreicherung sind die spezifischen Aktivitäten im Vergleich zu den Klärschlammproben insgesamt höher und Re-186 konnte häufiger nachgewiesen werden.

4.2 Thallium-201, Thallium-202, Lutetium-177

Tl-201 ist seit Beginn der Aufzeichnung in den Proben mit ab 2003 fallenden spezifischen Aktivitäten nachgewiesen worden (Abb. 3). Es konnte dabei auch regelmäßig das als Verunreinigung von Tl-201 auftretende Tl-202 festgestellt werden. Der Faktor von Tl-201 zu Tl-202 lag dabei im Mittel bei ~ 40 für Klärschlammmasche bzw. 60 für Klärschlamm. Ab 2013 konnte erstmalig Lu-177 gemessen werden, welches seitdem regelmäßig mit ansteigender Tendenz nachgewiesen wird.

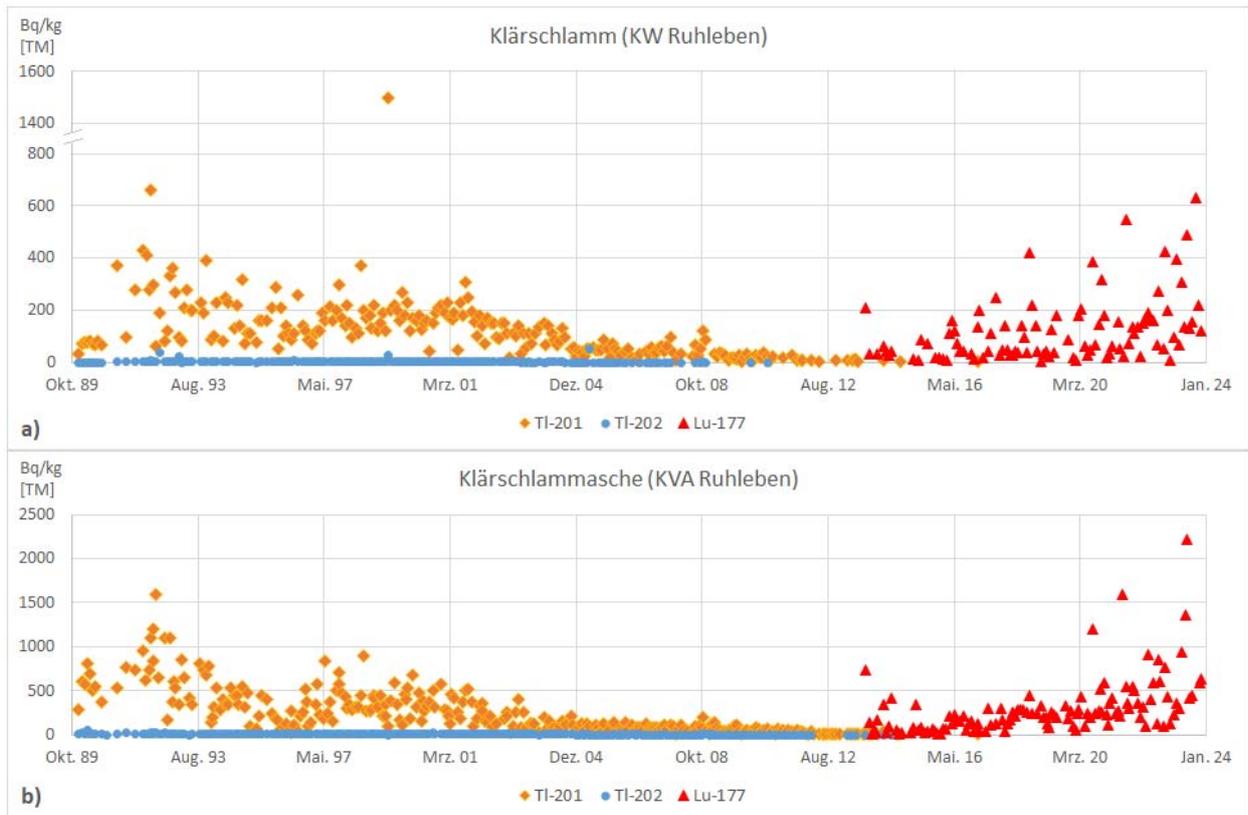


Abb. 3: Alle Messwerte beziehen sich auf die Trockenmasse. a) Spezifische Aktivitäten der Radionuklide Tl-201, Tl-202 und Lu-177 in Klärschlamm. Für Tl-201 lässt sich eine abnehmende Nutzung und damit sinkende spezifische Aktivitäten beobachten. Tl-202 tritt als Verunreinigung von Tl-201 auf. Lu-177 wird seit 2013 mit zunehmenden spezifischen Aktivitäten nachgewiesen. b) In Klärschlamm-Asche spiegelt sich der zeitliche Verlauf der spezifischen Aktivitäten im Klärschlamm wieder. Aufgrund der Anreicherung sind die spezifischen Aktivitäten im Vergleich zu den Klärschlammproben im Mittel mehr als doppelt so hoch.

4.3 Technetium-99m, Iod-131

Über den Zeitraum der Messreihe hinweg wird Tc-99m regelmäßig nachgewiesen (Abb. 4). Dabei ist normalerweise die spezifische Aktivität in Klärschlamm höher als in Klärschlamm-Asche, was sich auf die im Vergleich kurze Halbwertszeit von 6 Stunden zurückführen lassen kann.

Auch I-131 wird seit dem Beginn der Messreihe regelmäßig gemessen (Abb. 5). Die Aktivitäten in Klärschlamm bewegen sich nach einem Anstieg seit Ende der 90er Jahre auf einem relativ gleichbleibenden Niveau. In Klärschlamm-Asche finden sich im Vergleich dazu grundsätzlich niedrigere Aktivitäten - für Iod ist bekannt, dass dieses bei hohen Temperaturen sublimiert. In Klärschlamm-Asche wurden ab 2011 deutlich (bis zu zehnfach) höhere Aktivitäten gemessen als in den Vorjahren, was sich nicht in den Klärschlammproben der anderen untersuchten Berliner Klärwerke (Daten nicht dargestellt) widerspiegelt. Eine direkte Ursache hierfür ist nicht bekannt, mögliche Faktoren dabei sind Umstellungen im Verarbeitungsprozess oder Zulieferungen aus anderen, nicht durch uns untersuchten Klärwerken.

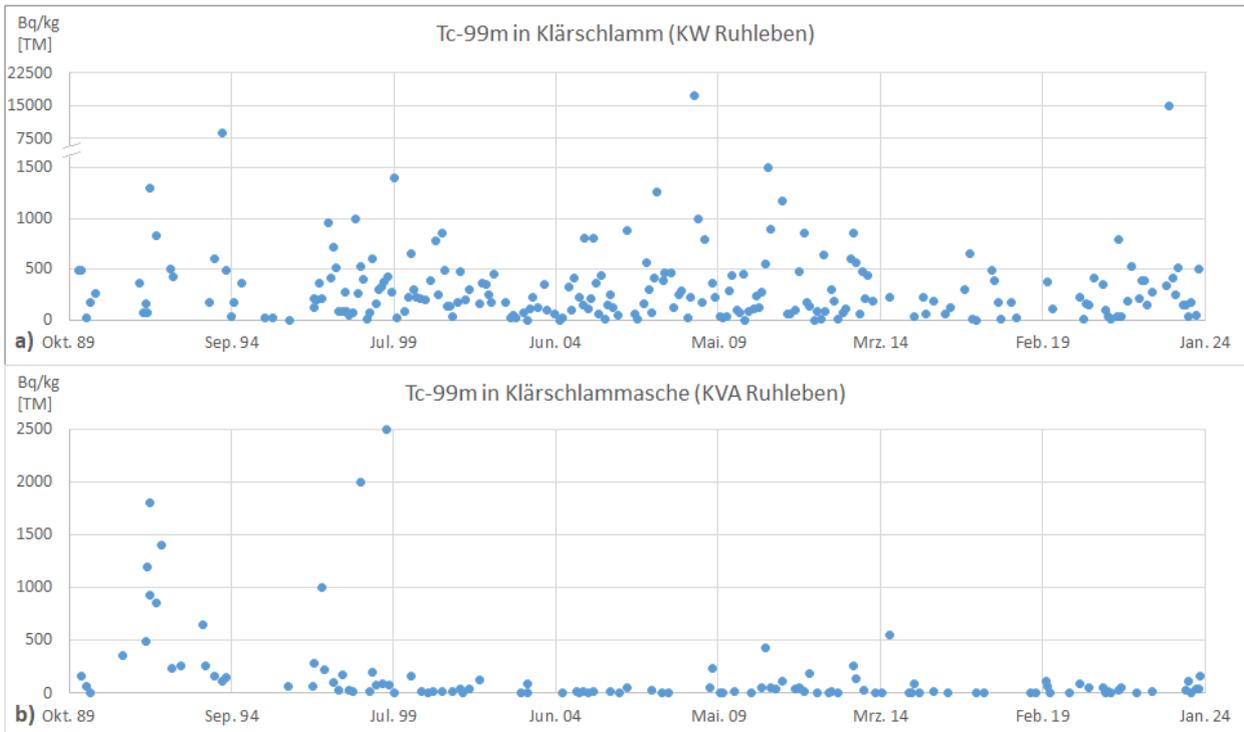


Abb. 4: Alle Messwerte beziehen sich auf die Trockenmasse. a) Die spezifischen Aktivitäten des Radionuklids Tc-99m liegen in Klärschlamm über den gesamten betrachteten Zeitraum auf einem gleich hohen Niveau, mit Ausnahme von drei mehr als 5-fach höheren Messwerten. b) In Klärschlammasche sind in den ersten 10 Jahren deutlich höhere Messwerte von Tc-99m verzeichnet als in den folgenden Jahren. Die im Vergleich zu Klärschlamm niedrigeren Werte liegen an der kurzen Halbwertszeit von 6 Stunden.

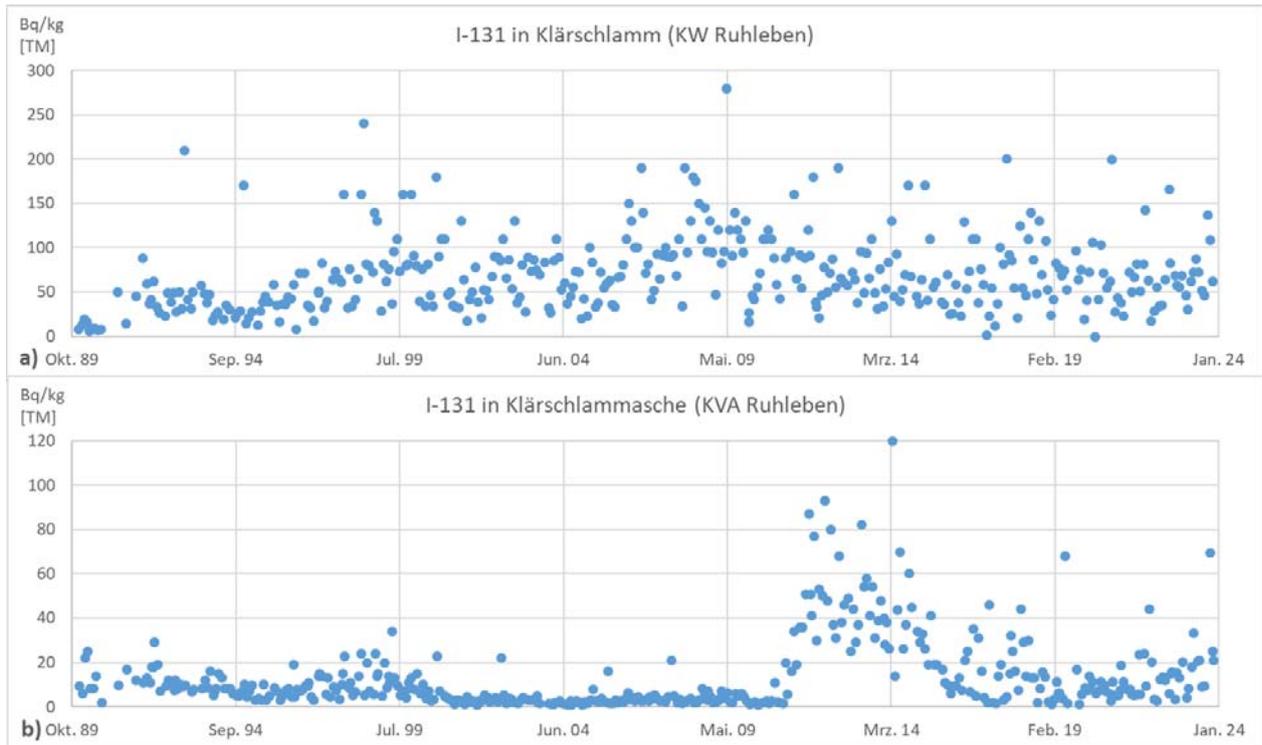


Abb. 5: Alle Messwerte beziehen sich auf die Trockenmasse. a) In Klärschlamm sind seit einem leichten Anstieg in den ersten 10 Jahren die mittleren spezifischen Aktivitäten von I-131 auf einem gleichbleibenden Niveau. b) In Klärschlammmasche wurden deutlich niedrigere spezifischen Aktivitäten von I-131 gemessen, was durch die Sublimation bei den hohen Temperaturen der Verbrennung erklärt werden kann. Der Anstieg der Messwerte nach 2010 findet sich nicht in den entsprechenden Klärschlammproben der Berliner Klärwerke wieder.

4.4 Einordnung außergewöhnlich hoher Messwerte

Anhand der Messreihen lassen sich gut sowohl die üblichen Wertebereiche als auch Trends ablesen. In einzelnen Klärschlammproben wurde eine mehr als 30-fach höhere spezifische Aktivität von Tc-99m als im Mittel festgestellt. Selbst der Maximalwert von ~ 17 kBq/kg für Tc-99m liegt jedoch noch deutlich unterhalb der entsprechenden Freigrenze von 100 kBq/kg gemäß StrlSchV. Auch für Tl-201 wurde ein Wert mit mehr als 5-fach höherer spezifischer Aktivität als der Mittelwert beobachtet. Für die Plausibilisierung derartiger Peaks sind langjährige Messreihen hilfreich, insbesondere, wenn diese schon mehrfach wenn auch selten auftraten.

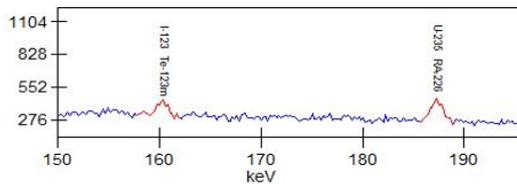
5 Fehlidentifikationen

Auch bei der Bestimmung von medizinischen Radionukliden kann es zu Fehlidentifikationen kommen. In diesem Rahmen können nur beispielhaft einzelne Fälle aufgeführt werden.

Die Radionuklide Tellur-123m (Halbwertszeit von ~ 119 Tagen) sowie Iod-123 (HWZ ~ 13 Stunden) zerfallen in das Tochternuklid Tellur-123. Für beide liegt die einzige praktisch auswertbare Linie bei 159 keV (Abb. 6). Daher ist eine Identifizierung nur durch eine weitere Messung der Probe in zeitlichem Abstand zur ersten Messung möglich, um anhand des Abklingverhaltens und der unterschiedlichen Halbwertszeiten der Nuklide eine Zuordnung zu ermöglichen.

Beispiel: I-123 oder Te-123m in Klärschlamm

- beide medizinisch genutzt



Te-123m (HWZ ~119 d) Linien:

158,97 keV	(88,46 %)
88,46 keV	(0,09 %)
247,40 keV	(<0,01 %)

I-123 (HWZ ~13 h) Linien:

158,97 keV	(83,25 %)
528,96 keV	(1,28 %)
440,02 keV	(0,42 %)

(+37 weitere...)

Nachmessung 8 Tage später

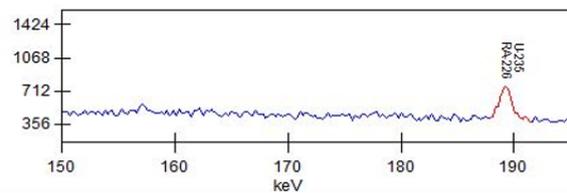


Abb. 6: Die Isotope I-123 und Te-123m zerfallen in das gleiche Tochternuklid Te-123, haben jedoch unterschiedliche Halbwertszeiten. Da beide gammaspektrometrisch einzig über eine Linie der selben Energie identifiziert werden, lässt sich eine Differenzierung nur mittels einer Zweitmessung mit zeitlichem Abstand durchführen.

Ähnliches gilt auch für Samarium-153 und Gadolinium-153, die beide in das Tochternuklid Europium-153 zerfallen. Hier sind jedoch zusätzliche Linien im Gammaspektrum vorhanden mit Unterschieden in der Emissionswahrscheinlichkeit, so dass eine Identifizierung auch über die Betrachtung der berechneten Aktivität der einzelnen Linien möglich ist.

In Proben mit einem hohen Anteil von Kalium-40 kann fälschlicherweise Tl-202 identifiziert werden (Abb. 7). Tl-202 hat nur eine auswertbare Linie bei 439,6 keV, welche mit dem Double-Escape-Peak von K-40 bei 438,8 keV verwechselt werden kann. Üblicherweise sollte neben Tl-202 auch Tl-201 aufzufinden sein. Ist dies nicht der Fall, ist auf Single- und Double-Escape-Peaks von K-40 zu prüfen. Eine zeitlich versetzte Nachmessung kann auch hier eine zusätzliche Absicherung bieten.

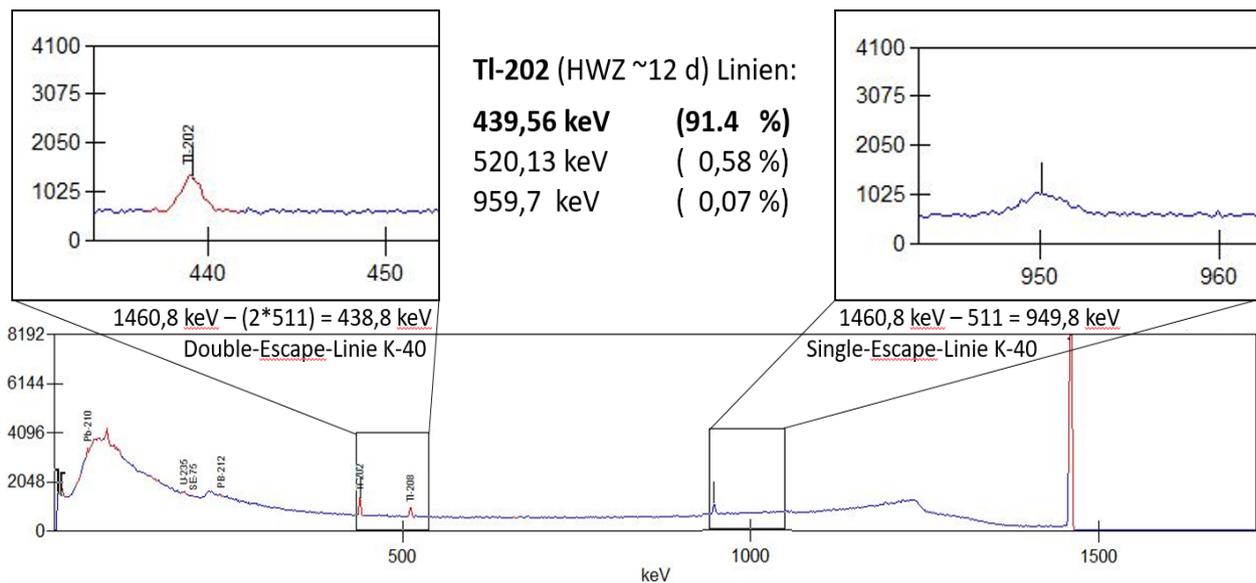


Abb. 7: Bei hohen Aktivitäten von K-40 bilden sich deutliche Peaks der Single- und Double-Escape-Linie aus, was zu einer fälschlichen Identifikation von Tl-202 führen kann.

5 Schlussfolgerungen

Zur Identifikation von in der Nuklearmedizin eingesetzten Radionukliden können verschiedene Maßnahmen unterstützend herangezogen werden. Eine Zusammenstellung der im Einzugsbereich von Klärwerken eingesetzte Radionuklide kann helfen, auch neu oder bislang nur in geringem Maße angewendete Nuklide in der Auswertung schon frühzeitig mit zu berücksichtigen. Auch lässt sich dadurch in einigen Fällen die Gefahr von Fehlidentifikationen verringern. Das kann auch durch in zeitlichem Abstand durchgeführte Zweitmessungen unterstützt werden. Teilweise ist dies die einzige Möglichkeit einer sicheren Identifizierung. Bei nur selten nachgewiesenen Radionukliden können Langzeitmessreihen eine Hilfestellung für eine Plausibilisierung bieten. Durch die Betrachtung der üblichen als auch von deutlich höheren Messwerten ist auch quantitativ eine bessere Einordnung möglich. Zudem lassen sich anhand der Trends auch Entwicklungen in der Nuklearmedizin nachvollziehen.

Workshop B2: Qualitätssicherung 1

F. Ober¹, M.-O. Aust²

¹Max Rubner-Institut, Kiel

²Thünen-Institut für Fischereiökologie, Bremerhaven

Im Workshop B2 „Qualitätssicherung 1“ sorgten zwei Impulsvorträge, je einer zu den Themen Qualitätssicherung im Rahmen der Messtechnik und einer zur Organisation im Labor, für intensive Diskussionen und einen produktiven Erfahrungsaustausch.

Herr Lange von der Firma Mirion Technologies (ehemals Canberra) GmbH eröffnete den Workshop mit einer Präsentation zu Aspekten der Qualitätssicherung mit Schwerpunkten auf die Messtechnik. Entsprechend seiner Ausführungen beginnt Qualitätssicherung bereits mit der Einrichtung des Messgerätes, erstreckt sich über regelmäßige Kontrollmessungen, die Teilnahme an Ringvergleichen bzw. Eignungsprüfungen sowie die konsequente Dokumentation deren Ergebnisse. In diesem Zusammenhang sind die korrekte Auswahl des an den jeweiligen Messzweck angepassten Messgerätes und eine möglichst präzise Erfassung der Unsicherheiten sämtlicher Analysenschritte erforderlich.

Die im Anschluss an den Vortrag folgende lebhafteste Diskussion beschäftigte sich mit der Detektorcharakterisierung, die Mirion Technologies für Gammaskpektrometer anbietet, da sie die wesentliche Unterstützung für die Anwender und Anwenderinnen darstellt.

Der Einfluss der Alterung des Detektorkristalls auf die Charakterisierung wurde genauso angesprochen wie die Zeitspanne, nach der das Präparat zur Kontrolle der Charakterisierungsparameter ersetzt werden sollte. Weiterhin war die Abweichung vom Sollwert bei Verwendung charakterisierter Detektoren in Ringversuchen von Interesse. In der Vergangenheit wichen auf diese Weise erzielte Ergebnisse nur wenig von den Sollwerten der Ringversuche ab. Daraufhin wurde vom Publikum um eine Beschreibung der generellen Vorgehensweise bei der Charakterisierung gebeten. Diese basiert auf einer Simulation der Wirkungsquerschnitte mittels MCNP, wobei die genaue Unsicherheitsbetrachtung im jeweils mitgelieferten Zertifikat bzw. den Handbüchern des jeweiligen Gerätes oder Softwaremoduls dargelegt sein soll.

Im nachfolgenden Impulsvortrag mit dem Thema „Qualitätsmanagement im Laboralltag – hohe Anforderungen bei knappen Ressourcen“ berichtete Frau Bieringer vom BfS über ihre Erfahrungen mit der Qualitätssicherung in drei Laboren mit nur 9 Mitarbeitenden. Zwei der drei Labore sind aktuell für verschiedene Methoden akkreditiert. Ein wichtiges Fazit war, dass das Personal, trotz aller Erleichterungen wie Einführung eines Laborinformations- und Managementsystems, Nutzung von Regelkarten etc., die wichtigste Ressource im Laboralltag bleibt.

Fragen aus dem Auditorium knüpften u. a. an die Beschaffung eines LIMS sowie an Maßnahmen zum Nachweis der Kompetenzen des Personals an. Dabei wurden die Möglichkeiten wie erfolgreiche Teilnahme an Ringversuchen, Überprüfung im Laboralltag, interne Audits, begleitetes Arbeiten aber auch Teilnahmen an Konferenzen intensiv diskutiert.

Weiterhin wurde kritisiert, dass im Lebensmittelbereich nur Ringversuche in den Medien Wasser und Milch regelmäßig angeboten werden und die Anerkennung von Ringversuchen durch die DAkkS sich in einigen Fällen schwierig gestaltet. Darüber hinaus wurde angeregt, dass Ringversuche für Sondernuklide angeboten und Abschlussberichte von Ringversuchen schneller versendet werden, da sie für den Erhalt einer Akkreditierung wichtig sind.

W021: Aspekte der Qualitätssicherung

Aspects of Quality Assurance

H.-J. Lange

Mirion Technologies (Canberra) GmbH, Rüsselsheim, Deutschland

Zusammenfassung

Im Rahmen der Aktivitätsbestimmung von Proben hat in den letzten Jahren eine korrekte Unsicherheitsbetrachtung an Bedeutung gewonnen. Neben der Analyse der Unsicherheiten von Probenahme, Probenbearbeitung und Messung sind damit auch die Konstanz und korrekte Funktionsweise der Messgeräte relevant. Eine vollständige Umsetzung kann und sollte von den Laboren in Ringversuchen oder Laborvergleichen gezeigt werden. In dieser Arbeit werden anhand von Beispielen Maßnahmen gezeigt, mit denen die korrekte Funktionalität von Messgeräten und die Überprüfung der Kalibrierung bestätigt werden. Zudem werden Beispiele für Messvergleiche vorgestellt, in denen die Lernerfolge von Teilnehmern in den Mittelpunkt gestellt werden.

Summary

In the context of activity measurements of samples, the correct analysis of uncertainties achieved a high degree of importance during the last decades. Among the uncertainties from sampling, sample preparation and measurement a correct functionality of the measurement devices is relevant. The implementation can and should be shown in round robbing tests and laboratory comparisons. In this work, examples of measures are used to show the correct functionality of measurement devices and their calibrations. Additionally, examples of intercomparison exercises are used to show the improvements due to training.

1 Rückführbarkeit

Bei jeder Messung von Aktivität besteht die Notwendigkeit der Rückführbarkeit des Messergebnisses auf ein Primärnormal. Die Aufgabe der Definition des Primärnormalis obliegt den metrologischen Instituten der Staaten. Damit nicht für jedes Radionuklid einzelne Primärnormale dargestellt werden müssen, sind auch die Kerndaten, also die Halbwertszeiten, Emissionsenergien und Übergangswahrscheinlichkeiten für die Generierung von Sekundärnormalen verwendbar und stehen unter der Kontrolle der metrologischen Institute. Diese Sekundärnormale werden üblicherweise zur Kalibrierung von Messgeräten verwendet und werden von Herstellern mit Angabe der Aktivität und Unsicherheit der Aktivität ausgeliefert. Die gültigen Kerndaten werden der Veröffentlichung der Daten aus einer Evaluation der internationalen metrologischen Institute beim Bureau International des Poids et Mesures (BIPM) entnommen. (<http://www.lnhb.fr/home/nuclear-data/nuclear-data-table>). Bei kalibrierten Messgeräten ist die Auswertung der Messungen auf dieser Datenbasis durchzuführen.

1.1 Kalibrierungen mit Sekundärnormal oder mathematischer Modellrechnung

Für Aktivitätsmessungen sind die Messgeräte für die Messgeometrie auf das Radionuklid oder die Radionuklide zu kalibrieren. Bei experimentellen Kalibrierungen bedeutet das die Herstellung eines von Geometrie, Dichte und Matrix gleichen Objekts mit identischer Aktivitätsverteilung mit bekannter Aktivität. Abweichungen können mitunter durch Korrekturfaktoren

berücksichtigt werden, müssen jedoch sehr genau bei der Unsicherheitsanalyse berücksichtigt werden. Zählende Messverfahren benötigen für die Trennung mehrerer Radionuklide eine chemische Trennung mit Einzelmessungen. Alternativ wird in einigen Messverfahren mit Nuklidverhältnissen gearbeitet und eine Gesamtresponse der Messgeräte herangezogen. Bei spektrometrischen Verfahren erfolgt eine Trennung der gammaspektrometrisch messbaren Radionuklide durch das Auflösungsvermögen des Messgeräts. In diesem Fall sind Einzelaktivitäten der jeweiligen Radionuklide mit einer Messung bestimmbar.

Alternativ zur experimentellen Kalibrierung ist auch eine Verwendung mathematischer Modellrechnungen auf der Basis von Charakterisierungen möglich. Hierzu wird primär die Geometrie eines Detektorsystems in ein Monte-Carlo-Programm eingegeben, wobei auch hier die Angaben mit hoher Genauigkeit erfolgen müssen. Hier gehen auf Primärnormale rückführbare Informationen mit SI-Einheiten ein, die von metrologischen Instituten definiert werden (Dichten, Abstände, Wirkungsquerschnitte). Als Beispiel sei hier die Vorgehensweise bei der Charakterisierung von Germaniumdetektoren für die Gammaspektrometrie für das Softwarepaket ISOCS von Mirion dargestellt [1]. Für einen Detektor wird ein Datensatz erstellt, der die Effizienz im Umkreis um das Detektorsystem angibt. Für eine Anzahl von Punktquellen wird eine Messung mit Sekundärnormalen in Punktquellen- und ausgedehnten Geometrien mit besonders niedriger Unsicherheit durchgeführt und mit den Modellrechnungen zur Validierung verglichen. Für die Sicherstellung der gleichen Effizienz wie bei der Charakterisierung wird der Detektor mit einer Referenzquelle mit einer Halterung vor und nach den Vergleichsmessungen gemessen, und die Werte werden dokumentiert. Bei Übereinstimmung der Messungen hat sich die Detektoreffizienz während der Messungen nicht geändert und kann als gültig angesehen werden. Das Präparat wird im Anschluss an den Nutzer des Detektors gegeben und dient dazu, die Gültigkeit der Charakterisierung bei einer späteren Messung zu zeigen. Der Vorteil dieses Verfahrens besteht darin, dass die Probengeometrie, Dichte und Matrix variabel sind und an die reale Situation angepasst werden können, wobei weiterhin die Rückführbarkeit sichergestellt ist. Hierzu ist in dem Softwarepaket ein Geometrieditor integriert, mit dem auf der Basis von einfachen Geometrieschablonen die reale Geometrie eingegeben und für diese die Effizienz als Funktion der Energie berechnet werden kann. Analog zu diesem Verfahren sind auch andere Messgeräte kalibrierbar.

Neben der universellen Einsetzbarkeit ist es zudem möglich, mit den mathematischen Modellrechnungen Eingangsparameterunsicherheiten und deren Einfluss auf die Gesamtunsicherheit zu modellieren, damit die Analyse der größten Unsicherheitsquellen durchzuführen und so durch deren genauere Bestimmung zu einer Unsicherheitsminimierung beizutragen.

1.2 Qualitätssicherung

Nach der Inbetriebnahme und Kalibrierung eines Messgeräts ist für eine weitere Verwendung sicherzustellen, dass sich seine Eigenschaften auch bei realen Messungen nicht ändern. Hierfür ist es möglich, vor jeder Messung eine Kalibrierung durchzuführen oder kontinuierlich Messungen mit einem oder mehreren Standardpräparaten als Qualitätssicherungsmessung durchzuführen, mit denen die korrekte Funktion des Messgeräts nachgewiesen werden kann. Das kann mit einer Punktquelle, die eventuell aus unterschiedlichen Richtungen gemessen wird, oder einem Messobjekt mit ausreichender Aktivität erfolgen. Das Messobjekt kann dabei eine häufig zu messende Geometrie haben. Die Punktquelle sollte mit einer speziellen Halterung versehen sein, mit der die Geometrie einfach und genau reproduziert werden kann. Für die verwendeten Radionuklide sollten folgende Kriterien gelten: Die Halbwertszeit sollte ausreichend lang sein, um über die voraussichtliche Lebensdauer des Messgeräts eine ausreichende Zählrate zu erzeugen. Die Emissionen, also Teilchenarten und Emissionsenergien, sollten für die Überprüfung der

relevanten Detektoreigenschaften geeignet sein. In einigen Fällen ist es sinnvoll, bei den Standardpräparaten Radionuklide einzusetzen, die auch bei der Messaufgabe gemessen werden, da dadurch die Unsicherheit minimiert wird.

Die Häufigkeit der Qualitätssicherungsmessungen ist in einem Qualitätssicherungshandbuch festzulegen und in einem Gerätetagebuch einzubinden. Dieses sollte alle für das Messgerät relevanten Ereignisse enthalten, die Einfluss auf die Ergebnisse haben können, wie Wartungen, Reparaturen, Transporte, Stromausfälle und allgemeine Unterversorgungen mit Betriebsmitteln mit Ort und Zeitpunkt der Ereignisse sowie dem Vorgehen zur Problemlösung (Reparaturbericht des Herstellers). Neben den regelmäßig stattfindenden Qualitätssicherungsmessungen hat nach jedem Ereignis eine solche stattzufinden.

Bei der ersten Messung mit dem Präparat werden Anfangswerte festgesetzt, die bei den Qualitätssicherungsmessungen mit statistischer Sicherheit reproduziert werden müssen. In der Regel gehören zu den zu überprüfenden Werten die Untergrundzählrate und die Zählrate mit Präparat, bei der jedoch eine nuklidspezifische Halbwertszeitkorrektur durchgeführt werden muss. Bei der simultanen Messung von Alpha- und Betastrahlung sollte das Verhältnis der beiden Strahlungsarten analysiert werden, um Fehlinterpretationen zu vermeiden. Bei spektrometrischen Verfahren sind zusätzlich die Energiekalibrierung und die Auflösung des Detektors in verschiedenen Energiebereichen zu überprüfen. Bei Abweichungen von den Anfangswerten sind Maßnahmen zu ergreifen und gegebenenfalls Störungen zu beseitigen. Bei erforderlichen Reparaturen, die zu Änderungen der Effizienz führen, ist die Prozedur beginnend mit der Kalibrierung neu zu beginnen.

1.3 Ringversuche und Laborvergleichsmessungen

Obwohl durch die beschriebene Vorgehensweise bei der Inbetriebnahme und Kalibrierung der Messgeräte die Messergebnisse an realen Proben korrekt sein müssen, ist es sinnvoll, die eigenen Messungen regelmäßig zu überprüfen. Ein Hilfsmittel hierfür ist die Teilnahme an Ringversuchen, die nach der Strahlenschutzverordnung [2] von den Leitstellen des Bundes regelmäßig durchgeführt werden müssen. Eine Teilnahme ist für akkreditierte Labore verpflichtend. Die Leitstellen versenden hier einen Messbehälter mit bekannter Aktivität und die Teilnehmer senden ihre Ergebnisse innerhalb eines vorgegebenen Zeitraums an die Leitstelle, von der eine Analyse durchgeführt und eine Nachbesprechung durchgeführt wird. Bei relevanten Abweichungen von den Referenzwerten wird der Teilnehmer informiert und kann die Erkenntnisse zur Verbesserung der Analytik einsetzen.

Leider gibt es nicht für alle Messaufgaben Leitstellen und manchmal können Leitstellen keine Ringversuche anbieten. In derartigen Fällen kann man jedoch mit anderen Laboren Vergleichsmessungen an einer Quelle oder an gleichen Proben durchführen. Bei der Verwendung einer Quelle ist die Aktivität bekannt und kann so als Referenzwert verwendet werden, wogegen bei einer Probe nur die Vergleichbarkeit der Ergebnisse betrachtet werden kann, auch wenn bei Übereinstimmung der Ergebnisse von einem Mittelwert nahe am wahren Wert auszugehen ist. Parallel kann eine Analyse mit einem alternativen Verfahren validiert werden. Für InSitu-Messanforderungen, also Flächenmessungen mit homogener Verteilung, oder Vor-Ort-Messungen von Objekten oder Flächen werden hier von der Universität Regensburg [3] an einer speziell konstruierten Wand und von Mirion im Rahmen von Workshops Vergleichsmessungen mit eigenem Messequipment angeboten. Zudem gab es in der Vergangenheit internationale Messvergleiche (ISIGAMMA) [4].

2 Qualitätssicherungsbeispiele von Mirion

Aufgrund der Kenntnisse über die Messtechnik und die relevanten Eigenschaften der Detektoren wurden von Mirion Varianten der Qualitätssicherung eingeführt und verbessert, die auf die spezifischen Erfordernisse angepasst sind. Als Beispiele sollen hier die Qualitätssicherung bei der Gammaskpektrometrie mit charakterisierten Germaniumdetektoren und bei großen Freimessanlagen als Beispiele dargestellt werden.

2.1 Gammaskpektrometrie mit ISOCS (InSituObjectCountingSoftware)

In der Gammaskpektrometrie werden international gültige Spezifikationen verwendet, mit denen Eigenschaften von Germaniumdetektoren festgelegt werden. Als relevante Spezifikationen wurden in der Vergangenheit die relative Effizienz (Zählrate einer Linie von ^{60}Co bei 1.332 keV gemessen in 25 cm Abstand von der Endkappe im Vergleich zur gleichen Messanordnung bei einem 3x3" NaI(Tl)-Detektor), die Auflösung bei 122 keV und bei 1.332 keV und das Peak/Compton-Verhältnis. Zur Zeit der Festlegung dieser Spezifikationen waren sie ausreichend. Durch die Entwicklung der Kristallfertigung sind jedoch andere Bauformen dazu gekommen, und die Detektoren sollten eher nach der Erfüllung der Messaufgabe in einer vorgegebenen Zeit und zur Auswahl der zugehörigen Komponenten ausgewählt werden. Zudem resultierte aus der Verbesserung der Kristalleigenschaften die Möglichkeit, Effizienzfunktionen mit hoher Genauigkeit durch mathematische Modellrechnungen zu ermitteln. Bei diesem Einsatz ist jedoch aufgrund möglicher Änderungen der Kristalleigenschaften und damit verbundenen Effizienzänderungen eine spezielle Qualitätssicherung erforderlich. Wie schon beschrieben, wird jeder charakterisierte Detektor mit einem Standardpräparat ausgeliefert, das während der Charakterisierung mehrfach gemessen wurde. Änderungen der Kristalleigenschaften können so schnell erkannt werden. Man muss jedoch auch hier Unsicherheiten bei der Messung in Betracht ziehen. Hierzu zählen der Peakfit der betrachteten Linien, ein sich ändernder Untergrund und eine Positionierungsunauigkeit. Bei der Auswahl der verwendeten Radionuklide fiel die Wahl auf Eu-155 zur Abdeckung des niedrigen Energiebereichs, wobei die Energien von 42,8 keV, 60 keV, 86,5 keV und 105,3 keV verwendet werden und für den höheren Energiebereich das Radionuklid ^{22}Na mit der Annihilationslinie bei 511 keV und der Linie bei 1.274 keV. Das Präparat ist mit einem Halter versehen, der einen Abstand zum Detektor sicherstellt, bei dem die Unsicherheit der Positionierung vernachlässigbar ist und das so angebracht werden kann, dass die Frontfläche und die Seitenfläche sinnvoll überprüft werden. Da die Halbwertszeiten nicht sehr lang sind, ist für den Vergleich der Zählraten eine Korrektur erforderlich. Üblicherweise ist dann über die Lebensdauer des Detektors die Messzeit zu erhöhen, um eine ausreichende Statistik für die einzelnen Linien zu erreichen. Es sollten dann die Auflösungswerte überprüft und die zerfallskorrigierten Zählraten verglichen werden. Bei Abweichungen außerhalb der Statistik sind Maßnahmen zu ergreifen. Bei Verschlechterungen der Auflösungen wären es die Überprüfung der Pole-Zero-Einstellung und des Kristallleckstroms oder auch der Funktion der Elektronik. Sollte hier keine Verbesserung erreichbar sein, wäre der Hersteller zu kontaktieren und eine Wartung oder Reparatur zu veranlassen. Im Fall von resultierenden Verlusten in den Zählrate können die Ergebnisse der Präparatmessung mit ausreichender Statistik zur Verwendung eines Korrekturverfahrens durch den Hersteller eingesetzt werden.

Die Verwendung des Standardpräparats dient somit nicht nur der Sicherstellung der Gültigkeit der Charakterisierung und der Einsetzbarkeit des Detektorsystems, sondern auch zu einfachen Korrekturmöglichkeiten, auf deren Basis eine neue gültige Charakterisierung eingeführt wird.

2.2 Qualitätssicherung bei Freimessanlagen

Große Freimessanlagen dienen dazu, für große Gebinde nach Voruntersuchungen, in denen Nuklidverhältnisse ermittelt werden (Nuklidvektoren) und eine möglichst gleichmäßige Verteilung der Radionuklide im Gebinde hergestellt wird (Homogenitätskriterium), die Entscheidungsmessung zur Freigabe durchzuführen. Diese Systeme arbeiten mit mehreren, eventuell unterschiedlich großen Plastikdetektoren in nahezu 4π -Geometrie. In den Plastikdetektoren findet der Nachweis der Gammastrahlung statt, wobei aufgrund des Rauschverhaltens der Detektoren und Elektronik eine Energieschwelle gesetzt wird, oberhalb der ein Signal erst gezählt wird. Die Signale der Plastikdetektoren werden von Photomultipliern aufgenommen und über einen Verstärker weiterverarbeitet. Ist das Signal größer als die Schwelle, wird es gezählt und ansonsten verworfen. Demnach haben sowohl die Verstärkung als auch die angelegte Hochspannung Einfluss auf die Messergebnisse.

Lange Zeit ist man davon ausgegangen, dass äußere Temperaturänderungen durch gegenseitige Abhängigkeiten bei der Lichtausbeute und der Verstärkung durch die Elektronik dazu führen, dass das Spektrum konstant ist. Detaillierte Studien haben jedoch ergeben, dass hier Abweichungen zu erwarten sind und dass auch Einflussgrößen bei der Überprüfung der Effizienz der einzelnen Detektoren und der Summe der Zählraten eine Rolle spielen.

In der Vergangenheit hat man bei der Qualitätssicherung einen Strahler auf eine Plattform gelegt und diese in definierter Höhe im Zentrum der Messkammer aufgehängt. Es zeigte sich jedoch, dass sowohl die Form und Orientierung des Strahlers als auch die Plattform mit zwei Streben, die als geringe Absorber wirkten, Einfluss auf die Zählraten der einzelnen Detektoren und über die gegebenenfalls unterschiedlich großen Detektoren und die Orientierung der Plattform auch auf die Summe der Zählimpulse hatte. Daher wurde ein spezieller Probenhalter entwickelt, in den ein definiertes Standardpräparat immer gleich eingelegt wird und die Positionierung mit Absorbern immer gleich erfolgt. Somit wird eine gleichbleibende Qualitätssicherung ermöglicht, die wirkliche Änderungen an den Systemeigenschaften nachweisen kann.

Somit verbleiben als Probleme die Verstärkungseffekte und der Umgebungsuntergrund. Der zweitgenannte Effekt kann durch Untergrundmessungen vor der Messung selbst minimiert werden. Für die Verstärkungseffekte wurde von einem rein zählenden System oberhalb einer Schwelle auf eine Aufnahme eines Spektrums umgestellt, so dass über die Form des Spektrums Änderungen kompensiert werden können, also entweder die Verstärkung nachgeregelt oder die Schwelle neu gesetzt wird. Dadurch ist es möglich, die Unsicherheitsbilanz deutlich zu verbessern.

3 Ringversuche und Vergleichsmessungen

In der Strahlenschutzverordnung [2] sind die Leitstellen des Bundes festgelegt, deren Aufgabe unter anderem die Durchführung von Vergleichsmessungen (Ringversuchen) ist. Das Ziel der Vergleichsmessungen besteht darin, den Laboren die Möglichkeit zum Test der eigenen Verfahren der Aktivitätsbestimmung zu geben und zu zeigen, dass die ermittelten Ergebnisse korrekt sind und die Laborarbeit den Ansprüchen der Akkreditierung genügt. Leider gibt es nicht für alle Messanwendungen Leitstellen und Ringversuche. Ein Beispiel dafür sind InSitu-Messanforderungen. Für diese fanden jedoch in der Vergangenheit einige internationale Messvergleiche mit dem Beispiel ISIGAMMA 2005 [4] und Messvergleiche an einer Referenzwand der Universität Regensburg [3] statt. Ein weiterer Ansatz wurde von Canberra/Mirion als Hersteller von Detektoren und dem Softwarepaket ISOCS [1] aufgegriffen. Hier wurden bisher 14 Workshops durchgeführt. In diesen Workshops wurden Vorträge zum Thema InSitu-Objekt-Messungen gehalten, in denen die Technik und Anwendungen erläutert wurden, an einem oder auch zwei Tagen in

Gruppen Messungen an teilweise komplexen Geometrien mit eigenen Messgeräten durchgeführt und am dritten Tag Erläuterungen zur Optimierung der Messanordnungen unter Ausnutzung der Rotationssymmetrie und der nachfolgenden Auswertung mit verschiedenen Geometrieschablonen gegeben. Dazu konnten Quellen von Teilnehmern und Kooperationspartnern verwendet werden, mit denen die komplexen Messaufgaben generiert wurden. Bei einigen dieser Messvergleiche wurde zudem die Anwendbarkeit von InSitu-Messgeräten für die Unterstützung in der Inkorporationsmessung im Intensivfall erfolgreich getestet. Hierzu wurden Phantome mit speziellen Quellen präpariert, die eine homogene Aktivitätsverteilung simulierten. Wie bei Ringversuchen konnte man die Verbesserung der Messergebnisse durch mehrmalige Teilnahmen feststellen und auch eine beschleunigte Bearbeitung der Messaufgaben erkennen. Daraus kann man schließen, dass zu einer guten Qualitätssicherung eine gute Ausbildung der Mitarbeiter gehört, die durch derartige Trainings und Workshops in angenehmer Umgebung mit Kommunikation und Netzwerkbildung zwischen den Teilnehmern deutlich verbessert wird. Zudem kann die erfolgreiche Teilnahme durch die Dokumentation der Ergebnisse der Gruppen für die Akkreditierung für derartige Messaufgaben herangezogen werden.

4 Zusammenfassung

Wie hier gezeigt werden sollte, besteht die Qualitätssicherung aus verschiedenen Aspekten. Im ersten Moment könnte man vermuten, es ginge nur um eine Bestätigung von bestimmten Eigenschaften von Messgeräten und die Dokumentation. Bei einer genaueren Betrachtung gehört jedoch auch eine detaillierte Unsicherheitsbetrachtung mit Analyse von Fehler- und Unsicherheitsquellen dazu, die mit steigendem Ausbildungsstand der Mitarbeiter immer leichter wird. Speziell der Austausch mit anderen Laboren und Herstellern führt zu Kenntniserwerb und damit zu verbesserten Ergebnissen und effizienterem Arbeiten. Als wichtiger Aspekt kann die Einbindung der Hersteller betrachtet werden, wodurch Verbesserungen der von diesen vorgeschlagenen Prozeduren zur Minimierung von Unsicherheitsbilanzierungen erreicht werden können

5 Literatur

- [1] VALIDATION OF IN SITU OBJECT COUNTING SYSTEM (ISOCS) MATHEMATICAL EFFICIENCY CALIBRATION SOFTWARE
R. Venkataraman, F. Bronson, V. Atrashkevich, B.M. Young, and M. Field Canberra Industries, Meriden, CT., USA, Nuclear Instruments and Methods in Physics Research (A), 422 (1999), pp. 450-454.
- [2] Strahlenschutzverordnung vom 29. November 2018 (BGBl. I S. 2034, 2036; 2021 I S. 5261).
- [3] NEUE MÖGLICHKEITEN ZUR KALIBRIERUNG KOLLIMIERTER IN-SITU-GAMMA-SPEKTROMETER
R. Schupfner¹), G. Haas¹), K. Buß²) 1) Zentrales Radionuklidlaboratorium – URA, Universität Regensburg, Deutschland 2) Bayerisches Landesamt für Umwelt, Dienststelle Kulmbach, Deutschland In Tagungsband Fachverband für Strahlenschutz 42. Jahrestagung 2010 Seite 618-622
ISSN 1013-4506
- [4] ISIGAMMA 2005 Internationaler Messvergleich zur Bestimmung der Radioaktivität im Boden mittels In-Situ-Gammaspektrometrie 9. bis 12. Mai 2005, C. Brummer, C. Strobl, urn:nbn:de:0221-2015111813780

W023: Qualitätsmanagement im Laboralltag – hohe Anforderungen bei knappen Ressourcen

Quality management in everyday laboratory work - high demands with limited resources

J. Bieringer, S. Schmid

Bundesamt für Strahlenschutz (BfS), 79098 Freiburg, Deutschland

Zusammenfassung

Qualitätsmanagement ist ein wichtiger Bestandteil im Laboralltag. Die Erzeugung und Bereitstellung von qualitätsgesicherten Messergebnissen dient als Basis für die Beurteilung der radiologischen Situation sowohl in der Routine als auch im Ereignisfall. Es werden anhand von Beispielen aus den akkreditierten Spurenanalyse-Laboratorien des BfS die An- und Herausforderungen aufgezeigt, die bei der notwendigen Qualitätssicherung im Labor bestehen und die oft ohne zusätzliche Personalressourcen in den Laboralltag integriert werden müssen. Einige Möglichkeiten zur Umsetzung dieser Anforderungen z. B. durch teilautomatisierte Prozesse und konsequente Planung werden vorgestellt.

Summary

Quality management is an important part of everyday laboratory work. The generation and provision of quality-assured measurement results is the basis for assessing the radiological situation both during routine operation and in the event of an incident. Examples from the accredited trace analysis laboratories of the BfS are used to present the requirements and challenges that exist for the necessary quality assurance. These often have to be integrated into everyday laboratory routine without additional personnel resources. Some possibilities for realising these requirements, e. g. through partially automated processes and consistent planning are presented.

1 Einleitung

Die Erzeugung und Bereitstellung von qualitätsgesicherten Messergebnissen dient als Basis für die Beurteilung der radiologischen Situation sowohl in der Routine als auch im Ereignisfall. Die Einführung eines Qualitätsmanagementsystems (QMS) leistet hierzu einen wichtigen Beitrag, erfordert jedoch einen entsprechenden Zeit- und Personalaufwand. Ist ein Labor für seine Verfahren nach der DIN EN ISO/IEC 17025:2108 [1] akkreditiert, kommen weitere Anforderungen hinzu, die Zeit und Personal binden.

Das BfS betreibt drei Labore im Bereich der Spurenanalyse, zwei davon verfügen über akkreditierte Verfahren nach DIN EN/ISO IEC 17025:2018 [1]. Im Edelgaslabor sind die Verfahren zur Bestimmung der Aktivitätskonzentrationen von Kr-85 sowie den Xenon-Isotopen Xe-131m, Xe-133, Xe-133m und Xe-135 akkreditiert, im Gammaskopmetrielabor die Verfahren zur Bestimmung der Aktivitäten und Aktivitätskonzentrationen längerlebiger künstlicher Radionuklide auf Luftstaubfiltern. Im Radiochemielabor werden aktuell Analysen an Luftstaubfiltern gemäß AVV IMIS zu Bestimmung der Aktivitätskonzentrationen von Sr-89/90, Uran und Plutonium durchgeführt.

2 Aufgaben im Laboralltag

In der Routine steht im Laboralltag die Bearbeitung der eintreffenden Proben im Vordergrund. Dazu gehören folgende Aufgaben bzw. Arbeitsschritte:

- Probenmanagement
- Probenaufbereitung
- Messung/Analyse/Auswertung
- Plausibilisierung der Ergebnisse
- Erstellung von Prüfberichten, Übermittlung der Ergebnisse an IMIS
- Archivierung bzw. Entsorgung des Probenmaterials

Jeder dieser Arbeitsschritte erfordert zusätzliche Maßnahmen/Randbedingungen, um einen reibungslosen Ablauf und die Erzeugung qualitätsgesicherter Ergebnisse zu gewährleisten.

Neben der Erstellung und Pflege von Verfahrens- und Arbeitsanweisungen und SOPs sind qualitätssichernde Maßnahmen an Labor- und Messgeräten in den Laboralltag zu integrieren. Entsprechende Überprüfungen müssen regelmäßig – mit möglichst geringem Aufwand – erfolgen und sind in geeigneter Form, z. B. anhand von Regelkarten, zu dokumentieren. Dies kann durch automatisierte Erfassung der Messergebnisse unterstützt werden. Automatische Erinnerungen stellen sicher, dass vorgesehene Prüffristen eingehalten werden. Automatisierte Auswertungen in Bezug auf Grenzwerte sowie Trendanalysen stellen sicher, dass Defekte oder schleichende Verschlechterungen zuverlässig und rechtzeitig erkannt werden.

Die Dokumentation des Probendurchlaufs in der Routine sowie von Auffälligkeiten ist im Sinne der Nachvollziehbarkeit ebenfalls sicherzustellen.

Weiterhin sind externe Methodenüberprüfungen in Form von Ringversuchen oder Laborvergleichsuntersuchungen ein wichtiger Bestandteil der Qualitätssicherung. Diese sind ebenfalls, meist als zusätzliche Proben von besonderer Wichtigkeit, in den Laboralltag zu integrieren.

Werden Verfahren/Methoden neu- oder weiterentwickelt, sind diese entsprechend zu validieren und der Prozess zu dokumentieren. Kein Messergebnis ohne Unsicherheit: die Berechnung der Gesamtmessunsicherheit des Ergebnisses nach aktuellem Regelwerk kann – je nach Verfahren und Auswertesoftware – eine weitere personal- und zeitintensive Herausforderung darstellen.

Zusätzlich ist eine regelmäßige Wartung (ggf. im Rahmen von Wartungsverträgen) und Pflege von Geräten durchzuführen sowie sicherzustellen, dass jederzeit Verbrauchsmaterialien in der erforderlichen Menge und Qualität vorhanden sind. Neue Verbrauchsmaterialien sind einer Eingangsprüfung zu unterziehen, Abfälle sind der Entsorgung zuzuleiten. Im Sinne einer Risikominimierung sind mögliche Alternativen bei eventuellen Lieferengpässen zu ermitteln. Die Lieferantenbewertung, die nach der DIN EN ISO/IEC 17025:2018 gefordert ist, ist ein Instrument, das bei der Auswahl der Lieferanten unterstützen soll, jedoch auch entsprechende Pflege benötigt.

Die wichtigste Ressource ist das Personal, das entsprechend vorhanden und ausgebildet sein muss. Neben Fortbildungen und internen Maßnahmen zum Kompetenzerhalt ist im akkreditierten Umfeld eine regelmäßige Überprüfung der Kompetenz durch Audits und interne Überprüfungen erforderlich.

3 Besondere Herausforderungen

Mehr Aufwand entsteht, wenn sogenannte „Außer-Kontrollsituationen“ auftreten, die eine Abweichung vom Routineablauf erfordern. Dies kann z. B. ein unerwarteter Personalausfall sein. Bereits im Vorfeld müssen Vertreterregelungen mit entsprechend qualifiziertem Personal etabliert werden.

Auch Situationen mit erhöhten Probenaufkommen (z. B. Intensivbetrieb oder Ringversuche) stellen eine besondere Situation dar. Wünschenswert wäre es, wenn in diesen Fällen auf zusätzliches, geschultes Personal zurückgegriffen werden könnte. Hierbei ist es – gerade im akkreditierten Umfeld – unerlässlich, entsprechende Schulungen zu planen und nachzuverfolgen sowie die jeweiligen Kompetenzen zu definieren und zu überprüfen.

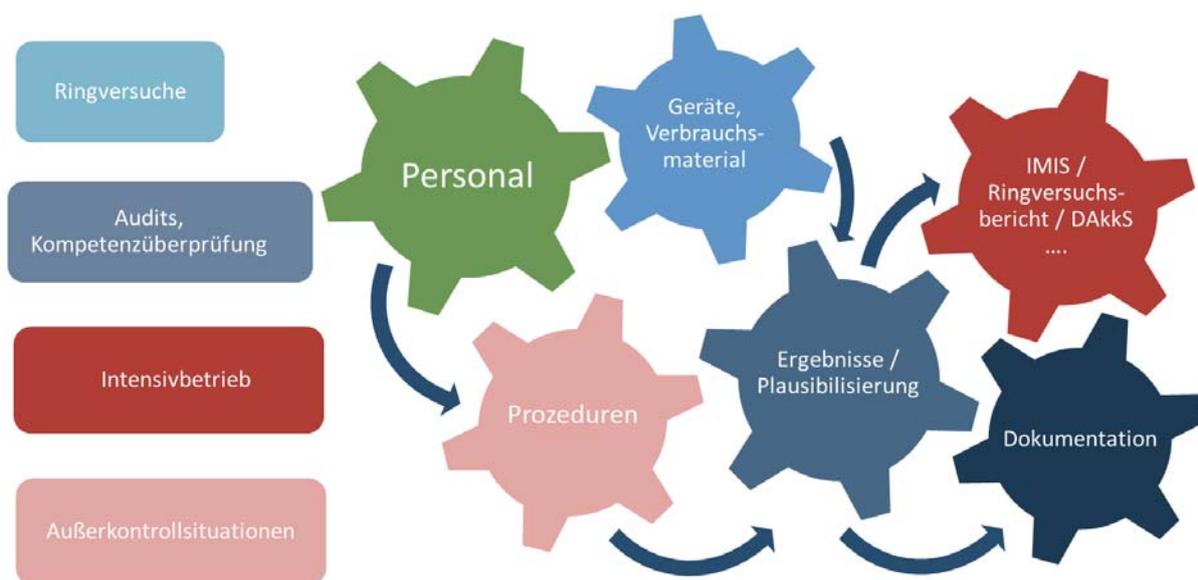


Abb. 1: Herausforderungen im Laboralltag

Interne und externe Audits sowie die erforderlichen Kompetenzüberprüfungen stellen eine Herausforderung dar. Interne Audits sowie externe Begutachtungen durch die DAkkS sind vorzubereiten, durchzuführen und nachzubereiten. Darüber hinaus besteht im akkreditierten Bereich ein erhöhter Aufwand an die Dokumentation, z. B. bei der Erfassung und Nachverfolgung von Abweichungen, Maßnahmen und Risiko-Chancen-Betrachtungen.

4 Daten- und Informationsmanagement

Im Laboralltag fallen umfangreiche Informationen und Daten in unterschiedlicher Form und Menge an. Die Strukturierung, Ablage und Sicherstellung der Nutzbarkeit dieser Information über einen längeren Zeitraum ist notwendig, allerdings u. a. durch historisch gewachsene Vorgehensweisen, nicht immer einfach umsetzbar. Verbesserungs- und Optimierungsmöglichkeiten gibt es an verschiedenen Stellen; diese müssen jedoch auf den Einzelfall zugeschnitten und umgesetzt werden.

4.1 Erfassung von Informationen und Daten

Zu diesen Informationen gehören z. B. Probennahmeprotokolle, Probenlaufzettel, aber auch die Ergebnisse der Analysen. Die Erfahrung hat gezeigt, dass hier eine weitestgehende Vereinheitli-

chung von entsprechenden Vorlagen in Form und Inhalt hilfreich ist, um die Informationen schneller zu erfassen und zuordnen zu können. Die Verwendung von Barcodes auf Proben(behältern), Laufzetteln und Etiketten vereinfacht die Zuordnung der Informationen zu der jeweiligen Probe.

Die Messergebnisse liegen oft in unterschiedlichen Dateiformaten, aber auch mit unterschiedlicher Informationstiefe vor. Oft sind die Speicherorte verteilt, die Struktur der Ablage historisch gewachsen und daher sehr heterogen, was das Auffinden von Daten, Metadaten und Probeninformation erschwert.

4.2 Dokumentation

Die Dokumentation beinhaltet nicht nur Verfahrens- und Arbeitsanweisungen und SOPs. Sie umfasst auch die Protokollierung des Laborablaufs mit Sichtbarkeit des aktuellen Bearbeitungsstandes, Auffälligkeiten und ggf. getroffene Maßnahmen, und die Ergebnisse selbst. Es hat sich als hilfreich erwiesen, zu Auffälligkeiten und ggf. durchgeführten Korrekturmaßnahmen eine Fotodokumentation zu erstellen, die als zusätzliches Informationsmaterial im Wiederholungsfall genutzt werden kann.

4.3 Plausibilisierung und Aufbereitung von Daten

Die Plausibilisierung von Messergebnissen erfolgt i. d. R. in einem mehrstufigen Prozess. Zunächst werden Ergebnisse der einzelnen Verfahren an einer Probe plausibilisiert. In einem zweiten Schritt erfolgt der Vergleich mit anderen Messergebnissen oder zeitlichen Verläufen. Plausibilisierte Daten werden weiterverarbeitet, z. B. an IMIS übergeben, in einen Prüfbericht übernommen oder für andere Zwecke zur weiteren Verwendung abgelegt.

Eine weitere Aufbereitung der Daten für Berichte, Veröffentlichungen usw. kann sehr herausfordernd sein, wenn die Daten an verschiedenen Stellen in unterschiedlicher Informationstiefe und Form abgelegt sind. Hier bietet eine zentrale Datenhaltung der Mess- und Probandaten sowie der relevanten Metadaten (z. B. letzte Prüfung des Messgerätes, Regelkarten...) das größte Optimierungspotenzial.

4.4 Nutzung eines LaborInformations- und ManagementSystems (LIMS)

Bei vielen der genannten Thematiken im Daten- und Informationsmanagement eines Labors lassen sich grundsätzlich mit der Nutzung eines LIMS Erleichterungen erzielen.

Die zentrale Datenhaltung erleichtert den Zugriff und die Gesamtsicht auf die verfügbaren Daten. Darüber hinaus werden Mehrfacheingaben von (Proben)Informationen überflüssig, die automatisierte Übernahme der Daten von Messgeräten oder Ergebnisdateien vermeidet Fehleingaben. Der jeweilige Bearbeitungsstand einer Probe ist sichtbar sowie der Status der Messgeräte. Daten können zielgerichtet selektiert und aufbereitet werden, Prüfberichte können bereits aus einem LIMS heraus generiert werden. Die Nutzungsmöglichkeiten sind vielfältig und vom jeweiligen System und Bedürfnissen abhängig.

Aber: die Einführung und Nutzung eines LIMS bindet Personalressourcen. Stammdaten und Methoden müssen gepflegt werden, nach Software Updates sind Überprüfungen zur Qualitätssicherung erforderlich. Änderungen z. B. in der Messsoftware können Anpassungen im LIMS nach sich ziehen. Die Anwender*innen müssen geschult und eingearbeitet werden. Die Akzeptanz der Anwender*innen im Labor und bei der weiteren Verarbeitung der Daten ist nur zu erreichen, wenn das LIMS auf die jeweiligen individuellen Bedürfnisse angepasst ist und die IT eine flüssige Nutzung ermöglicht.

5 Schlussfolgerungen

Knapper werdende Personalressourcen machen eine Optimierung der Laborabläufe und der damit verbundenen Datenhaltung und Dokumentation erforderlich. Mögliche Ansatzpunkte sind u. a. die Vereinheitlichung von Dokumentvorlagen und der erfassten Informationen in Zusammenhang mit den Messergebnissen sowie die Teilautomatisierung von Datenerfassung und -auswertung. Kernpunkt ist eine zentrale Datenhaltung, die z. B. in Form eines LIMS umgesetzt werden kann. Allerdings benötigt sowohl die Einführung als auch die Pflege eines solchen Systems entsprechende Personalkapazitäten. Eine Verbesserung stellt sich nur dann ein, wenn das System intuitiv und schnell zu bedienen ist und vom Personal akzeptiert wird.

6 Danksagung

Der Laboralltag mit seinen Herausforderungen wird auch in Zeiten knapper Personalressourcen von den Kolleg*innen des Fachgebietes Atmosphärische Radioaktivität und Spurenanalyse im BfS gemeistert; vielen Dank dafür.

7 Literatur

- [1] DIN EN ISO/IEC 17025:2018-03, Allgemeine Anforderungen an die Kompetenz von Prüf- und Kalibrierlaboratorien (ISO/IEC 17025:2017); Deutsche und Englische Fassung EN ISO/IEC 17025:2017

Workshops Block C

Workshop C1: Qualitätssicherung 2

Dr. A. Röttger¹, Dr. F. Ober²

¹Physikalisch-Technische Bundesanstalt, Braunschweig

²Max Rubner-Institut, Kiel

Im Workshop C1 „Qualitätssicherung 2“ sorgten zwei Impulsvorträge, je einer zu den Themen zur Organisation im Labor und einer zur Qualitätssicherung im Rahmen der Messtechnik für intensive Diskussionen und einen produktiven Erfahrungsaustausch.

Die Darstellung der Bedarfe bei der Qualitätssicherung leitete Frau Walker vom Bundesamt für Strahlenschutz (BfS) mit einem Impulsvortrag zu dem Thema „Spezielle Analyseverfahren – eine Herausforderung für Akkreditierungsstelle und Akkreditierte“ ein. Dieser Beitrag ergänzte den Impulsvortrag von Frau Bieringer aus dem ersten Workshop zur Qualitätssicherung um den operativen Umgang mit speziellen Analyseverfahren, die bei der DAkkS nicht alltäglich sind. Sie ging dabei insbesondere auf die Herausforderungen bei der Gerätebeschaffung und -wartung inkl. entsprechender Beschreibungen und Dokumentation, der Verfügbarkeit von geeigneten Referenzmaterialien und Eignungsprüfungen, den Anforderungen an Lieferanten sowie Wartungsfirmen und die Kundenbewertung ein. Die Schlussfolgerung aus der Darstellung des Vortrags und der Diskussion des Publikums war die Erkenntnis, dass das Qualitätsmanagement als Chance für das Labor wahrgenommen werden sollte und dass das qualifizierte Personal, insbesondere in kleinen Laboratorien, dafür die wichtigste Ressource darstellt. Dabei wurde insbesondere die oftmals als zu aufwendig kritisierte Dokumentationspflicht als wichtiges Instrument hervorgehoben, um Prozesse dauerhaft nachvollziehbar abbilden zu können. Durch klare und maßvolle Vorgaben zum Dokumentationsumfang und deren konsequente (gelebte) Umsetzung im Laboralltag können Fehler minimiert und zudem Wissen gesichert werden. Die Erfahrungen haben gezeigt, dass dies insbesondere in kleinen Laboren z. B. bei Personalwechsel unerlässlich ist. Im Auditorium wurde nachfolgend lebhaft über messbare QM-Ziele (SMART – Spezifisch, Messbar, Attraktiv, Realistisch und Terminiert) diskutiert. Dabei wurden aus verschiedenen Laboren Beispiele eingebracht. So wurde z. B. die Anzahl an Proben pro Jahr, die Teilnahmen an Vergleichsanalysen bzw. Eignungsprüfungen und die Anzahl an durchgeführten Fortbildungen als mögliche quantifizierbare Ziele vorgestellt sowie die Erfahrungen bei der Akzeptanz dieser Ziele durch die DAkkS diskutiert.

Den zweiten Teil des Workshops eröffnete Herr Schöllnberger vom BfS mit einem Beitrag zu den Herausforderungen bei den Berechnungsverfahren zur Ermittlung der Güte von Probenentnahmeeinrichtungen bei kerntechnischen Anlagen. Dabei beschrieb er ausführlich die wissenschaftlichen Zusammenhänge bei der vollständigen Ableitung des Gesamtverlustfaktors für Aktivität (GVA) für typische Probennahmesonden in Teilluftströmungen der Fortluft. Anschließend erläuterte er die praktische Umsetzung des Modells für die Auswertung anhand der Ergebnisse eines Endlagers und zweier Kernkraftwerke.

Die anschließende Diskussion befasste sich im Schwerpunkt mit Nachfragen zu dem in Ansatz gebrachten Berechnungsmodell sowie dessen Gültigkeit im jeweiligen Anwendungsfall. Dabei wurde deutlich, dass die komplette Analyse der Eingangsgrößen und die konsequente Überprüfung des jeweiligen Modells von enormer Bedeutung sind, da die Aktivitätsableitungen sonst modellbedingt falsch abgeschätzt werden. Hieraus entwickelte sich der Hinweis, dass die Bestimmung des kompletten Unsicherheitsbudgets von elementarer Bedeutung ist.

W022: Spezielle Analyseverfahren – eine Herausforderung für Akkreditierungsstelle und Akkreditierte

Special analytical methods - a challenge for the accreditation body and accredited laboratories

S. Schmid, Dr. S. Brander, S. Walker

BfS – Bundesamt für Strahlenschutz, Freiburg, Deutschland

Zusammenfassung

Seit 2014 sind in den Laboren des Fachgebiets „Atmosphärische Radioaktivität und Spurenanalyse“ des BfS die Verfahren zur Bestimmung der Aktivitätskonzentration von Kr-85 und Radioxenon (Xe-133) in Luftproben sowie die Bestimmung der Aktivitäten bzw. Aktivitätskonzentrationen an Luftstaub gebundener, längerlebiger Radionuklide auf Großflächenfiltern nach der DIN EN ISO/IEC 17025:2018 akkreditiert. Ein weiteres Verfahren zur nuklidspezifischen Xenon-Analyse konnte im März 2022 in den Akkreditierungsumfang aufgenommen werden. Insbesondere die Verfahren zur Edelgasanalytik beruhen teilweise auf Eigenentwicklungen und sind nicht in Normen beschrieben.

Neben den üblichen Anforderungen an die Qualitätssicherung in einem akkreditierten Labor werden hier auftretende Herausforderungen sowohl an das Personal des Labors aber auch an die auditierende Person selbst dargestellt, die sich aus der Eigenentwicklung von Verfahren ergeben. Dies betrifft insbesondere die Gerätebeschaffung und -wartung inkl. entsprechender Beschreibungen und Dokumentation, die Verfügbarkeit von geeigneten Referenzmaterialien und Ringversuchen, die Anforderungen an Lieferanten sowie Wartungsfirmen und die Kundenbewertung.

Für diese Hürden bei der Akkreditierung spezieller Verfahren werden Lösungsansätze vorgestellt, die es ermöglichen, die gebotenen Chancen wahrzunehmen.

Summary

Since 2014, the procedures for the determination of the activity concentration of Kr-85 and radioxenon (Xe-133) in air samples as well as the determination of the activities or activity concentrations of longer-lived radionuclides bound to air dust on large-area filters have been accredited according to DIN EN ISO/IEC 17025:2018 in the laboratories of the BfS department “Atmospheric Radioactivity and Trace Analysis”. A further method for nuclide-specific xenon analysis could be added to the scope of the accreditation in March 2022. In particular the procedures for noble gas analysis are partly based on in-house developments and are not described in technical standards.

In addition to the usual requirements for quality assurance in an accredited laboratory, we present challenges that arise both for personnel of the laboratory but also for the auditor; some of these are due to analytical procedures developed in-house. This concerns in particular the equipment procurement and maintenance incl. the corresponding manuals and documentation, the availability of suitable reference materials and inter-laboratory comparisons, the requirements for suppliers as well as maintenance companies and customer evaluation.

We present approaches to solutions for these challenges in the accreditation of special proce-

dures that allow to take advantage of the opportunities offered.

1 Bfs in Freiburg – zwei akkreditierte Labore nach DIN ISO 17025

Das Bundesamt für Strahlenschutz (<http://www.bfs.de>) betreibt am Standort Freiburg ein Radiochemielabor zur Analyse von Sr-, U-, Am- und Pu-Isotopen sowie im Auftrag der Organisation zur Überwachung des Kernwaffenteststoppabkommens (CTBTO) eine Radionuklid-Messstation (<https://www.ctbto.org>) auf dem Freiburger Hausberg Schauinsland zur Detektion von Radionuklidpartikeln und Xenonisotopen. Zusätzlich werden in zwei weiteren Laboren seit 2014 nach DIN EN ISO/IEC 17025:2018 akkreditierte Analysen durchgeführt: Kr-85 und Xe-Isotope im Edelgaslabor und längerlebige Gammastrahler, wie z. B. Cs-137, K-40, Pb-210 und Na-22 im Gamma-labor.

Tabelle 1: Übersicht BfS-Labore in Freiburg und CTBTO-Messstation auf dem Schauinsland

Labor/Messstation		Radiochemielabor	Gammalabor	Edelgaslabor	Schauinsland
Matrix	Luft/ Aerosole	x	x		x
	Gasförmiges Jod		x		x
	Luft/ Edelgase			x	x
Nuklide		⁸⁹ Sr, ⁹⁰ Sr, ²³⁴ U, ²³⁵ U, ²³⁸ U, ²³⁸ Pu, ^{239/240} Pu, ²⁴¹ Am	Gammastrahler z.B. ¹³⁷ Cs, ⁴⁰ K, ²¹⁰ Pb, ²² Na	⁸⁵ Kr, ¹³⁵ Xe, ¹³³ Xe, ^{131m} Xe, ^{133m} Xe	¹³⁵ Xe, ¹³³ Xe, ^{131m} Xe, ^{133m} Xe, Gammastrahler
Messtechnik		Low-level α/β counter Alpha Analyst	HP-Ge-Detektoren, DSA 1000	Proportionalzähler SAUNA	SPALAX (Edelgase) RASA (Aerosole)
Nachweisgrenzen (NWG)		⁹⁰ Sr = 0,02 μBq/m ³	¹³⁷ Cs = 0,3 μBq/m ³	⁸⁵ Kr = 10 mBq/m ³ , ¹³³ Xe = 1 mBq/m ³	¹³³ Xe = 0,29 mBq/m ³ , ¹³⁷ Cs = 2,90 μBq/m ³
Qualitätsmanagement			DIN EN ISO/IEC 17025	DIN EN ISO/IEC 17025	Zertifiziert durch CTBTO

2 Herausforderungen für Labore mit speziellen Analyseverfahren

Herausfordernd ist eine Akkreditierung immer, insbesondere, wenn es sich um spezialisierte Analyseverfahren handelt, die nur von wenigen angewendet werden. Diese Herausforderung gilt gleichwohl für das akkreditierte Labor als auch die auditierende Person.

Gemäß der DIN EN ISO/IEC 17025 soll durch eine Akkreditierung das Vertrauen in die Arbeit des Labors gefördert werden. Mit kompetentem Personal und validierten Verfahren sollen die Kundenwünsche erfüllt und das genutzte Equipment über Referenzmaterialien kalibriert werden. In Ringversuchen und Laborvergleichen sollen die Ergebnisse überprüft und die Zufriedenheit von Kunden und Lieferanten ermittelt und bewertet werden. Diese Ergebnisse sowie die Erkenntnisse aus internen und externen Audits führen zu Maßnahmen, die einer ständigen Verbesserung (KVP-Kontinuierliches Verbesserungspotenzial) dienen und Fehler oder Beschwerden am besten gar nicht erst auftreten lassen. Der ganze Prozess soll dabei reibungslos funktionieren und wie Zahnräder (siehe Abb. 1) ineinander greifen.

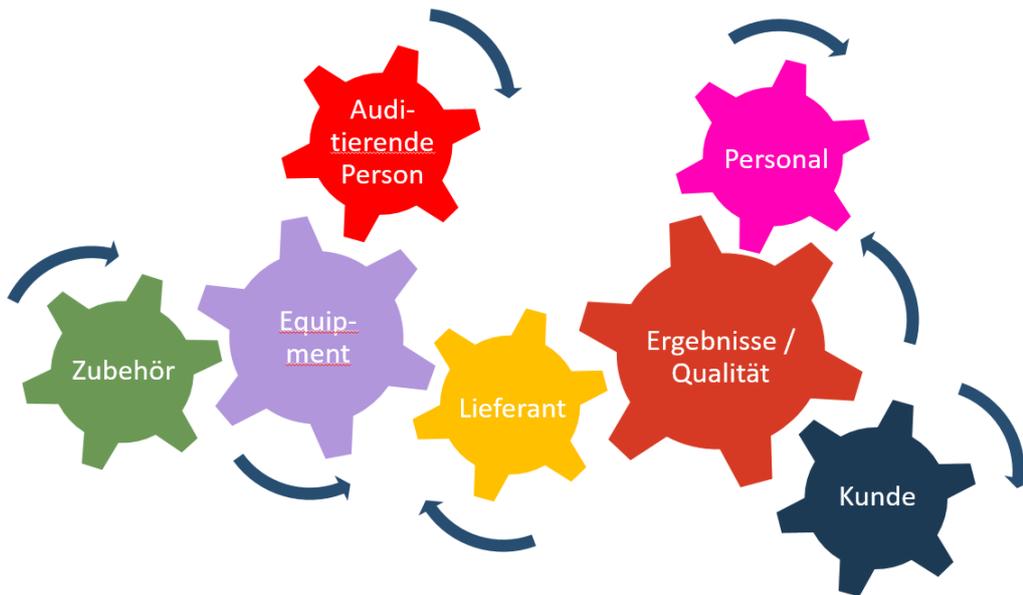


Abb. 1: Betrachtete Prozesse/Akteure im Qualitätsmanagement

2.1 Kunden

Die DIN EN ISO/IEC 17025 stellt als Labor-Qualitätsnorm sicher, dass Ergebnisse glaubwürdig, richtig, vergleichbar und für den Kunden nutzbar sind. Die Kunden sollen Vertrauen in die Arbeit und somit in die Ergebnisse haben, und Labore sollen nachweisen, dass sie kompetent arbeiten und valide Ergebnisse erzielen.

Eine Besonderheit bei beiden akkreditierten BfS-Laboren ist jedoch, dass der Kunde i. d. R. das BMUV und letztlich die Bevölkerung ist. Sie vertrauen zwar auf die Ergebnisse, aber als Kunde treten sie nicht mit den Laboren in Kontakt, wie das bspw. bei Industrieunternehmen oder Großlaboren der Fall ist. Das BMUV füllt prinzipiell keine Kundenzufriedenheitsumfragen aus, und einen Fragebogen an die Bevölkerung zu schicken, ist nicht sinnvoll. Die Zufriedenheit wird deshalb bei den Probennehmern im Rahmen der jährlichen Spurenmessstellentreffen erfragt. Darüber hinaus wird enger Kontakt zu den sonstigen Kooperationsbeteiligten gehalten, für die z. T. quartalsweise Proben zur Qualitätssicherung, aber auch monatlich oder sogar wöchentlich Umweltproben untersucht werden. Die Zufriedenheit der "Kunden" wird dabei durch persönlichen Kontakt stets im Blick gehalten.

2.2 Ergebnisse/Qualität

Ergebnisse müssen richtig, vergleichbar, glaubwürdig und metrologisch rückführbar sein. Dafür sieht die DIN EN ISO/IEC 17025 vor, dass die Verfahren regelmäßig mit geeigneten Referenzmaterialien, Ringversuchen und Laborvergleichsanalysen validiert werden.

Das im Edelgaslabor angewendete, selbst entwickelte Verfahren zur Bestimmung der Aktivitätskonzentration der atmosphärischen Edelgase Kr-85 und Xe-133 ist in der 2002 veröffentlichten Loseblattsammlung FS-78-15-AKU beschrieben. Nur zwei weitere Labore weltweit haben aktuell Messsysteme im Einsatz, die an dieses Verfahren angelehnt sind.

Um die Validität der Krypton-Messung zu verifizieren, werden alle zwei Jahre Vergleichsmessungen mit einem externen Labor durchgeführt. Jährlich werden mit einem Kr-Standard bei der WKP (Wiederkehrende Prüfung) die Messplätze untereinander verglichen. Dabei wird auch dar-

auf geachtet, dass die WKP sowohl von der Technikerin im Labor als auch von der Laborleitung durchgeführt wird, um einen Vergleich untereinander zu haben. Auch die Urlaubsvertretung durch die Laborleitung ermöglicht einen internen Laborvergleich.

Über Referenzmaterialien kann das Verfahren validiert werden. Für Krypton gibt es solche aber nur im Bereich von kBq bis MBq, weshalb sie entsprechend verdünnt werden müssen. Dazu wurde im Zuge der Inbetriebnahme eines neuen Messsystems vom Institut IGU eine Apparatur entwickelt, die aus einer 37 kBq-Probe über Verdünnungen um das 2.000-3.000-fache Messungen im gewünschten Bereich von 10-20 Bq/ml ermöglichen.

Bei der Messung von Radioxenon gestaltet es sich einfacher. Das Edelgaslabor nimmt mit beiden akkreditierten Verfahren, den manuellen Messsystemen mit Proportionalzählrohren und dem automatisierten Xenonlaborsystem „SAUNA II Lab“ mit Beta-Gamma-Koinzidenztechnik an den Laborvergleichsmessungen der CTBTO teil. Zudem werden regelmäßig Proben vom automatischen Xenon-Messsystem SPALAX auf dem Schauinsland mit beiden Messverfahren nachgemessen.

2.3 Personal

Eine weitere Herausforderung bei einer Akkreditierung kann die Kompetenzüberprüfung des Personals nach DIN EN ISO/IEC 17025 darstellen. Laut DIN EN ISO/IEC 17025 soll kompetentes Personal im Labor arbeiten und diese Kompetenz regelmäßig überprüft werden. Das „kompetente Personal“ ist aber so nicht auf dem Arbeitsmarkt zu finden. Deshalb sind alle erforderlichen Kompetenzen beschrieben, und jedes neue Labormitglied erhält einen eigenen Einarbeitungsplan mit verschiedenen Phasen. Das gewährleistet, dass das Personal bei Abschluss der Einarbeitung alle Kompetenzen hat, die dann regelmäßig, z. B. im Rahmen von internen Audits, überprüft werden. Auch die Teilnahme an Konferenzen/Tagungen/Workshops sowohl als teilnehmende als auch vortragende Person und die bereits beschriebenen Vergleichsmessungen der Mitarbeitenden untereinander bei einer WKP, bei den Auswertungen und Urlaubsvertretungen belegen die Kompetenz.

In den akkreditierten Laboren sind nur wenige Mitarbeitende beschäftigt. Bei Personalfluktuation besteht die Gefahr, dass auch ein Teil des Wissens geht. Das Gleiche gilt auch bei längerem Krankenstand. Die Akkreditierung erfordert, alles zu verschriftlichen, festzulegen und regelmäßig zu überprüfen. Dies stellt einen großen Vorteil im Vergleich zu Laboren ohne Akkreditierung dar. In der Vorbereitungsphase der Akkreditierung konnte z. B. wertvolles Wissen in Arbeitsanweisungen festgehalten werden, bevor der damalige Laborleiter in den Ruhestand ging.

2.4 Lieferanten/ Equipment/Zubehör

Es gibt z. T. entweder gar keine, nur einen oder wenige Lieferanten, was eine Auswahl oder das Vorhalten zusätzlicher Lieferanten schwierig macht, die Abhängigkeit ist entsprechend groß. Durch Verkleinerung und Umzug der BfS-eigenen Werkstatt ist es schwieriger geworden, Wartungen selbst durchzuführen, das personelle Knowhow ist nicht mehr verfügbar. Auch bei anderen Dienstleistungen, z. B. Wartungen oder Software-Programmierung, ist man abhängig, z. T. von einer Person, was eine schnelle Fehlerbehebung schwierig machen kann. Das damit verbundene Risiko ist schwer zu reduzieren. Wichtig ist, sich des Risikos bewusst zu werden und rechtzeitig Alternativen zu bedenken, z. B. beim Abkündigen von Produkten oder rechtzeitiger Ersatzteilbeschaffung. Das man durch die DIN EN ISO/IEC 17025 sowohl Risiken als auch Chancen für das Labor regelmäßig ermitteln und bewerten muss, stellt sich als sehr hilfreiche Forderung der Managementnorm heraus. Dadurch wird das Risiko nicht kleiner, aber es ist erkannt

und wird regelmäßig betrachtet und bewertet, und die Auswirkungen auf das Labor werden minimiert.

Für Lieferungen und Dienstleistungen, z. B. bei Gasen, Verbrauchsmaterial, Software und Wartungsarbeiten, wurde eine Lieferantenbewertung mit verschiedenen Kriterien wie z. B. Liefertreue, Service und Erfüllung der Leistungsbeschreibung erstellt. Jährlich wird im Rahmen der Managementbewertung, welche auch ein sehr gutes Tool des Managementsystems darstellt, die Zufriedenheit anhand definierter Kriterien bewertet und im Rahmen der eigenen Möglichkeiten darauf eingegangen. Bei manchen Betrachtungen bleibt allerdings ein Restrisiko bestehen, was jedoch in der Risiko-Chancen-Bewertung jährlich wieder thematisiert wird und somit nicht in Vergessenheit geraten kann.

2.5 Auditführende Person

Alle bisher beschriebenen Herausforderungen müssen im regelmäßig stattfindenden Audit, ob intern oder extern, dem Auditierenden plausibel erklärt und belegt werden. Fragen, warum man nicht an einem Ringversuch teilgenommen hat, warum die festgestellten Maßnahmen noch nicht umgesetzt sind, wie man das Personal kompetent hält, wieso keine Prüfberichte versendet wurden, wie man die Kundenzufriedenheit feststellt und so weiter, erhöhen den Redeanteil im Audit. Die Auditierenden kennen aus ihrer Erfahrung oft die Problematik, erwarten allerdings, dass man plausible Argumente und Alternativen aufführt.

Die jährlich stattfindenden internen Audits werden zusätzlich von der auditführenden Person zur Kompetenzüberprüfung genutzt, d. h. die Laborarbeitskraft erledigt die Arbeit und erklärt dabei die einzelnen Arbeitsschritte. Somit kann überprüft werden, ob die Person für die Tätigkeit kompetent ist und ob alle Arbeitsschritte ausreichend und richtig beschrieben sind.

3 Schlussfolgerungen

Wie beschrieben, gibt es einige Herausforderungen bei der Akkreditierung zu bewältigen. Der Aufwand für kleine Labore wie den beiden akkreditierten Spurenanalyzelaboren des BfS in Freiburg, die mit wenig Personal und sehr speziellen Verfahren arbeiten, ist sicherlich größer als bei „normalen“ Großlaboren, aber machbar und überaus wertvoll. Erkannte Risiken sind in manchen Bereichen hoch – z. B. Lieferanten, Geräte, Personal - und nicht immer komplett zu minimieren. Trotzdem wird man sich durch die Forderung der regelmäßigen Risiko-Chancen-Betrachtung dessen stets bewusst, sie werden mindestens jährlich aktualisiert und neu bewertet. Möglichkeiten für Ringversuche und Laborvergleiche sollte man nutzen und ansonsten jede Form von internen Vergleichsanalysen durchführen, ob durch Mitarbeiter- oder Anlagenvergleich. Rückführbare Ergebnisse werden erzielt und sind ein großer Vorteil der Akkreditierung. Man kann sich als Kunde darauf verlassen. Das Personal muss gut geschult und kompetent sein und das Wissen über Arbeits- und Verfahrensanweisungen konserviert sein, wichtig wird das vor allem bei Personalabgang und -zugang. Gerade dafür eignet sich ein Managementsystem sehr gut, da es das Labor zwingt, Arbeitsschritte genau zu beschreiben und darzulegen. Über die regelmäßige Auditierung, sowohl intern als auch extern, ist eine Verbesserung der Prozesse in und um das Labor und deren Wirksamkeit gewährleistet.

W028: Berechnungsverfahren zur Ermittlung der Güte von Probenentnahmeeinrichtungen bei kerntechnischen Anlagen

Computational procedures related to the determination of the quality of sampling systems in nuclear facilities

H. Schöllnberger, M. Thomas, A. Heckel, C. Strobl

Bundesamt für Strahlenschutz, Fachgebiet Emissionen/Immissionen Luft | UR 3, Neuherberg, Deutschland

Zusammenfassung

Die Überwachung der Aktivitätsableitungen von an Schwebstoffen gebundenen radioaktiven Stoffen mit der Fortluft erfolgt bei kerntechnischen Anlagen gemäß der sicherheitstechnischen Regeln des Kerntechnischen Ausschusses KTA. Für die Bilanzierung der Aktivitätsableitungen wird im Fortluftkanal mit Probenentnahmesonden ein Teilluftstrom der Fortluft entnommen und über Probenentnahmeleitungen zu einem Sammelmedium (Schwebstofffilter) geleitet. Auf diesem Filter werden die Aerosolpartikel und die daran gebundenen radioaktiven Stoffe abgeschieden. Deren Aktivitäten werden messtechnisch erfasst und daraus die Aktivitätsableitungen an die Umgebung berechnet. Letztere unterschätzen jedoch im Allgemeinen die tatsächlichen Emissionen u. a. deswegen, weil es in den Probenentnahmeleitungen zu Abscheideverlusten kommt. Für die Bestimmung der tatsächlichen Aktivitätsableitungen mit der Fortluft ist es deshalb erforderlich, die durch Bilanzierungsmessungen ermittelten Aktivitätsableitungen zu korrigieren. Der hierzu benötigte Korrekturfaktor wird als Gesamtverlustfaktor für Aktivität (GVA) bezeichnet. Er ist ein Maß für die Qualität (Güte) der Probenentnahmeeinrichtung. Für Endlager in Deutschland wurde der Gesamtverlustfaktor in regelmäßigen Abständen durch das Bundesamt für Strahlenschutz ermittelt. Der vorliegende Beitrag fasst die Durchführung, Auswertung und die Bewertung der Ergebnisse der Untersuchungen von drei kerntechnischen Anlagen zusammen.

Summary

The monitoring of discharges of radioactive substances bound to aerosol particles with the exhaust air are carried out in nuclear facilities according to the Safety Standard 1503.1 of the Nuclear Safety Standards Commission. For the assessment of activity discharges a fraction of the exhaust air in the stack is taken and transmitted to a sampling material (a particulate air filter) via sampling tubes. On such a filter the aerosol particles and the radioactive substances bound to them are deposited. Via measurements it is possible to obtain the activities deposited onto the sampling material and the related activity concentrations from which the activity discharges to the environment are calculated. Generally, the latter underestimate the actual emissions because of depositional losses within the sampling tubes (among other reasons). For the determination of the actual activity discharges of radionuclides bound to aerosol particles via the exhaust air it is therefore necessary to correct those activity discharges obtained from on-site assessment measurements. For that a correction factor is needed that is called total loss factor for activity (GVA). It is a measure of the quality of the sampling system. For radioactive waste repositories in Germany the total loss factor was determined in regular intervals by the Federal Office of Radiation Protection. The present contribution summarizes the implementation, evaluation and the assessment of the results of these surveys for three nuclear installations.

1 Einleitung

Die Überwachung und Bilanzierung der Aktivitätsableitungen von an Schwebstoffen gebundenen radioaktiven Stoffen mit der Fortluft bzw. dem Abwetter erfolgt sowohl im Endlagerbereich als auch bei Kernkraftwerken gemäß der Richtlinie zur Emissions- und Immissionsüberwachung kerntechnischer Anlagen (REI) [1] sowie der Sicherheitstechnischen Regel des Kerntechnischen Ausschusses KTA 1503.1 [2]. Für die Bilanzierung der Aktivitätsableitungen wird im Fortluft- bzw. Abwetterkanal mittels einer oder mehrerer Probenentnahmesonden ein Teilluftstrom der Fortluft möglichst repräsentativ und vorzugsweise isokinetisch entnommen und über Probenentnahmeleitungen von meist einigen Zentimetern Durchmesser und Längen von etlichen Metern zu einem Sammelmedium, z. B. Schwebstofffilter, geleitet. Auf diesem Filter werden die Aerosolpartikel und die daran gebundenen radioaktiven Stoffe abgeschieden. Daraus lassen sich messtechnisch die auf dem Sammelmedium abgeschiedenen Aktivitäten und die dazugehörigen Aktivitätskonzentrationen ermitteln, aus denen die Aktivitätsableitungen an die Umgebung berechnet werden. Letztere unterschätzen jedoch im Allgemeinen die tatsächlichen Emissionen, u. a. weil es in den Probenentnahmeleitungen zu einer Ablagerung von Aerosolpartikeln kommt. Für die Bestimmung der tatsächlichen Aktivitätsableitungen von an Schwebstoffen gebundenen Radionukliden mit der Fortluft bzw. dem Abwetter ist es deshalb erforderlich, die durch Bilanzierungsmessungen ermittelten Aktivitätsableitungen zu korrigieren. Der hierzu benötigte Korrekturfaktor wird als Gesamtverlustfaktor für Aktivität (GVA) bezeichnet. Er ist definiert als das Verhältnis der erwarteten Aktivitätsableitung eines Radionuklids und der anhand von Messungen bestimmten Aktivitätsableitung. In den letzten Jahren wurden vom BfS für verschiedene kerntechnische Anlagen, darunter auch Kernkraftwerke im Ausland, die nach der KTA 1503.1 arbeiten, die Gesamtverlustfaktoren für die Probenentnahmeeinrichtungen bestimmt und entsprechend berichtet [3, 4, 5].

Gemäß KTA 1503.1 ist der Gesamtverlustfaktor bei Inbetriebnahme der Probenentnahmeeinrichtung, nach Veränderungen, die den Gesamtverlustfaktor wesentlich beeinflussen können, sowie alle 5 Jahre zu bestimmen. Sein Wert sollte nicht größer als 2 und darf nicht größer als 3 sein [2].

2 Vorgehensweise

Im Abwetterkanal bzw. in den Fortluftkaminen wurden genau definierte Massen eines Partikelkollektivs aufgegeben. Die Aufgabe des Partikelkollektivs, das aus den drei unterschiedlichen Partikelarten Titandioxid (TiO_2), Strontiumtitanat (SrTiO_3) und Molybdäncarbid (Mo_2C) bestand, erfolgte mittels Bürstendispergierer. Da die Ebene der Probenaufgabe in allen drei Anlagen weniger als 20 Meter von der Ebene der Probenentnahme entfernt lag, konnte davon ausgegangen werden, dass eine einmalige Partikelauflage in der Mitte des Kanals keine ausreichend homogene Verteilung der Aerosolpartikel in der Probenentnahmeebene sicherstellen würde. Daher erfolgten nacheinander – über den Querschnitt des Abwetter- bzw. Fortluftkanals verteilt – mehrere Aufgaben des Partikelkollektivs. Bei jeder Partikelauflage wurde in der Sammeleinrichtung jeweils ein Schwebstofffilter bestaubt. Für jeden dieser Schwebstofffilter wurden mittels Atomabsorptionsspektrometrie die abgeschiedenen Massen der drei aufgegebenen Partikelarten bestimmt. Da der Anteil des Abwetterstroms bzw. der Fortluft, der der Sammeleinrichtung zugeleitet wird, bekannt ist bzw. bestimmt werden kann, kann der Gesamtverlustfaktor für Masse $GVM_{p,a}$ für die Aufgabeposition p und die Partikelart a berechnet werden. In einem weiteren Schritt wurde für jede der drei unterschiedlichen Partikelarten aus den vorliegenden Gesamtverlustfaktoren für Masse $GVM_{p,a}$ ein Mittelwert GVM_a gebildet. Da die Strömungsge-

schwindigkeiten an den Aufgabepositionen zum Teil stark unterschiedliche Werte aufwiesen, wurden bei der Berechnung von GVM_a die entsprechenden Strömungsanteile berücksichtigt.

Für eine der kerntechnischen Anlagen wurden anschließend die Gesamtverlustfaktoren für Masse GVM_a durch Bildung des gewichteten harmonischen Mittels zu einem Gesamtverlustfaktor für Aktivität GVA zusammengeführt. In die Berechnung von GVA geht die Massenverteilung der Aerosolpartikel im Abwetter sowie eine Annahme zur Aktivitätsverteilung ein. Durch diese Vorgehensweise, die von der KTA-Regel 1503.1 [2] abweicht, ist garantiert, dass der Gesamtverlustfaktor für Aktivität auch für mögliche störfallbedingte Freisetzungen des eingelagerten nuklearen Inventars gültig ist. Für die beiden anderen kerntechnischen Anlagen B und C wurde der Gesamtverlustfaktor streng gemäß [2] berechnet. In diesem Fall ist der Wert von GVA identisch mit dem Wert von GVM_a für $a = \text{TiO}_2$.

Für das am BfS verwendete Aerosolpartikelkollektiv (Pulver) wird ein Massenverhältnis von TiO_2 zu SrTiO_3 zu Mo_2C von 10 : 1 : 1 eingestellt, wobei die TiO_2 -Partikel einen aerodynamischen Durchmesser von 0,7 μm und eine geometrische Standardabweichung von 2,8 aufweisen. Dies entspricht relativ genau den in der KTA-Regel [2] geforderten Eigenschaften des zu verwendenden Partikelkollektivs.

3 Ergebnisse

Die Ergebnisse für die Gesamtverlustfaktoren für Masse $GVM_{p,a}$ für den Bilanzierungssammler der kerntechnischen Anlage A sind in Tabelle 1 dargestellt. In der Aufgabebene wurden an neun verschiedenen Positionen p Pulver aufgegeben. Jedoch konnte aufgrund technischer Probleme an der Aufgabeposition $p = \text{P01}$ nicht die vorgesehene Pulvermenge aufgegeben werden, sodass für diese Position keine $GVM_{p,a}$ -Werte bestimmt werden konnten. Tabelle 2 gibt die Ergebnisse für einen der beiden Aerosolsammler der kerntechnischen Anlage B wieder; die Ergebnisse für den zweiten Sammler sind etwas niedriger. Tabelle 3 zeigt die Ergebnisse für einen der beiden in der kerntechnischen Anlage C eingesetzten Aerosolsammler; die Ergebnisse für den zweiten Sammler sind etwas höher. Die in den Tabellen 1 bis 3 dargestellten Unsicherheiten markieren die oberen und unteren Grenzen der 95%-Konfidenzintervalle. Diese wurden mittels Gaußscher Fehlerfortpflanzung berechnet. Hierfür wurden für die vier Berechnungsgrößen, die in die Berechnung von $GVM_{p,a}$ eingehen, Typ A- und Typ B-Unsicherheiten berücksichtigt [6]. Diese vier Berechnungsgrößen sind die an der Aufgabeposition p aufgegebene Masse der Partikelart a ($m_{A,p,a}$), die auf dem Schwebstofffilter der Sammeleinrichtung abgeschiedene Masse der Partikelart a , die an der Aufgabeposition p aufgegeben worden war ($m_{S,p,a}$), der zur jeweiligen Pulveraufgabe gehörige mittlerer Volumenstrom des Abwetters (\dot{V}_A) und der der zur jeweiligen Pulveraufgabe gehörige mittlere Volumenstrom durch den Schwebstofffilter des jeweiligen Aerosolsammlers (\dot{V}_S).

Tabelle 1: Gesamtverlustfaktoren für Masse $GVM_{p,a}$ für die Bilanzierungsmessstelle der kerntechnischen Anlage A

Partikelart a	Aufgabeposition p der Aerosolpartikel								
	P01	P02	P03	P04	P05	P06	P07	P08	P09
TiO ₂	–	1,8 ±	2,0 ±	1,4 ±	1,3 ±	1,4 ±	1,3 ±	1,2 ±	1,3 ±
		0,3	0,3	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2
SrTiO ₃	–	7,6 ±	11,4 ±	5,8 ±	6,0 ±	5,0 ±	4,1 ±	3,6 ±	3,4 ±
		1,2	2,0	0,9	1,0	0,8	0,6	0,6	0,5
Mo ₂ C	–	7,9 ±	27,0 ±	9,6 ±	9,9 ±	13,8 ±	10,5 ±	8,0 ±	12,9 ±
		3,3	35,9	4,8	5,3	9,7	5,6	3,5	8,5

Tabelle 2: Gesamtverlustfaktoren für Masse $GVM_{p,a}$ für einen der Aerosolsammler der kerntechnischen Anlage B

Partikelart a	Aufgabeposition p der Aerosolpartikel		
	P01	P02	P03
TiO ₂	3,8 ± 0,7	4,1 ± 0,7	3,3 ± 0,6
SrTiO ₃	12,7 ± 2,3	13,8 ± 2,4	11,1 ± 1,9
Mo ₂ C	129,5 ± 65,5	141,7 ± 58,2	61,6 ± 19,6

Tabelle 3: Gesamtverlustfaktoren für Masse $GVM_{p,a}$ für einen der Aerosolsammler der kerntechnischen Anlage C

Partikelart a	Aufgabeposition p der Aerosolpartikel	
	P01	P02
TiO ₂	2,3 ± 0,4	2,1 ± 0,4
SrTiO ₃	5,5 ± 1,0	4,5 ± 0,8
Mo ₂ C	13,5 ± 2,4	11,2 ± 1,9

Aus den in den Tabellen 1 bis 3 gegebenen Werten werden durch Mittelwertbildung mittlere Gesamtverlustfaktoren für Masse GVM_a berechnet. Hierbei ist zu berücksichtigen, dass im Bereich der Pulveraufgabe bei der kerntechnischen Anlage A starke Inhomogenitäten des Abwetterstroms bestehen. Daher wurden an den Aufgabepositionen im Abwetterkanal die Strömungsgeschwindigkeiten gemessen und daraus die Strömungsanteile berechnet. Diese wurden bei der Mittelwertbildung durch die Verwendung des gewichteten harmonischen Mittels berücksichtigt. Bei der kerntechnischen Anlage B war dies nicht notwendig, da visuelle Inspektionen während der Pulveraufgaben gezeigt hatten, dass der Luftstrom im Fortluftkamin oberhalb der Aufgabebene in Richtung des Probenentnahmerechens extrem turbulent war. Es konnte daher davon ausgegangen werden, dass jegliche Variationen der Strömungsgeschwindigkeiten der Fortluft innerhalb der Aufgabebene auf der etwa 17 Meter langen Strecke von der Aufgabebene bis zum Probenentnahmerechen vollkommen verloren gehen. Dies war auch bei der kerntechnischen Anlage C der Fall. Daher wurde für die Sammler der kerntechnischen Anlagen B und C bei der Berechnung von GVM_a das ungewichtete harmonische Mittel verwendet.

Tabelle 4 zeigt die GVM_a -Werte für die kerntechnische Anlage A, Tabelle 5 die Ergebnisse für einen der beiden Sammler der kerntechnischen Anlage B. Die in den Tabellen 4 und 5 dargestellten Unsicherheiten markieren die oberen und unteren Grenzen der 95%-Konfidenzintervalle. Diese wurden mittels Gaußscher Fehlerfortpflanzung berechnet.

Tabelle 4: Gesamtverlustfaktoren für Masse GVM_a für die Bilanzierungsmessstelle der kerntechnischen Anlage A

Partikelart a	GVM_a
TiO ₂	1,5 ± 0,3
SrTiO ₃	5,7 ± 1,0
Mo ₂ C	11,2 ± 3,1

Tabelle 5: Gesamtverlustfaktoren für Masse GVM_a für einen der Aerosolsammler der kerntechnischen Anlage B

Partikelart a	GVM_a
TiO ₂	3,7 ± 0,4
SrTiO ₃	12,4 ± 1,3
Mo ₂ C	96,7 ± 22,1

Die Berechnung der Gesamtverlustfaktoren für Aktivität GVA erfolgt für die beiden kerntechnischen Anlagen B und C streng nach der KTA-Regel 1503.1 [2]. Das bedeutet in diesem Fall, dass GVA identisch mit GVM_a für $a = \text{TiO}_2$ ist.

Für die beiden betrachteten Aerosolsammler der kerntechnischen Anlage B werden nachstehende Werte für GVA erhalten:

- Aerosolsammler 1: $GVA = 3,7 \pm 0,4$;
- Aerosolsammler 2: $GVA = 2,8 \pm 0,3$.

Entsprechende Ergebnisse gibt es für die kerntechnische Anlage C:

- Aerosolsammler 1: $GVA = 2,2 \pm 0,3$;
- Aerosolsammler 2: $GVA = 2,6 \pm 0,3$.

Wie bereits eingangs angemerkt, musste die Vorgehensweise für die Berechnung des Gesamtverlustfaktors für Aktivität GVA für die Bilanzierungsmessstelle der kerntechnischen Anlage A verändert werden, da der GVA den Fall einer störfallbedingten Freisetzung von Teilen des eingelagerten nuklearen Inventars berücksichtigen sollte. Dies wurde dadurch erreicht, indem aus den in Tabelle 4 gegebenen Werten ein gewichtetes harmonisches Mittel berechnet wurde. Als Wichtungsfaktoren wurden vom BfS gemessene Massenanteile von Aerosolpartikeln als Funktion des aerodynamischen Durchmessers im horizontalen Wetterkanal verwendet, wobei die drei Messbereiche „< 1,1 µm“, „1,1 µm – 3,6 µm“ und „> 3,6 µm“ grob den drei Partikelgrößen zugeordnet werden können. Oberflächenanlagerungsprozesse von künstlichen Radionukliden, wie den in der kerntechnischen Anlage A eingelagerten Spaltprodukten, spielen bei deren möglichen Freisetzungen, zum Beispiel bei Probebohrungen oder Rückholung, höchstwahrscheinlich eine untergeordnete Rolle [7]. Des Weiteren kann davon ausgegangen werden, dass für das

komplexe eingelagerte nukleare Inventar die Aktivitätsverteilung gleich der Massenverteilung ist. Daher ist es plausibel, dass bei möglichen Emissionsszenarien die Aktivitätsverteilung der abgeleiteten Radionuklide näherungsweise der Massenverteilung entspricht [7]. Unter Verwendung der Massenwichtungsfaktoren 0,54, 0,28 und 0,19 ergibt sich für die Bilanzierungsmessstelle der kerntechnischen Anlage A ein Wert von 2,4 für den Gesamtverlustfaktor für Aktivität GVA. Das dazugehörige 95%-Konfidenzintervall ist (1,8; 3,0).

Anmerkung: Alle mathematischen Details zu den Unsicherheitsanalysen finden sich in den Anlagen zu den entsprechenden Berichten.

4 Schlussfolgerungen

Die Ergebnisse belegen, dass der ermittelte Gesamtverlustfaktor für Aktivität GVA von 2,4 für die Probenentnahmeeinrichtung der kerntechnischen Anlage A die Kriterien der KTA-Regel 1503.1 [2] erfüllt. Der ermittelte GVA-Wert gilt auch für störfallbedingte Freisetzungen des eingelagerten nuklearen Inventars.

Für die kerntechnische Anlage B zeigen die Ergebnisse, dass nur einer der Aerosolsammler die Kriterien der KTA-Regel 1503.1 [2] mit einem GVA-Wert von $(2,8 \pm 0,3)$ erfüllt, während bei der kerntechnischen Anlage C beide Aerosolsammler unter dem Höchstwert von 3 für den GVA bleiben.

5 Danksagung

Die Autoren danken H. Brückner, C. Brummer, C. Cronfeld, A. Deller, F. Loske, V. Wasl und K. Woudsma für deren exzellente technische Unterstützung.

6 Literatur

- [1] Richtlinie zur Emissions- und Immissionsüberwachung kerntechnischer Anlagen (REI) vom 6. September 2023 (2023).
- [2] Kerntechnischer Ausschuss (KTA). Sicherheitstechnische Regel des KTA 1503.1 Überwachung der Ableitung gasförmiger und an Schwebstoffen gebundener radioaktiver Stoffe; Teil 1: Überwachung der Ableitung radioaktiver Stoffe mit der Kaminfortluft bei bestimmungsgemäßem Betrieb. Carl Heymanns Verlag, Köln (2016).
- [3] H. Schöllnberger, C. Brummer, C. Cronfeld, A. Deller, A. Heckel, F. Loske, C. Strobl, M. Thomas, K. Woudsma. Bestimmung des Gesamtverlustfaktors für die Bilanzierung der Aktivitätsableitungen von an Schwebstoffen gebundenen Radionukliden im Abwetter der Schachtanlage Asse II. Bundesamt für Strahlenschutz, Neuherberg (2019).
- [4] H. Schöllnberger, H. Brückner, C. Cronfeld, M. Thomas, V. Wasl, K. Woudsma. Determination of the total loss factor for the assessment of activity discharges from aerosol particle bound radionuclides in the exhaust air of the nuclear power plant Olkiluoto 1. BfS-UR 3-05/21. Federal Office for Radiation Protection, Neuherberg (2019).
- [5] H. Schöllnberger, H. Brückner, C. Cronfeld, M. Thomas, V. Wasl, K. Woudsma. Determination of the total loss factor for the assessment of activity discharges from aerosol particle bound radionuclides in the exhaust air of the nuclear power plant Olkiluoto 2. BfS-UR 3-06/21. Federal Office for Radiation Protection, Neuherberg (2019).
- [6] Evaluation of measurement data – Guide to the expression of uncertainty in measurement (GUM). Joint Committee for Guides in Metrology (JCGM/WG 1). JCGM-100 (2008).

- [7] S. Stanglmaier, C. Brummer, C. Strobl. Bestimmung der Anzahl- und Massenverteilung der Aerosolpartikel im Abwetter der Schachtanlage Asse II im November 2010. SW 1.4-04/2011. Bundesamt für Strahlenschutz, Neuherberg (2011).

Workshop C2: Praxiserfahrung mit dem neuen Regelwerk

Andrea Heckel¹, Dr. Simon Holbein²

¹Bundesamt für Strahlenschutz, Oberschleißheim

²Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, nukleare Sicherheit und Verbraucherschutz, Bonn

Im Workshop C2 „Praxiserfahrung mit dem neuen Regelwerk“ wurden zwei Themenbereiche beleuchtet, die sich aus der Neuordnung des Regelwerks zum Strahlenschutz ergaben.

Im ersten Impulsvortrag stellten Frau Dr. Margit Pattantyús-Ábrahám und Herr Merten Siegfried vom Bundesamt für Strahlenschutz die sich durch das neue Regelwerk ergebenden Änderungen bei der Ermittlung der Exposition durch Ableitungen radioaktiver Stoffe vor. Die Pflicht zur Ermittlung der von einer Einzelperson der Bevölkerung erhaltenen Exposition ist in § 101 Strahlenschutzverordnung vorgegeben. Die Einzelheiten bezüglich dieser Ermittlung sind in der im Juni 2020 veröffentlichten AVV Tätigkeiten festgelegt. Eine Neuerung umfasst dabei die Betrachtung einer repräsentativen Person anstatt einer fiktiven Referenzperson bei der Expositionsermittlung, wodurch sich realitätsnähere Werte ergeben. Eine weitere wesentliche Änderung besteht darin, dass bei der atmosphärischen Ausbreitungsmodellierung anstelle des bisherigen Gauß-Fahnenmodells ein Lagrange-Partikelmodell zu verwenden ist.

Das BfS hat die gesetzliche Aufgabe, die von Einzelpersonen der Bevölkerung jährlich erhaltene Exposition durch Tätigkeiten gemäß AtG (Atomgesetz) zu ermitteln. Dafür wurden vom BfS für die Ausbreitungs- und Dosisberechnung gemäß AVV Tätigkeiten die Programme ARTM/DARTM für den Luftpfad und BEARS für den Wasserpfad weiterentwickelt. Die anschließende Diskussion befasste sich mit Fragen zur Anwendung der Programme in der Praxis.

Im zweiten Impulsvortrag ging Herr Dr. Kai-Philip Otte von der ESN Sicherheit und Zertifizierung GmbH unter dem Titel „Der Ernstfall „Die Umweltradioaktivität schlägt Alarm!“ – Nutzen von und Herausforderung bei Notfallübungen“ auf den Nutzen, die Herausforderungen und die praktische Umsetzung von Notfallübungen ein. Das Strahlenschutzgesetz enthält Anforderungen zur Notfallreaktion von Behörden und Organisationen, die gemäß den Notfallplänen des Bundes und der Länder an der Notfallreaktion beteiligt sind. Dazu gehören auch Regelungen für die Aus- und Fortbildung sowie die Vorgabe, regelmäßig Notfallübungen durchzuführen. Die Bewältigung radiologischer Notfälle erfordert das komplexe Zusammenspiel einer Vielzahl von Behörden auf Bundes-, Landes-, kommunaler und ggf. internationaler Ebene. Herr Otte verwendet dafür den Begriff der virtuellen Organisation, die nur zeitlich befristet und insbesondere dezentral agiert. Übungen dieser komplexen Zusammenarbeit sollten dabei nicht nur auf den übenden Charakter im Sinne einer Wiederholung abzielen; stattdessen sei die Übung ein elementarer Schritt, um die Eignung von auf dem Papier geplanten Notfallreaktionen zu überprüfen bzw. diese den realen Gegebenheiten entsprechend weiterzuentwickeln.

In der sich anschließenden Diskussion wurden insbesondere die derzeit im jährlichen Rhythmus stattfindenden IMIS-Übungen angesprochen. Dabei wurde angeregt, neben möglichst vielen im Notfall tätigen Organisationen auch weitere Sachbereiche wie den Lebensmittelsektor in die Übungen stärker mit einzubeziehen.

W029: Änderungen bei der Ermittlung der Exposition durch Ableitungen radioaktiver Stoffe

*M. Pattantyús-Ábrahám, M. Siegfried
Bundesamt für Strahlenschutz*

Kurzfassung

Die Pflicht zur Ermittlung der von einer Einzelperson der Bevölkerung erhaltenen Exposition ist in § 101 Strahlenschutzverordnung vorgegeben. Die Einzelheiten bezüglich dieser Ermittlung sind in der im Juni 2020 veröffentlichten AVV Tätigkeiten festgelegt.

Bisher wurde bei der Expositionsermittlung eine außergewöhnlich hoch strahlenbelastete fiktive Referenzperson betrachtet. Die neue Strahlenschutzverordnung folgt dem Artikel 66 2013/59/EURATOM und schreibt die Ermittlung der Exposition für eine repräsentative Person vor. Die repräsentative Person ist dabei ebenfalls als eine fiktive Person definiert, aus deren Aufenthalts- und Verzehrgewohnheiten eine höhere Strahlenbelastung resultiert; extreme Lebenssituationen wie bisher bei der Referenzperson werden aber ausgeschlossen.

Eine weitere wesentliche Änderung besteht darin, dass bei der atmosphärischen Ausbreitungsmodellierung anstelle des bisherigen Gauß-Fahnenmodells nun ein Lagrange-Partikelmodell zu verwenden ist.

Das BfS hat die gesetzliche Aufgabe, die von Einzelpersonen der Bevölkerung jährlich erhaltene Exposition zu ermitteln, soweit diese durch Tätigkeiten, die auf dem Gelände von Anlagen und Einrichtungen nach §§ 6, 7, 9 und 9b Atomgesetz ausgeübt werden, verursacht wird. Diese Berechnungen und die damit verbundene Berichterstattung sind bis zur Entlassung der kerntechnischen Anlagen und Einrichtungen aus der atomrechtlichen Überwachung durchzuführen. Deshalb wurde vom BfS für die geänderte Ausbreitungs- und Dosisberechnung gemäß AVV Tätigkeiten neue Software entwickelt.

Die Autoren stellen in ihrem Beitrag diese Neu- und Weiterentwicklungen vor.

W053: Der Ernstfall „Die Umweltradioaktivität schlägt Alarm!“ – Nutzen von und Herausforderung bei Notfallübungen

*B. Matzig, Dr. T. Möller, Dr.-Ing. A. Bartsch, Dr. phil. K.-P. Otte
ESN Sicherheit und Zertifizierung GmbH, Schwentinental (Schleswig-Holstein)*

Kurzfassung

In diesem Fachgespräch werden eine Reihe von Systemen und Methoden zur Überwachung der Umweltradioaktivität betrachtet. Die Überwachung erfolgt jedoch nicht nur im Alltag, sondern auch und sogar intensiviert unmittelbar vor, während und nach einem Ereignis (Notfallreaktion). Die (neuen) Anforderungen des Strahlenschutzgesetzes fordern zur Notfallreaktion von Behörden und Organisationen, die gemäß den Notfallplänen des Bundes und der Länder an der Notfallreaktion beteiligt sind, sowie von den für die Aus- und Fortbildung der Einsatzkräfte Verantwortlichen, regelmäßig Notfallübungen durchzuführen. Die Notfallübungen sind nach Art der Übung, Umfang, Notfallszenarien und Beteiligten angemessen zu differenzieren (StrlSchG Teil 3, Abschnitt 3, § 102).

Weiterhin hat der Gesetzgeber vorgesehen, dass die Bewältigung von Notfällen anhand von Notfallplänen erfolgt, die durch den Bund und die Länder zu erstellen sind. In diesen Notfallplänen sind die geplanten angemessenen Reaktionen auf mögliche Notfälle anhand bestimmter Referenzszenarien darzustellen (StrlSchG Teil 3, Abschnitt 3, § 97). Aufgrund der Komplexität der für die Bewältigung dieser Szenarien erforderlichen Prozesse (bspw. umzusetzende Aufgaben, in die Bewältigung involvierte Organisationen sowie die Schnittstellen zu und Kommunikation mit diesen Organisationen) ist es unsere Auffassung, dass die aus dem § 102 StrlSchG hervorgehende Anforderung zu üben, nicht nur auf den übenden Charakter im Sinne einer Wiederholung abzielt. Stattdessen ist die Übung ein elementarer Schritt, um die Eignung von auf dem Papier geplanten Notfallreaktionen zu überprüfen bzw. diese den realen Gegebenheiten entsprechend weiterzuentwickeln.

Wir wollen in unserem Beitrag daher auf den Nutzen, die Herausforderungen und die praktische Umsetzung von Notfallübungen unter Berücksichtigung der Aspekte Art, Umfang, Szenario und Beteiligte anhand von praktischen Beispielen eingehen und die im Fachgespräch anwesenden Vertreter der Organisationen und Behörden dazu motivieren, Notfallübungen durchzuführen.

Umweltüberwachung Block 2 - Radionuklide

Zusammenfassung der Sitzung: Umweltüberwachung Block 2 - Radionuklide

U. Gerstmann¹, D. Zapata²

¹Bundesamt für Strahlenschutz Berlin

²Physikalisch-technische Bundesanstalt Braunschweig

Frau Röttger (PTB) stellte im ersten Vortrag der Sitzung das europäische Metrologie-Netzwerk (EMN) für Strahlenschutz vor. Es wurde im September 2021 von der Europäischen Vereinigung Nationaler Metrologie-Institute (EURAMET) gegründet und wird derzeit von deutscher Seite unter anderen von PTB und BfS mit Fokus auf den praktischen Strahlenschutz ausgestaltet. Dieses EMN kann Forschungsbedarfe identifizieren und strategische Empfehlungen zur Weiterentwicklung seiner Mitglieder aussprechen. Konsens im EMN bestehe z. B. darin, dass es in Europa im Bereich der Qualitätssicherung einer größeren metrologischen Breite statt Doppelungen bedarf, um auch speziellere metrologische Fragestellungen, etwa im Bereich Referenzmessfeldern, abdecken zu können.

Herr Siegfried (BfS) berichtete über rechtliche Neuerungen bei der Überwachung von Emissionen mit der Fortluft und Abwässern aus kerntechnischen Anlagen und sonstigen Einrichtungen nach § 103 Strahlenschutzverordnung. Insgesamt läuft die neue Rechtslage auf eine Ausweitung der Eigenüberwachung und damit auch auf die Kontrolle der selbigen, die nunmehr vom BfS durchzuführen ist, hinaus. Auch die Teilnahme an Ringversuchen des BfS ist nunmehr verpflichtend. Die konkreten Auswirkungen im Hinblick auf die Überwachung sonstige Einrichtungen bleibt abzuwarten.

Herr Hartmann (BfS) berichtete über aktuelle Untersuchungen und langfristigen Trends zur ¹³⁷Cs-Konzentration von Speisepilzen, Hirschtrüffeln und Wildschweinfleisch. Diese liegen auch heute noch oft – abhängig von Pilzsorte und Region – über dem Grenzwert von 600 Bq/kg, der den Verkauf, nicht jedoch den Selbstverzehr ausschließt. Da bei Jäger*innen grundsätzlich ein höherer Verzehr und damit eine höhere Körperaktivität als bei der übrigen Bevölkerung angenommen werden kann, wurden an dieser Personengruppe Ganzkörpermessungen beim BfS in Neuherberg durchgeführt. Tatsächlich wurden höhere Körperaktivitäten festgestellt, wofür sowohl Wildschweinfleisch als auch Pilze ursächlich sind. Die zusätzlichen Dosen sind mit maximal einigen zehn µSv pro Jahr jedoch sehr gering.

Von den ersten Erfahrungen des DWD bei der momentan stattfindenden Modernisierung des In-situ-Messnetzes berichtete Herr Mirsch. Bei der ersten Generation elektrisch gekühlter Gamaspektrometrie-Systeme, insgesamt an 38 Stationen installiert, waren Klimatisierungs- und Messtechnik nicht optimal aufeinander abgestimmt und führten zu hohen Ausfallraten und Wartungsaufwänden. Daher werden diese Systeme von 2021 bis 2026 gegen optimierte Systeme ausgetauscht. Die bisherigen Erfahrungen mit den bereits umgerüsteten Stationen sind sowohl hinsichtlich der Wirtschaftlichkeit des Betriebs als auch der Ausfallsicherheit ausgesprochen positiv.

Herr Bollhöfer (BfS) stellte die umfangreichen Gerätschaften zur Bestimmung von radioaktiven Krypton- und Xenon-Isotopen vor, die vom BfS auf dem Schauinsland im Rahmen der AVV-IMIS und zur Überwachung des Kernwaffenteststopp-Vertrags (CTBT) betrieben werden. Der Schwerpunkt lag dabei auf State-of-the-art und den aktuellen Entwicklungen im Bereich der Xenon-Messungen wie Xenon-Intl, SAUNA, SPALAX NG und speziellen Xenon-Arrays. Deutliche Verbes-

serungen bei Probennahmezyklen bzw. -zeiten und den Nachweisgrenzen ermöglichen es, Freisetzungsort, -stärke und -zeitpunkte besser zu bestimmen.

Mit der spannenden Frage, ob Ost- oder Irische See stärker mit ^{137}Cs belastet sind, befasste sich der Vortrag von Herrn Nogueira vom Thünen-Institut. Hierfür wurden die relevantesten Einträge – für die Ostsee der Unfall von Tschornobyl und für die Irische See die Ableitungen der Wiederaufarbeitungsanlage Sellafield – und die Erkenntnisse zweier Ausfahrten des Fischereiforschungsschiffs Walther Herwig III betrachtet, in deren Rahmen verschiedene Fischproben (je zwei Platt- und Rundfischarten) genommen und auf ^{137}Cs untersucht worden waren. Nach dem Vergleich der Höhe der Einträge und der höchsten gefundenen Aktivitätskonzentrationen der Fischarten gewinnt die Ostsee mit 3 zu 2 Punkten.

V002: Das Europäische Metrologienetzwerk für den Strahlenschutz: Weiterentwicklung der (inter)nationalen Zusammenarbeit

The European Metrology Network for Radiation Protection: Advancement of (inter)national cooperation

A. Röttger¹, S. Feige²

¹Physikalisch-Technische Bundesanstalt, Braunschweig, Deutschland

²Bundesamt für Strahlenschutz, Berlin, Deutschland

Zusammenfassung

EURAMET (die Europäische Vereinigung Nationaler Metrologie Institute) hat eine neue Organisationsform entwickelt, um sicherzustellen, dass Europa über eine weltweit führende Metrologiekompetenz verfügt. Dazu sind hochwertige wissenschaftliche Forschung und eine nationale Qualitätsinfrastruktur erforderlich, die den wachsenden Anforderungen der Endnutzer gerecht werden. EURAMETs Europäische Metrologie-Netzwerke (EMNs) tragen zur Verwirklichung dieses Ziels bei: So ermöglicht unter dem Dach von EURAMET das neue EMN for Radiation Protection den Schulterschluss zwischen europäischen Metrologie- und Strahlenschutzinstituten. In Deutschland sind derzeit die Physikalisch-Technische Bundesanstalt und das Bundesamt für Strahlenschutz gemeinsam bei der Ausgestaltung dieses EMNs aktiv. Zwei Bundesoberbehörden unterschiedlicher Ressorts, aber mit einem gemeinsamen Ziel: Die Metrologie des Strahlenschutzes in Deutschland und Europa weiterzuentwickeln.

Das EMN for Radiation Protection wurde in der General Assembly von EURAMET im Jahr 2021 genehmigt und ist seit September 2021 offiziell gegründet. Der Beitrag stellt das EMN vor und erläutert die Möglichkeiten zur Mitwirkung und den Nutzen für den praktischen Strahlenschutz: Es werden erste Themen zu der Weiterentwicklung der Qualitätsinfrastruktur und dem Prozess der nationalen wie europäischen Abstimmung bei der Arbeitsteilung in der Metrologie des Strahlenschutzes vorgestellt. Denn durch sein aktuelles, anwenderorientiertes Wissen kann das EMN Empfehlungen für die zukünftige strategische Entwicklung seiner Mitgliedsinstitute geben. Hier zeichnet sich bereits jetzt ein klarer Konsens der Partner ab: Der Strahlenschutz braucht mehr metrologische Breite. So kann beispielsweise eine nationale Duplizierung von gleichwertigen Referenzfeldanlagen das Problem fehlender Referenzfelder für andere Zwecke nicht lösen. Stattdessen braucht es eine Vielzahl spezialisierter Angebote für aktuelle und kommende Herausforderungen. Denn die Anforderungen an den Strahlenschutz [1, 2, 3, 4] sind in den letzten Jahrzehnten stetig komplexer und herausfordernder geworden.

Summary

EURAMET (the European Association of National Metrology Institutes) has developed a new organisational form to ensure that Europe has a world-leading metrology capability. This requires high-quality scientific research and a national quality infrastructure that meets the growing demands of end users. EURAMET's European Metrology Networks (EMNs) contribute to the realization of this goal: For example, under the umbrella of EURAMET, the new EMN for Radiation Protection enables European metrology and radiation protection institutes to work together. In Germany, the Physikalisch-Technische Bundesanstalt and the Bundesamt für Strahlenschutz are currently jointly active in developing this EMN. Two federal authorities under dif-

ferent ministries, but with a common goal: to further develop the metrology for radiation protection in Germany and Europe.

The EMN for Radiation Protection was approved in the General Assembly of EURAMET and is officially established since September 2021. The article introduces the EMN and explains the possibilities for participation and the benefits for practical radiation protection: First topics on the further development of the quality infrastructure and the process of national as well as European coordination in the division of tasks in radiation protection metrology are presented. Because of its up-to-date, user-oriented knowledge, the EMN can provide recommendations for the future strategic development of its member institutes. Here, a clear consensus of the partners is already emerging: radiation protection needs more metrological width. For example, national duplication of equivalent reference field facilities cannot solve the problem of missing reference fields. Instead, there is a need for a variety of specialized services for current and future challenges. The driver for this development is that the requirements for radiation protection have become steadily more complex and challenging in recent decades.

1 Herausforderung: Passt meine Messtechnik zu meiner Messaufgabe?

Um in Europa die Menschen gegen die schädliche Auswirkung von ionisierender Strahlung besser zu schützen, sind im Rahmen europäischer Direktiven die Anforderungen an den Strahlenschutz in den letzten Jahrzehnten stetig komplexer und herausfordernder geworden. Strahlenschützer kommen immer häufiger an ihre Grenzen bei dem Versuch, für ihre komplexen Messungen Messtechnik zum Einsatz zu bringen, die für den Messzweck auch wirklich geeignet ist. Wobei die Eignung im eichrechtlichen Sinne (für Orts-, Personen- und Diagnostikdosimeter für Photonenstrahlung) bedeutet, dass Anforderungen von den Messgeräten eingehalten werden, um dem Stand der Technik zur Gewährleistung richtiger Messergebnisse und Messungen zu entsprechen. In Ergänzung dazu beschreibt die Kalibrierung einen Messprozess zur Feststellung und Dokumentation der Abweichung des Anzeigewertes eines Messgerätes vom Anzeigewert eines Bezugsnormals und liefert so eine Rückführung zum SI-Einheitensystem [5]. Beide, Eichung und Kalibrierung, erfordern, dass die verwendeten Referenzfelder oder Normale in ihren Parametern der Anwendung entsprechen: D. h., ist die Konformitätsbewertung eines Dosimeters für einen bestimmten Energiebereich erfolgt, ist damit eine Eignung für niedrigere oder höhere Energien nicht nachgewiesen. Eben solches gilt für gepulste Strahlung: Wird im Rahmen der Baumusterprüfung die Eignung eines Dosimeters für Messungen in gepulsten Strahlungsfeldern nicht geprüft, so kann nicht ausgeschlossen werden, dass das Dosimeter in gepulsten Strahlungsfeldern falsche Messwerte anzeigt. Der Wert einer Prüfung der Konformität mit internationalen technischen Standards ist offensichtlich. Politische Entscheidungsträger bedürfen einer verlässlichen metrologischen Infrastruktur, um Regelwerke zum Schutz vor ionisierender Strahlung zu erstellen.

Auch im Rahmen von Kalibrierungen von Strahlenmesstechnik ist es wichtig, sich diesen Prozess vor Augen zu führen: Ortsdosisleistungsmessgeräte, die im Strahlungsfeld einer Cs-137-Quelle kalibriert wurden, berücksichtigen teils nur unvollkommen den durch natürliche Radionuklide abgedeckten Energiebereich. Erst geeignete Referenzfelder ermöglichen es, Geräte auch für die jeweilige Aufgabe zu kalibrieren. Neben den Bedingungen am Einsatzort sind die messtechnischen Eigenschaften der Messgeräte zu betrachten: Ein für die Aktivitätskonzentration von Rn-222 in einem nach ISO 17025 [6] akkreditiertem Labor kalibriertes Messgerät kann in Mischatmosphären von Rn-222 und Rn-220 falsche Werte liefern. Ebenso können stark abweichende Umweltbedingungen wie eine erhöhte Luftfeuchte einen Einfluss auf das Messergebnis haben. Der Nachweis der Eignung eines Messgerätes für den möglicherweise komplexen Messzweck ist heute die zentrale Herausforderung im Strahlenschutz - und auch in der Metrologie.

Damit steht der Strahlenschutz vor einer technologischen Herausforderung, allerdings einer, die aufgrund ihrer Komplexität keine einzelne Person oder Organisation bewältigen kann. Das bedeutet, dass wir nach neuen Lösungen suchen müssen. Eine solche Lösung könnte ein europäisches Metrologienetzwerk (engl. European Metrology Network, EMN) für den Strahlenschutz sein. Es kann als zentrale Anlaufstelle fungieren, um alle metrologischen Bedürfnisse im Zusammenhang mit dem Strahlenschutz zu sammeln und zu analysieren und so eine koordinierte zuverlässige Qualitätssicherung in Europa zu gewährleisten. Dazu ist es erforderlich, die Kompetenzen der Anbieter von Messtechnik für den Strahlenschutz in Europa zu vereinen, um Anwender, Hersteller, technische Gremien und Regelsetzer zu unterstützen.

Diese Bedürfnisse erkannte auch EURAMET (die Europäische Vereinigung Nationaler Metrologie Institute) und stimmte im Rahmen der Jährlichen Mitgliederversammlung 2021 der Gründung des Europäischen Metrologienetzwerkes „EMN for Radiation Protection“ zu, um die neuen Herausforderungen gemeinsam mit allen Beteiligten des Strahlenschutzes anzugehen. Unterstützt wird der Aufbau dieses Netzwerkes seit 2019 durch das EMPIR Projekt 19NET03 supportBSS [7].

2 Europäische Metrologie Netzwerke

EURAMETs Vision ist es, sicherzustellen, dass Europa über eine weltweit führende Metrologiekompetenz verfügt, die auf hochwertiger wissenschaftlicher Forschung und einer effektiven und vielfältigen Qualitätsinfrastruktur basiert und so den schnell wachsenden Anforderungen der Endnutzer gerecht wird.

EURAMETs Europäische Metrologie-Netzwerke (EMNs) tragen zur Verwirklichung dieses Ziels bei und bilden die dritte Säule der Organisation (siehe Abb.1). In 2020 existieren bereits sieben EMN: Climate and Ocean Observation, Energy Gases, Laboratory Medicine, MATHMET, Quantum Technologies, Smart Electricity Grids und Smart Specialisation in Northern Europe. Im Jahr 2021 wurde neben Radiation Protection noch ein weiteres EMN erfolgreich gegründet: Advanced Manufacturing. In jüngster Zeit kamen noch zwei weitere EMN hinzu: Pollution Monitoring und Safe and Sustainable Food. Somit beträgt die Zahl dieser themenorientierten Metrologienetzwerke jetzt elf. Die Aufgabe der aktuell elf EMN ist es, den europäischen und globalen Metrologiebedarf zu analysieren und koordiniert anzugehen.

Die EMN Mitgliedsinstitute formulieren gemeinsame Metrologie-Strategien, die Aspekte wie Forschung, Infrastruktur, Wissenstransfer und Dienstleistungen umfassen. Die Mitglieder verpflichten sich, einen Beitrag zum EMN zu leisten und dabei zu helfen, nachhaltige Strukturen zu schaffen, die von Anfang an strategisch geplant sind. Dabei erfüllen die EMN die Aufgabe einer zentralen Anlaufstelle für Informationen und Bedarfe. EMN zielen darauf ab eine langfristige Infrastruktur aufzubauen, in der Wissen geschaffen und verbreitet wird, um letztendlich eine internationale Führungsrolle zu erlangen und die Zusammenarbeit in der gesamten wissenschaftlichen Gemeinschaft der Messtechnik aufzubauen.

Langfristig wird erwartet, dass sich 2023 weitere Netzwerke gründen, um alle aktuellen und zukünftigen gesellschaftlichen Herausforderungen mit messtechnischer Expertise unterstützen zu können. Dabei steht besonders die nachhaltige Energie im Fokus, so dass die Gründung des EMN Clean Energy erwartet werden darf.

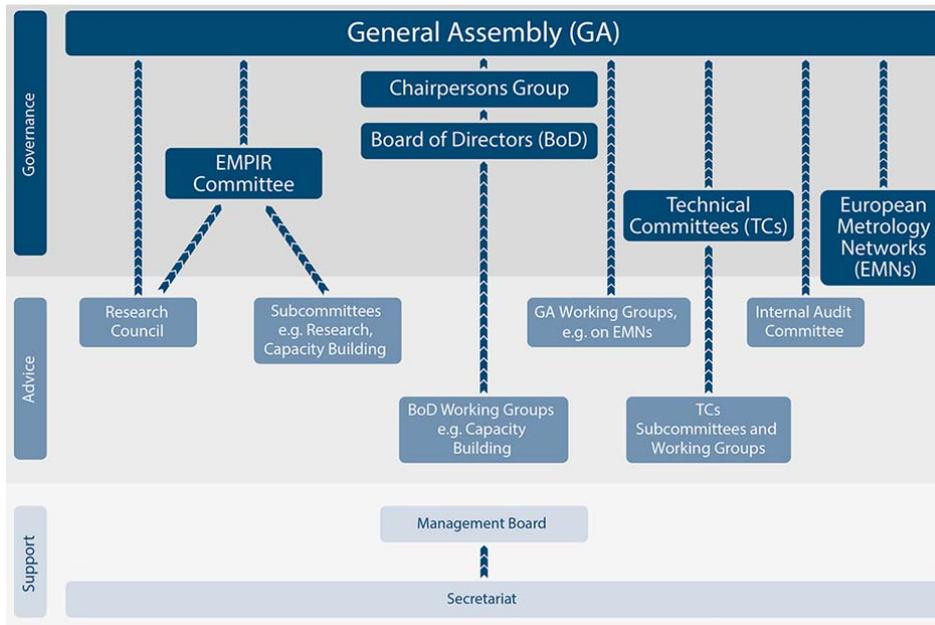


Abb. 1: Die Rolle der Europäischen Metrologienetzwerke als neues Element in der Organisation von EURAMET e.V, Copyright: EURAMET (<https://www.euramet.org/about-euramet/organisation/>) und weiterentwickelt aus [10]. Die technischen Komitees und die Metrologienetzwerke wirken zusammen: Durch das Technical Committee for Ionising Radiation (TC-IR) und das EMN für den Strahlenschutz wird die Rolle der ionisierenden Strahlung unter EURAMET insgesamt gestärkt.

3 Wer engagiert sich für die Metrologie des Strahlenschutzes?

Die Richtlinie 2013/59/EURATOM [5] hat die rechtlichen Grundlagen zur nationalen Umsetzung für den Schutz vor den Gefahren ionisierender Strahlung für die Arbeitskräfte, die Bevölkerung und die Umwelt geschaffen. Die Richtlinie gilt für jede geplante, bestehende oder Notfall-Expositionssituation. Sie konzentriert sich auf Expositionen, die aus Sicht des Strahlenschutzes und der Umwelt im Hinblick auf den langfristigen Schutz der menschlichen Gesundheit nicht vernachlässigt werden können. Die aktualisierte Richtlinie beinhaltet auch reduzierte Expositionsgrenzwerte, wie zum Beispiel den Dosisgrenzwert für die Augenlinse oder die erstmalige Einführung allgemeiner Referenzwerte für die Radon-Aktivitätskonzentration.

Darüber hinaus haben neue technologische Entwicklungen, wie z. B. gepulste Felder in medizinischen, industriellen und technischen Anwendungen, dazu geführt, dass Strahlungsfelder von wachsender Komplexität immer häufiger eingesetzt werden. So ist die Metrologie als Grundlage der Qualitätssicherung für solche Strahlenschutzmessungen und die gesetzlich geforderte Dosisabschätzung eine hochkomplexe Aufgabe geworden. Im Ergebnis erfordert diese Entwicklung verstärkte Anstrengungen in allen europäischen Mitgliedsstaaten, um nachhaltige metrologische Kompetenz aufzubauen und zu erhalten. Dabei ist zu beachten, dass die zunehmende Digitalisierung in den nächsten Jahren zu einer digitalen gesetzlichen Dosimetrie führen wird und muss. Denn: In einem globalen europäischen Arbeitsmarkt ist die Qualitätssicherung der Exposition von strahlenexponierten Arbeitskräften grenzüberschreitend erforderlich.

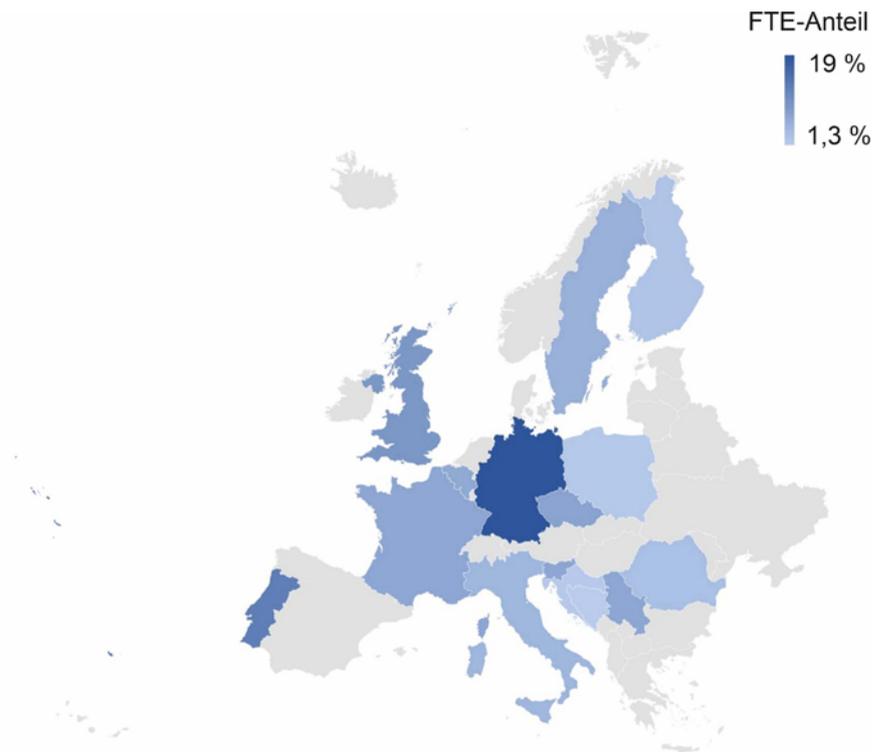


Abb. 2: Länder der Gründungsmitglieder des EMN for Radiation Protection. Der Farbcode entspricht ihrem jeweiligen Beitrag an personellen Kapazitäten. Insgesamt sind es mehr als 220 Vollzeitbeschäftigte (engl. Full Time Equivalents, kurz FTEs). Es sind sowohl die Metrologieinstitute als auch die Nicht-Metrologieinstitute berücksichtigt.

Im Jahr 2018 formierte sich ein Konsortium, um ein EMN zum Strahlenschutz vorzubereiten. Das Vorbereitungsprojekt EMPIR 19NET03 supportBSS bündelt die Kompetenz aus 16 nationalen Metrologieinstituten (engl. National Metrology Institutes, kurz NMI's) bzw. designierten Instituten (DIs) aus den Ländern Deutschland, Frankreich, Tschechien, Italien, Polen, Rumänien, Bosnien und Herzegowina, Kroatien, Portugal, Slowenien, Vereinigtes Königreich, Belgien, Schweden, Serbien und Finnland. Mehr Informationen finden sich unter [7,8,9]. Nachfolgende Metrologieinstitute sind seit 2021 Gründungsmitglieder des EMN Radiation Protection: Physikalisch-Technische Bundesanstalt (PTB), Commissariat à l'énergie atomique et aux énergies alternatives (CEA), Český metrologický institut (CIM), Agenzia Nazionale per le nuove tecnologie, l'energia e lo sviluppo economico sostenibile (ENEA), Central Office of Measures (GUM), Institutul National de Cercetare-Dezvoltare pentru Fizica si Inginerie Nucleara "Horia Hulubei" (IFIN-HH, Institut za mjeriteljstvo Bosne i Hercegovine (IMBiH), Ruđer Bošković Institute (IRB), Institut de Radioprotection et de Surete Nucleaire (IRSN), Instituto Superior Tecnico (IST), Institut Jožef Stefan (JSI), NPL Management Limited (NPL), Studiecentrum voor Kernenergie, Centre d'Etude de l'Energie Nucléaire (SCK-CEN), Strålsäkerhetsmyndigheten (SSM), Institut Za Nuklearne Nauke Vinca (VINS) und Sateilyturvakeskus (STUK). Diesen Metrologieinstituten haben sich bereits zwei weitere Organisationen angeschlossen, die als Gründungsmitglieder ein solches Netzwerkmitgestalten wollen: Das Bundesamt für Strahlenschutz (BfS) und EURADOS e. V. 2023 kamen zwei weitere Partner dazu: Das Central Laboratory for Radiological Protection aus Polen und die Eckert & Ziegler Nuclitec GmbH aus Deutschland. Wirft man einen Blick auf Europa, sieht man, über welche Kompetenzen und Kapazitäten das Netzwerk verfügt (siehe Abb. 2). Eine Erweiterung der Mitglieder ist ausdrücklich gewünscht.

Mit der zentralen Unterstützung von EURAMET bündelt das EMN for Radiation Protection die Kompetenzen seiner Mitglieder und bietet deren Dienstleistungen eine gemeinsame Plattform. Die Beiträge und Initiative der Mitglieder schaffen eine nachhaltige Struktur im Strahlenschutz, die Aspekte der Metrologie gleichermaßen beim Wissensaufbau und -verbreitung wie auch bei der Anwendung des Wissens in den Fokus stellt. Eine seiner wichtigsten Aufgaben wird sein, der Metrologie des Strahlenschutzes eine starke Stimme in Europa zu geben, um die technologische Entwicklung verantwortungsvoll begleiten zu können.

4 Was sind die nächsten Schritte?

Momentan arbeitet das EMN for Radiation Protection an der Identifizierung des Forschungsbedarfs im Strahlenschutz, organisiert sich selbst und diskutiert die Möglichkeiten der Spezialisierung. Das EMN wird durch sein aktuelles, anwenderorientiertes Wissen Empfehlungen für die zukünftige strategische Entwicklung seiner Mitgliedsinstitute geben können. Es zeichnet sich bereits jetzt ein klarer Konsens der Partner ab: Der Strahlenschutz braucht mehr metrologische Breite. So kann beispielsweise eine nationale Duplizierung von gleichwertigen Referenzfeldanlagen das Problem fehlender Referenzfelder nicht lösen. Stattdessen braucht es eine Vielzahl spezialisierter Angebote für aktuelle und kommende Herausforderungen [11]. So besitzen bspw. Deutschland und Rumänien ein Untertagelabor mit einer Bestrahlungseinrichtung für Photonen. Es ist weder sinnvoll noch finanzierbar, dass andere Länder weitere Kapazitäten in dieser Hinsicht aufbauen, während andere Referenzfelder dringlich benötigt werden: Zum Beispiel in den Bereichen der gepulsten Strahlung, bei hohen Energien, bei den epithermischen Neutronen, bei dem Angebot an Aktivitätsnormalen, Referenzmaterialien und vielem mehr. Es gibt viele weitere Beispiele für solche Lücken von Kalibrierangeboten. Deshalb war auch der Workshop „Gaps in radiation protection metrology“, durchgeführt 2020, so außerordentlich erfolgreich. Mehr als 100 Experten aus 40 europäischen Instituten nahmen teil, um den Bedarf für weitere Lösungen aus der Metrologie zu identifizieren. Eine zusammenfassende gemeinsame Darstellung der Ergebnisse fand im Rahmen der RAD 2021 — International Conference on Radiation in Various Fields of Research — im Juni 2021 statt [9]. Die Analyse der metrologischen Lücken ist nur der erste Schritt bei der Entwicklung einer Forschungsagenda. Dabei muss beachtet werden, dass der Forschungsbedarf nicht ausschließlich der Errichtung, dem Erhalt und der Verbesserung der Qualitätsinfrastruktur für Belange der Council Directive 2013/59/EURATOM [2], sondern auch für den EURATOM Vertrag [4] gelten soll. Auch die Empfehlungen der IAEA und der WHO [12] werden berücksichtigt. Da Strahlenschutz in der Implementierung national erfolgt, ist ein Blick auf die nationalen Vorschriften und der zugehörigen Infrastruktur [13] eine wichtige Grundlage.

Aktuell verfügt das EMN über eine Strategische Agenda, den Entwurf der Forschungsagenda, einen eigenen Webauftritt und dauerhafte Strukturen wie Server, interne Mitgliederbereiche und ein Regelwerk für Mitglieder und Partner, um ein reibungsloses Funktionieren dieses großen Netzwerkes sicherzustellen. Mit der ICRP wurde ein Letter of Intent geschlossen, um sich gegenseitig zu unterstützen. Gemeinsame Fortbildungsaktivitäten werden bereits mit EURADOS e. V. angeboten, das Capacity Building für die metrologischen Grundlagen im Strahlenschutz mit anderen europäischen Partnern ist erprobt und der Informationsbedarf von Drittmittelsuchenden wird mit Konsultationen zum Partnership on Metrology und bzgl. Informationen zu PIANO-FORTE begegnet. Erfolgreich waren Mitglieder im Call 2022 des Partnerships on Metrology mit den Projekten “Harmonisation, update and implementation of standards related to radiation protection dosimeters for photon radiation” (22NRM07 GuideRadPROS) und “Traceability in medical X-ray imaging dosimetry” (22NRM01 TraMeXI).

5 **Schlussfolgerungen**

Das EMN for Radiation Protection (Kurzname: EMN RP) wurde im Juni 2021 von EURAMET genehmigt und nahm seine Arbeit nur Wochen später auf. Unterstützung erhält das EMN von einer weltweiten breiten wissenschaftlichen Gemeinschaft aus Strahlenschutz und Metrologie. An dieser Stelle sei die herausragende Begleitung und Mitarbeit durch das BIPM, der ICRP, der IAEA und des TC-IR von EURAMET erwähnt. Alle Akteure eint das Ziel, neue und verbesserte Daten [14] und Dienstleistungen für die Wissenschaft, die Wirtschaft, Bevölkerung und Entscheidungsträger bereit zu stellen.

Das Aufsetzen einer neuen Struktur dieses Umfangs ist eine große Herausforderung, denn sie berührt strategische Interessen von Forschungseinrichtungen, Ministerien und Mitgliedsstaaten. Aus Sicht der Mitglieder ist das Netzwerk unbedingt notwendig [15]. Nur so lässt sich langfristig die Einführung von neuen Technologien mit Metrologie begleiten, ihr Einsatz schnell und sicher ermöglichen und ein gemeinsames europäisches Verständnis im Umgang generieren. Wichtig für die Zukunft bleibt bei allem europäischen Engagement auch die nationale Anstrengung [16,17] einer nachhaltigen Förderung von Ausbildung im Strahlenschutz, die fortgesetzte Teilhabe an exzellenter Wissenschaft in Strahlenforschung und die strategische Planung und Finanzierung von leistungsfähiger Qualitätsinfrastruktur einzufordern.

7 **Danksagung**

Ein großer Dank geht an EURAMET e. V., das mit dem Rahmenprogramm EMPIR ein solches Projekt und mit der Initiative der Europäischen Metrologienetzwerke eine solche Struktur überhaupt erst möglich gemacht hat. Für die zielführende und konstruktive Diskussion bei der Entstehung dieses Artikels bedanken sich die Autoren bei ihren EMN RP Kollegen.

8 **Literatur**

- [1] Clarke RH, Valentin J.: The history of ICRP and the evolution of its policies. ICRP Publication 109. Ann ICRP. 2009; 39: 75-110, <https://doi.org/10.1016/j.icrp.2009.07.009>
- [2] The International Commission on Radiological Protection 80th Anniversary: The evolution of its policies through 80 years. In: Gallego, E., Pérez, M., Beatriz, G. (Eds.), Strengthening Radiation Protection Worldwide, IRPA XII Congress.
- [3] Treaty establishing the European Atomic Energy Community, established the European Atomic Energy Community, signed on 25 March 1957. CONSOLIDATED VERSION, ISBN 978-92-824- 5085-7. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/DE/TXT/?uri=CELEX:12012A/TXT>
- [4] Council Directive 2013/59/Euratom of 5 December 2013 laying down basic safety standards for protection against the dangers arising from exposure to ionising radiation, CELEX number: 32013L0059, 2013 <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/DE/TXT/?uri=CELEX%3A12012A%2FTXT>
- [5] Joint Committee for Guides in Metrology: International vocabulary of metrology – Basic and general concepts and associated terms (VIM), 2012, <https://doi.org/10.1515/ci.2012.34.3.26>
- [6] DIN EN ISO/IEC 17025:2018-03: Allgemeine Anforderungen an die Kompetenz von Prüf- und Kalibrierlaboratorien (ISO/IEC 17025:2017)
- [7] Röttger, A., Veres, A., Sochor, V., Pinto, M., Derlacinski, M., Ioan, M-R., Sabeta, A., Bernat, R., Adam-Guillermin, C., Gracia Alves, J.H., Glavič-Cindro, D., Bell, S., Wens, B., Persson, L., Živanović, M. and Nylund, R: Metrology for radiation protection: a new European network in the foundation phase, Adv. Geosci., 57, 1–7, 2021, <https://doi.org/10.5194/adgeo-57-1-2021>

- [8] European Metrology Network for Radiation protection, last accessed in 09/2023: <https://www.euramet.org/european-metrology-networks/radiation-protection>
- [9] Khanbabaee, B., Röttger, A., Behrens, R., Röttger, S., Feige, S., Hupe, O., Zutz, H., Toroi, P., Leonard, P., de la Fuente Rosales, L., Burgess, P., Gressier, V., Gutiérrez Villanueva, J-L., Cruz Suárez, R. and Arnold, D: SUPPORT FOR A EUROPEAN METROLOGY NETWORK ON RELIABLE RADIATION PROTECTION: GAPS IN RADIATION PROTECTION AND RELATED METROLOGY, RAD Conference Proceedings, vol. 5, pp. 21–27, 2021, ISSN 2466-4626 (online), <https://doi.org/10.21175/RadProc.2021.04>
- [10] Duncan Jarvis, Progress on developing EMNs, Berlin Workshop, 2018-12-14.
- [11] European Commission Smart Specialisation Platform, last accessed in 05/2021.
- [12] INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, WORLD HEALTH ORGANIZATION, Protection of the Public against Exposure Indoors due to Radon and Other Natural Sources of Radiation, IAEA Safety Standards Series No. SSG-32, IAEA, Vienna (2015), <https://www-pub.iaea.org/MTCD/publications/PDF/Pub1651Web-62473672.pdf>
- [13] Ionising radiation metrology infrastructure in Europe A survey in European counties' regulations about IR metrology regulations and calibration requirements in radiation protection legislation. Ionising radiation metrology infrastructure in Europe, January 2017, Report number: 2017:2Affiliation: Norwegian Radiation Protection Authority.
- [14] A. Röttger, S. Röttger, F. Mertes, U. Kartens, V. Gruber, I. Levin. Radon: Das Schöne und das Biest, Strahlenschutzpraxis 2/2021.
- [15] A. Röttger: Die Metrologie des Strahlenschutzes: Zusammenarbeit für Europa, Strahlenschutz-Praxis: 28 (2022), 1, 65 – 70, Fachverband für Strahlenschutz e. V. für Deutschland und die Schweiz ISSN 0947-434X (PRINT)
- [16] Bell, S., Glavič-Cindro, D. (Jožef Stefan Institute, Ljubljana. Slovenia), ALVES, J., Adam-Guillermin, C., Bernat, R., Sabeta, A., Ioan, M-R., DERLACINSKI, M., Pinto, M., Sochor, V., Veres, A., RÖTTGER, A., Živanović, M., Wens, B., Persson, L., Nylund, R., Kržanović, N., Stankovic, S. and Dimovic, S.: A NEW EUROPEAN RADIATION PROTECTION NETWORK DEVELOPED BY THE SUPPORT BSS JOINT NETWORK PROJECT, Radiation Protection society of Serbia and Montenegro, proceedings, XXXI symposium RPSSM, 2021, e-ISBN 78-86-7306-161-0, p. 309, <https://vinar.vin.bg.ac.rs/bitstream/handle/123456789/10125/309-314.pdf>
- [17] H. Zutz, J. Busse, B. Khanbabaee, O. Hupe, A. Röttger, DEVELOPMENT OF A EUROPEAN METROLOGY NETWORK FOR RELIABLE RADIATION PROTECTION: PULSED HIGH ENERGY PHOTON REFERENCE FIELD AS A METROLOGICAL GAP IN RADIATION PROTECTION, Physica Medica, Volume 94, Supplement, 2022, Page S113, ISSN 1120-1797, [https://doi.org/10.1016/S1120-1797\(22\)01699-4](https://doi.org/10.1016/S1120-1797(22)01699-4).

V032: Neuordnung der Emissionsüberwachung und deren Qualitätssicherung

*M. Siegfried, P. Woidy,
Bundesamt für Strahlenschutz*

Kurzfassung

Zur Umsetzung der Richtlinie 2013/59/EURATOM wurde das deutsche Strahlenschutzrecht umfassend novelliert. Auf Grundlage der Ermächtigung im § 81 Strahlenschutzgesetz regelt der § 103 Strahlenschutzverordnung die Emissions- und Immissionsüberwachung für radioaktive Stoffe.

Nach der neuen Strahlenschutzverordnung sind jegliche Ableitungen radioaktiver Stoffe vom Strahlenschutzverantwortlichen zu überwachen und die Messergebnisse der zuständigen Behörde mitzuteilen. Von der Mitteilungspflicht kann die Behörde zwar unter bestimmten Voraussetzungen befreien, nicht aber, wie nach alter Strahlenschutzverordnung, von der Überwachungspflicht.

Zudem wurde die bisherige, auf Richtlinien beruhende Praxis der unabhängigen Kontrollmessungen der Ableitungen aus kerntechnischen Anlagen gesetzlich verankert und auf alle Emissionsmessungen ausgeweitet. Weiterhin ist nun das Bundesamt für Strahlenschutz für die bundesweite Durchführung der Kontrollmessungen zuständig. Ergänzend wurde mit der verpflichtenden Teilnahme an Ringversuchen des Bundesamts für Strahlenschutz eine weitere Qualitätssicherungsmaßnahme für Emissionsmessungen eingeführt.

Die Änderungen bezüglich der Emissionsüberwachung betreffen in der Praxis neben einigen kerntechnischen Anlagen überwiegend sonstige Anlagen oder Einrichtungen. Zur praktischen Umsetzung der rechtlichen Vorgaben hat das Bundesamt für Strahlenschutz in einem Forschungsvorhaben eine Übersicht der Emittenten und Emissionen erarbeiten lassen und sich mit den zuständigen Landesbehörden intensiv ausgetauscht.

Die konkreten Implikationen für den praktischen Strahlenschutz sind noch nicht abschließend geklärt und bedürfen weiterer Diskussion mit den beteiligten Behörden.

V036: Kontamination von Waldprodukten

Contamination of forest products

P. Hartmann, O. Meisenberg, U. Gerstmann

Bundesamt für Strahlenschutz, Oberschleißheim (München), Deutschland

Zusammenfassung

Rund 37 Jahre nach dem Reaktorunfall von Tschornobyl weisen die meisten Nahrungsmittel in Deutschland nur geringe Radiocäsium-Aktivitäten auf. Ausnahmen sind einige Waldprodukte, wobei Überschreitungen des Grenzwerts von 600 Bq/kg für Cs-137 in der Regel nur bei Fleisch von Wildschweinen und einigen Pilzarten vorkommen.

In einem jährlichen Messprogramm untersucht und veröffentlicht das BfS die Kontamination verschiedener Speisepilze mit Cs-137. In mehreren Forschungsprojekten des BfS wurden die Kontamination von Wildschweinen in Deutschland mit Cs-137 sowie wichtige Einflussfaktoren und Schlüsselprozesse, wie die Verfügbarkeit und Kontamination des kritischen Nahrungsbestandteils „Hirschtrüffel“, untersucht.

Jägerinnen und Jäger sowie deren Angehörige sind die Personengruppe, die mutmaßlich überdurchschnittlich viele Waldprodukte verzehren. Aufgrund der Vermutung, bei Mitgliedern dieser Personengruppen wegen ihrer Verzehrsgewohnheiten tendenziell erhöhte Körperaktivitäten von Cs-137 zu finden, hat die Inkorporationsmessstelle Neuherberg des BfS die Körperaktivität von 58 dieser Personen gemessen.

Summary

About 37 years after the Chornobyl reactor accident, most foods in Germany have only low levels of radiocaesium. Exceptions are some forest products, with exceedances of the limit value of 600 Bq/kg for Cs-137 only occurring in meat from wild boar and some species of mushrooms.

In an annual measurement programme, the Federal Office of Radiation Protection (BfS) investigates and publishes the Cs-137 contamination of various edible mushrooms. In several BfS research projects, the Cs-137 contamination of wild boar in Germany as well as important influencing factors and key processes, such as the availability and contamination of the food component “deer truffle”, were investigated.

Huntsmen and their families are the groups of people who presumably consume an above-average amount of forest products. Based on the assumption that huntsmen and their families tend to have particularly high body activities of Cs-137 due to their eating habits, the BfS Neuherberg Internal Monitoring Service measured the body activity of 58 huntsmen and their family members.

1 Dynamik von Cs-137 in Waldböden

Auch über dreißig Jahre nach dem Reaktorunfall von Tschornobyl ist die Kontamination bestimmter Pilzarten und Wildtiere mit Cs-137 in einigen Teilen Europas noch deutlich erhöht. Während landwirtschaftliche Produkte aufgrund der starken Bindung von Cäsium an Tonminerale in Mineralböden nur sehr geringe Kontaminationen aufweisen, bietet das Ökosystem Wald

wegen seines unterschiedlichen Bodenaufbaus eine hohe Verfügbarkeit von Cäsium für Pflanzen, Pilze und Waldtiere.



Abb. 1: Schematische Darstellung der Dynamik von Cs-137 im Waldökosystem (links) und typisches Bodenprofil eines Waldbodens (rechts)

Ein typisches Bodenprofil eines Waldbodens ist in Abb. 1 dargestellt. Der Hauptteil der verfügbaren Nährstoffe befindet sich in der organischen Auflage (Blätter, Nadeln, Totholz etc.). In dem organischen Material befindet sich auch Cs-137, das zuvor von den Waldorganismen aufgenommen wurde. Durch den Abbau der organischen Stoffe durch Pilze und Mikroorganismen wird dieses Cs-137 freigesetzt und für Pflanzen und Pilze verfügbar gemacht. Die Aufnahme des Cs-137 durch Pflanzen, Pilze und Mikroorganismen und die Akkumulation in der organischen Auflage verlangsamen die Verlagerung von Cs-137 in tiefere Bodenschichten außerdem erheblich.

2 Kontamination von Wildpilzen mit Cs-137

In einigen Regionen Deutschlands, insbesondere südlich der Donau und im Bayerischen Wald, werden auch heute noch in manchen Pilzarten erhöhte Aktivitäten von Cs-137 gemessen. Semmelstoppelpilze, Rotbraune Semmelstoppelpilze sowie Maronenhöhrlinge, Gemeine Rotfußhörnlinge und Gelbstielige Trompetenpfefferlinge aus dem Bayerischen Wald und aus dem Berchtesgadener Land können beispielsweise über 1.000 Bq Cs-137 pro kg Frischmasse aufweisen.

Die spezifischen Aktivitäten bei Wildpilzen variierten je nach Untersuchungsgebiet und Pilzart sehr stark. Abb. 2 zeigt die Maximalwerte der Kontamination verschiedener Pilzarten für die Jahre 2019 bis 2021 an den vom BfS untersuchten Standorten in Süddeutschland. Auch die Dynamik der Kontaminationswerte (siehe Abb. 3) hängt erheblich von der Pilzart ab. Bei manchen Pilzarten fielen die spezifischen Aktivitäten schnell ab, während sie bei anderen Pilzarten

anfänglich sogar anstiegen. Ein wichtiger Grund für diese unterschiedliche Dynamik ist die art-spezifische Bodentiefe des Pilzmyzels.

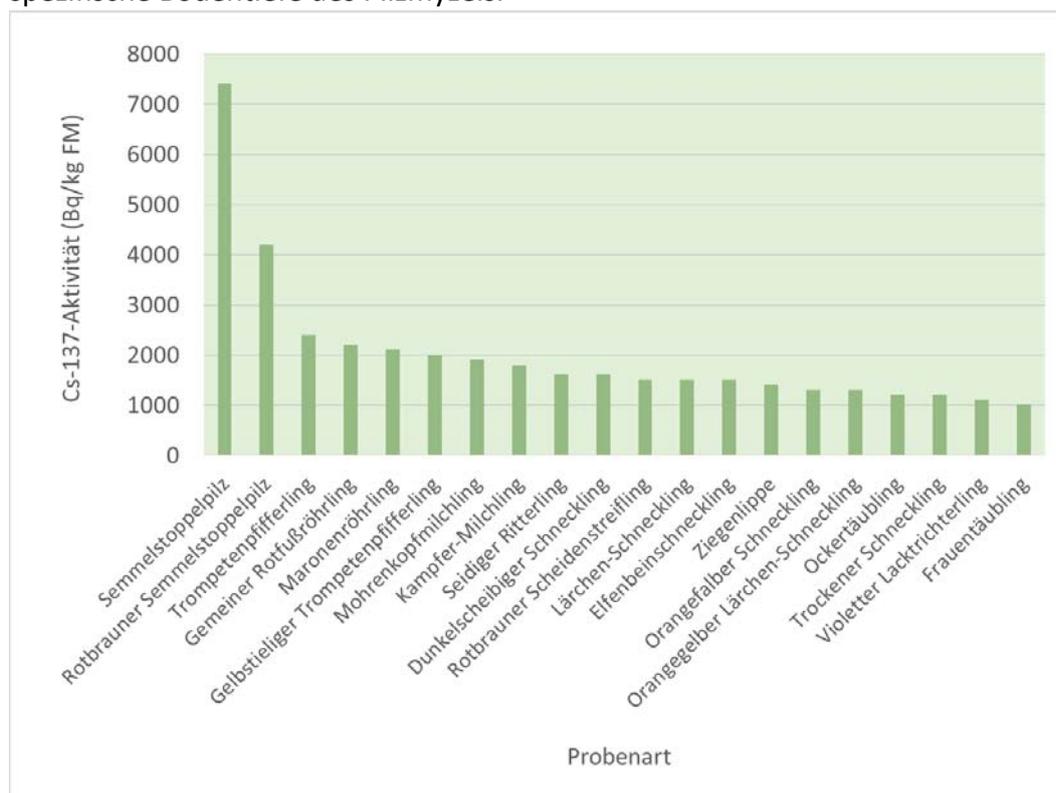


Abb. 2: Maximalwerte der Cs-137 Kontamination verschiedener Pilzarten in den Jahren 2019-2021 an den vom BfS untersuchten Standorten in Süddeutschland

Die Tiefe der Myzelien verschiedener Pilzarten wurde dadurch bestimmt, dass das für eine Bodentiefe charakteristische Isotopenverhältnis Cs-137/Cs-134 mit dem Isotopenverhältnis in den Fruchtkörpern der betreffenden Pilzart verglichen wurde [2]. Während Cs-137 sowohl von den oberirdischen Kernwaffenversuchen als auch vom Reaktorunfall von Tschornobyl stammt, rührt Cs-134 ausschließlich vom Reaktorunfall her. Da die Deposition von Radiocäsium aus dem Reaktorunfall von Tschornobyl deutlich später erfolgte als die der Beiträge aus den Kernwaffenversuchen und deshalb weniger tief in den Boden gewandert ist, entstand eine charakteristische Tiefenverteilung des Isotopenverhältnisses Cs-137/Cs-134. Heute ist Cs-134 weitgehend zerfallen.

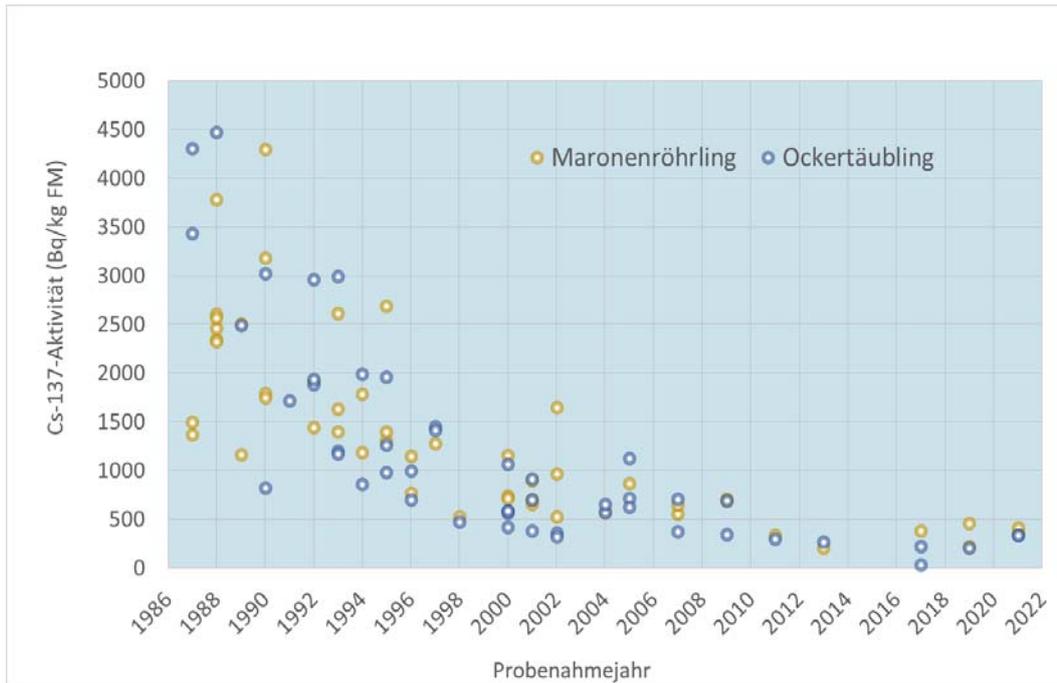


Abb. 3: Zeitverlauf der spezifischen Aktivität von Cs-137 in Maronenröhrlingen und Ockertäublingen von 1987 bis 2021 am Standort Hochstadt im Großraum München

3 Kontamination von Wildschweinen mit Cs-137

Umfangreiche Messprogramme [3, 4] zeigten, dass die Radiocäsiumbelastung von Rehen (*Capreolus capreolus*) und Rothirschen (*Cervus elaphus*) nach dem Reaktorunfall von Tschornobyl im Mittel kontinuierlich abnahm, während die von Wildschweinen (*Sus scrofa*) entweder relativ konstant blieb oder sogar anstieg [4]. Die Kontamination von Wildschweinen mit Cs-137 erreicht immer noch vereinzelt mehr als 10.000 Bq/kg Frischmasse, zeigt aber eine außergewöhnlich hohe Variabilität. Abb. 4 veranschaulicht den Zeitverlauf der gemessenen Kontamination von Wildschweinen. Die Messwerte bis 2005 beziehen sich auf Probenahmen im gesamten Bayerischen Wald, spätere Messwerte beziehen sich auf das Waldgebiet Bodenmais/Hohenzollern. Dieses Waldgebiet gehört zu den am höchsten mit Cs-137 belasteten Orten Deutschlands.

Die Gründe für das eigentümliche Kontaminationsmuster von Wildschweinen sind intensiv untersucht worden [3, 4, 5]. Die Autoren kommen zu dem Schluss, dass die unregelmäßige Aufnahme von hochkontaminierten Hirschtrüffeln (*Elaphomyces granulatus*) als „Leckerbissen“ für diese Tiere in Verbindung mit der kurzen biologischen Halbwertszeit von Cs-137 in Wildschweinen der dominierende Mechanismus für das beobachtete Kontaminationsmuster ist. Die biologische Halbwertszeit von Cs-137 in Wildschweinen hängt von der Masse der Tiere ab und liegt in der Größenordnung von einigen 10 Tagen.

Die Tiere verzehren die unterirdisch wachsenden Hirschtrüffel unregelmäßig und in variierenden Mengen. Die Hirschtrüffel wachsen in einem vergleichsweise großen Tiefenbereich. Je nach Tiefe des Myzels und dem lokalen Tiefenprofil variiert die Kontamination mit Cs-137 sehr stark. Hartmann et al. [5] haben den stochastischen Prozess der Hirschtrüffelaufnahme durch Wildschweine in einem Kompartimentmodell umgesetzt und mithilfe von Umweltdaten und Literaturwerten modelliert. Die zeitabhängige Aufnahme von Cs-137 wurde im Wesentlichen aus Daten von Mageninhaltsanalysen [3] und Kontaminationswerten von Hirschtrüffeln berechnet. Die Kontaminationswerte für Wildschweine wurden mithilfe der zeitabhängigen Aufnahme von

Cs137 und einer allometrischen Relation für die masseabhängige biologische Halbwertszeit von Cs-137 in Wildschweinen ermittelt. Die aus dem Modell berechnete Verteilung der spezifischen Aktivität in Wildschweinfleisch ist in guter Übereinstimmung mit den Messdaten.

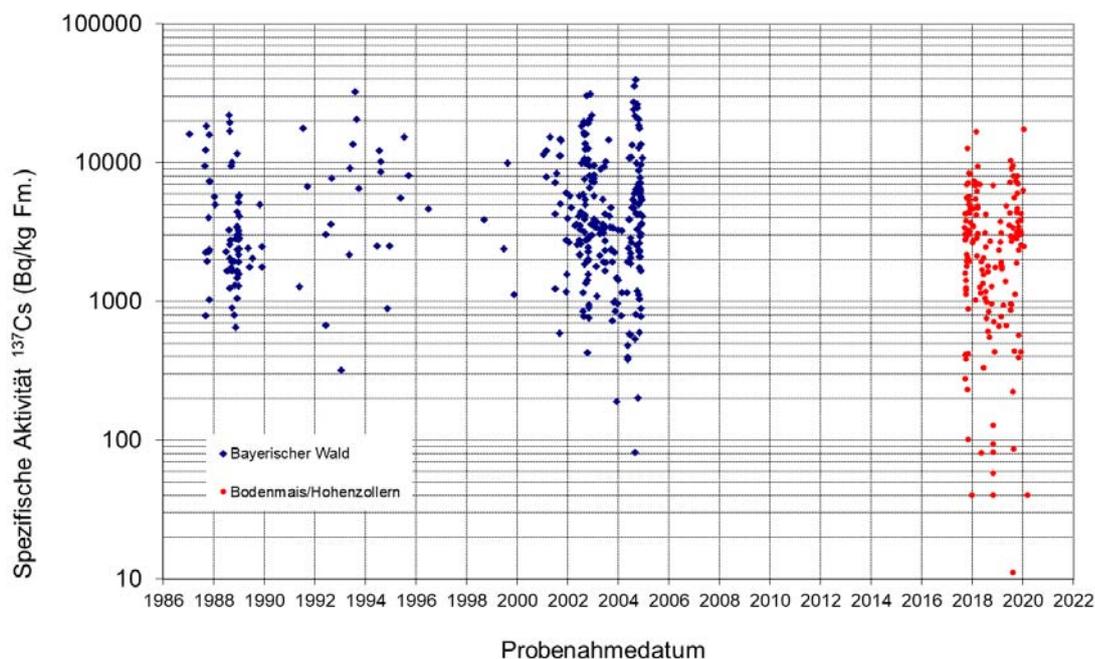


Abb. 4: Entwicklung von Kontaminationswerten bei Wildschweinen aus dem Bayerischen Wald in den Jahren 1987 bis 2021. Probennahmen ab 2017 erfolgten in Bodenmais/Hohenzollern

In einer Arbeit von Fielitz [4] wurden in drei Untersuchungsgebieten sowohl Wildschweine als auch Hirschtrüffel beprobt. Es wurden jeweils 2 m x 2 m große Flächen beprobt und die Gesamtmasse der darauf gefundene Hirschtrüffel sowie die Tiefe der Fruchtkörper bestimmt. Zudem wurden Stichproben für die Kontaminationsmessung genommen und die Tiefe der Fruchtkörper bestimmt. Die Fruchtkörper wurden schwerpunktmäßig in einer Tiefe von 10 bis 15 cm gefunden, wobei es vereinzelt Funde in einer Tiefe bis zu 22 cm gab.

4 Ganzkörpermessungen bei Jägerinnen und Jägern und deren Angehörigen

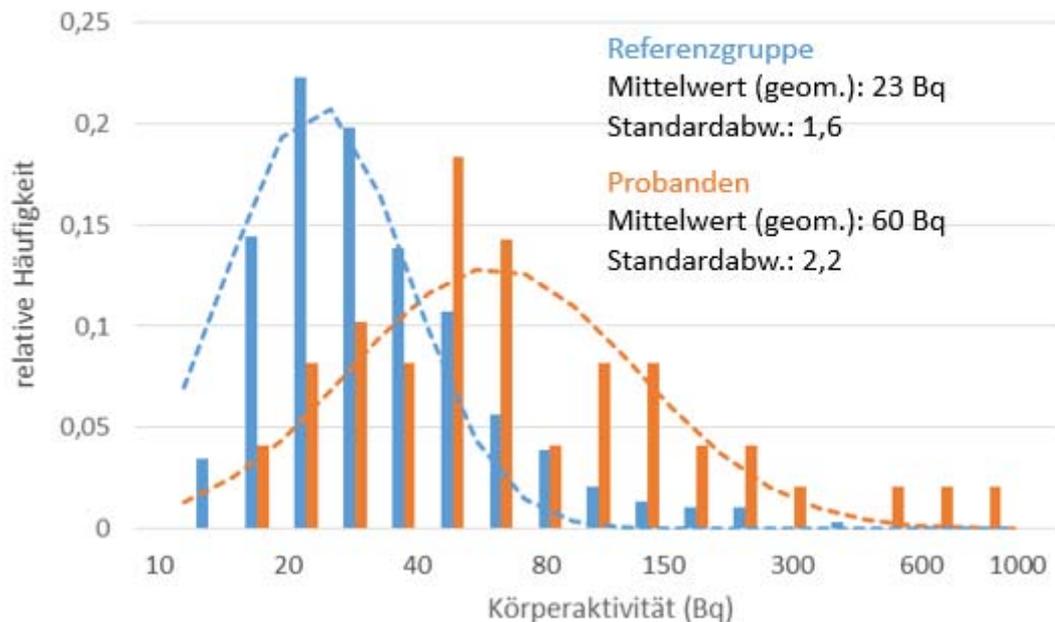


Abb. 5: Körperaktivitäten der teilnehmenden Jägerinnen und Jäger und deren Angehörigen im Vergleich zur Kontrollgruppe

Die Inkorporationsmessstelle Neuherberg des BfS hat die Körperaktivität von Jägerinnen und Jägern sowie deren Angehörigen untersucht, um der Frage nachzugehen, ob diese Personen-Gruppe aufgrund ihrer speziellen Ernährungsgewohnheiten höhere Cs-137-Aktivitäten aufweist [6]. An den Messungen nahmen insgesamt 51 Jägerinnen und Jäger sowie 7 Familienangehörige teil, die überwiegend in Bayern wohnen. Die Daten wurden anschließend mit den Ergebnissen aus 1.729 Messungen an Personen aus der bayerischen Durchschnittsbevölkerung als Referenzgruppe verglichen.

Insgesamt lag bei ca. 80 Prozent der Teilnehmer ein Messergebnis oberhalb der Erkennungsgrenze für Cs-137 vor. Im Vergleich dazu ist nur bei ca. 25 Prozent der Durchschnittsbevölkerung Cs-137 nachweisbar.

Abb. 5 zeigt die Häufigkeiten der Körperaktivitäten für die Jägerinnen und Jäger sowie deren Angehörige im Vergleich zur Referenzgruppe. Der Mittelwert für die Körperaktivitäten liegt für die Probanden bei 60 Bq und damit fast um einen Faktor drei höher als für die Referenzgruppe. Es konnte also gezeigt werden, dass die Aufnahme von Cs-137 der Jägerinnen und Jäger sowie ihrer Angehörigen in der Studie im Vergleich zur allgemeinen Bevölkerung deutlich erhöht war. Diese Erhöhung kann auf den Verzehr von Wildschweinfleisch und Wildpilzen zurückgeführt werden. Um die Beiträge dieser beiden Nahrungsbestandteile zu unterscheiden, wurden die Probanden befragt, ob sie selbstgesamelte Wildpilze verzehren. In Abb. 6 sind die Körperaktivitäten separat nach dem Verzehr von selbstgesammelten Wildpilzen aufgetragen. Die pilzsammelnden Probanden zeigen im Median eine um Faktor 1,8 höhere Körperaktivität als die Probanden, die keine Pilze sammeln.

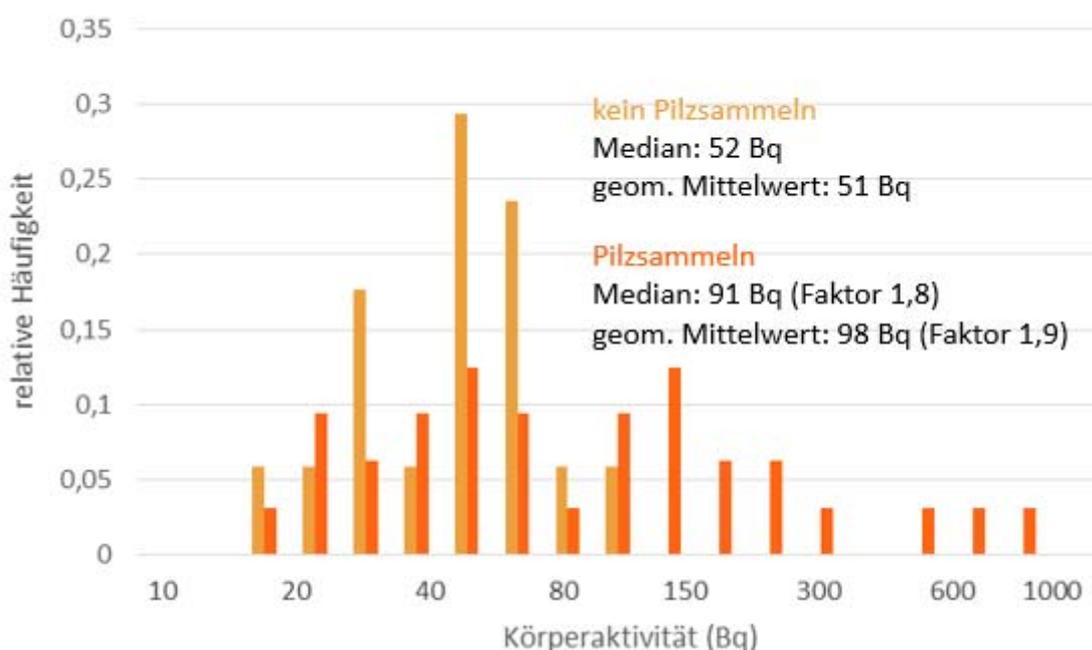


Abb. 6: Körperaktivitäten der Jägerinnen und Jäger und Familienangehörigen, die Pilze sammeln, im Vergleich zu den Jägerinnen und Jägern, die nicht Pilze sammeln

5 Resultierende Strahlenexpositionen

Tabelle 1 zeigt die resultierenden effektiven Dosen für verschiedene Szenarien des Verzehrs kontaminierter Nahrungsmittel. Alle berechneten Dosen sind klein im Vergleich zur Schwankungsbreite der Strahlenexposition aus natürlichen Quellen, die in Deutschland bei 1 bis 10 mSv pro Jahr liegt. Der Mittelwert für die Strahlenexposition aus natürlichen Quellen beträgt 2,1 mSv pro Jahr [7]. Im Szenario „Verzehr gesammelter Wildpilze“ wird sehr konservativ von einer hohen Kontamination und einer hohen Verzehrmenge ausgegangen. Es kann daher eher als obere Schranke der möglichen Dosis für Pilzsammler angesehen werden. Das Szenario „Verzehr von handelbarem Wildschwein“ basiert auf einer hohen Verzehrrate und geht von der Ausschöpfung des Grenzwerts für handelbare Lebensmittel aus. Auch die für dieses Szenario berechnete Dosis ist als konservativer Wert zu interpretieren. Für das Szenario „Jägermahlzeit Wildschweinfleisch“ wurde, ausgehend vom Spitzenwert der Körperaktivität, aus dem Jäger-Screening auf eine jährliche inkorporierte Aktivität und eine zusätzliche jährliche Strahlenexposition zurückgerechnet. Zum Vergleich ist in Tabelle 1 auch eine Dosisberechnung für den Verzehr von Paranüssen angegeben, die erhöhte Aktivitäten von natürlichen Radionukliden enthalten.

6 Fazit

Die Kontamination von Waldprodukten aus mit Cs-137 belasteten Gebieten ist heute immer noch höher als von Lebensmitteln aus landwirtschaftlicher Produktion. Besonders bei Wildschweinfleisch ist eine verhältnismäßig hohe Kontamination bei gleichzeitig sehr hoher Streuung der Kontaminationswerte festgestellt. Untersuchungen an Personen, die eine höhere Aufnahme an Cs-137 haben, zeigen jedoch, dass auch bei diesen die zusätzliche Strahlenexposition im Vergleich zur natürlichen Strahlenexposition gering ist.

Tabelle 1: Resultierende Strahlendosen Erwachsener für verschiedene Szenarien des Verzehrs kontaminierter Lebensmittel

Verzehrtes Lebensmittel	Wöchentliche Verzehrmenge [g]	Spezifische Aktivität Cs-137 [Bq/kg]	Jährlich inkorporierte Aktivität [Bq]	Zusätzliche jährliche Strahlenexposition [μSv]
Gesammelte Wildpilze	150	2000	16.000	200
Handelbares Wildschweinfleisch	200	600 (Grenzwert)	6.300	80
Jägermahlzeit Wildschweinfleisch	52 (berechnet)	1.000	2.700 (Rückrechnung aus Körperaktivitätsmessung)	35
Paranüsse	56 (zwei Nüsse pro Tag)	Natürlich auftretende Radionuklide (Ra-228, Ra-226 und weitere, siehe [8])		160

7 Literatur

- [1] Kabai et al., Radioaktive Kontamination von Speisepilzen (Stand: 2022, Messwerte 2019 bis 2021) Bundesamt für Strahlenschutz, Salzgitter, Germany (2022).
- [2] Rühm et al., The 137-Cs/134-Cs ratio in fungi as an indicator of the major mycelium location in forest soil, Journal of Environmental Radioactivity 35 (1997) 2.
- [3] U. Fielitz, Untersuchungen zum Verhalten von Radiocäsium in Wildschweinen und anderen Biomedien des Waldes, Abschlussbericht zum Forschungsvorhaben, BMU – 2005-675, Bundesamt für Strahlenschutz. (2005)
- [4] U. Fielitz, Erfassung der aktuellen Kontaminationssituation bei Wildschweinen in Deutschland - Vorhaben 3617S52531, Bundesamt für Strahlenschutz, Salzgitter, Germany (2021).
- [5] Hartmann et al., A probabilistic/stochastic model for contamination levels of Cs-137 in Wild Boars IRPA conference, Cape Town (2016).
- [6] O. Meisenberg, U. Gerstmann, Exposure of German hunters and their family members to the radioactive nuclide ¹³⁷Cs due to their eating habits, Science of The Total Environment, 798 (2021).
- [7] Deutscher Bundestag, 20. Wahlperiode, Drucksache 20/8330, Unterrichtung durch die Bundesregierung: Umweltradioaktivität und Strahlenbelastung im Jahr 2020, (2023).
- [8] M. Steiner, Paranüsse – Gehalt natürlicher Radionuklide und potentielle Strahlenexposition, Natürliche und künstliche Radionuklide in unserer Umwelt, 42. Jahrestagung des Fachverbandes für Strahlenschutz e. V., (2010)

V011: Entwicklung der In-situ-Gammaspektrometriemessungen im DWD

Development of in-situ gamma spectrometry measurements at the DWD

M. Mirsch, A. Dalheimer

Deutscher Wetterdienst, Offenbach, Deutschland

Zusammenfassung

Der Deutsche Wetterdienst (DWD) übernahm zu Beginn der 1990-er Jahre zur Unterstützung mobiler Messeinheiten des Bundes und der Länder die Aufgabe, deponierte radioaktive Isotope mittels ortsfester In-situ-Gammaspektrometrie zu bestimmen. Durch den Wegfall täglicher Betamessungen eingedampfter Niederschlagsproben im Rahmen der Automatisierung der Radioaktivitätsüberwachung im DWD gewann die Methode zusätzlich an Bedeutung.

Die Bestimmung der mit dem Niederschlag deponierten Aktivität erfolgt mit Germanium-Halbleiterdetektoren. Diese sind in Messhütten an 38 DWD-Stationen verbaut, werden elektrisch gekühlt und liefern kontinuierlich Messergebnisse. Aus dem bundesweiten Messnetz liegt somit eine schnelle Übersicht über die grobe Ausdehnung eines kontaminierten Gebietes vor.

Die Entwicklung dieser Systeme im DWD wird beschrieben. Die vormals stickstoffgekühlten Detektoren wurden durch elektrisch gekühlte ersetzt. Die Umrüstung der vorhandenen Messhütten mit angeflanschten Klimaanlage zeigte sich im dauerhaften Einsatz als nicht robust genug. In Folge gab es zahlreiche Ausfälle und viele Wartungseinsätze wegen defekter Klimaanlage und auch von Detektoren und Kühlern. Mit diesen Erfahrungen erfolgte eine Ausschreibung zur Ersatzbeschaffung dieser Systeme. Wesentliche Forderungen dieser Ausschreibung waren robuste Detektor-/Kühlerkombinationen und der Realisierung von Messhütten als integrierte Systemlösungen. Letztlich wurde eine langjährige Beschaffungslinie verlassen und eine neue Generation von Messgeräten eingekauft. Die Erfahrungen aus dem bisherigen dreijährigen Einsatz des angebotenen Komplettsystems sind bezüglich der Stabilität und Wartungsarmut sehr vielversprechend.

Summary

At the beginning of the 1990s, the German Weather Service (DWD) took on the task of determining deposited radioactive isotopes using stationary in-situ gamma spectrometry to support mobile measuring units of the federal and state governments. The method gained additional importance due to the elimination of daily beta measurements of evaporated precipitation samples as part of the automation of radioactivity monitoring in the DWD.

The activity deposited with precipitation is determined using germanium detectors. These are installed in measuring huts at 38 DWD stations, are electrically cooled and continuously deliver measurement results. The nationwide measurement network provides a quick overview of the rough extent of a contaminated area.

The development of these systems in the DWD is described. The previously liquid nitrogen-cooled detectors were replaced by electrically cooled ones. The conversion of the existing measuring huts with flanged air conditioning systems proved to be not robust enough in long-term

use. As a result, there were numerous failures and many maintenance calls due to defective air conditioning systems and also detectors and coolers. Based on these experiences, a tender was issued to procure replacements for these systems. The main requirements of this tender were for robust detector/cooler combinations and the implementation of measuring huts as integrated system solutions. Ultimately, a long-standing procurement line was abandoned and a new generation of measuring devices was purchased. The experience gained from using the complete system offered for three years so far is very promising in terms of stability and low maintenance.

1 **Messaufgaben des DWD**

Der DWD hat die Aufgabe der Überwachung von Luft und Niederschlag an 41 Stationen (zusätzlich 7 Luftmessstationen). In-situ Gammaskpektrometrie-Messungen erfolgen an 38 Stationen (hier sind die Bergstationen Brocken und Zugspitze sowie die Station auf der Insel Norderney ausgenommen). Das Messnetz erfüllt eine Frühwarnfunktion und dient der großräumigen Überwachung. Innerhalb der nationalen Radioaktivitätsüberwachung ergänzen sich die Messnetze des Bundesamtes für Strahlenschutz (BfS) und des DWD. Das Ortsdosisleistungsmessnetz des BfS hat die hohe Stationsdichte, der DWD kann mit seinen nuklidspezifischen Messungen schnell Aussagen zu einzelnen Radionukliden treffen.

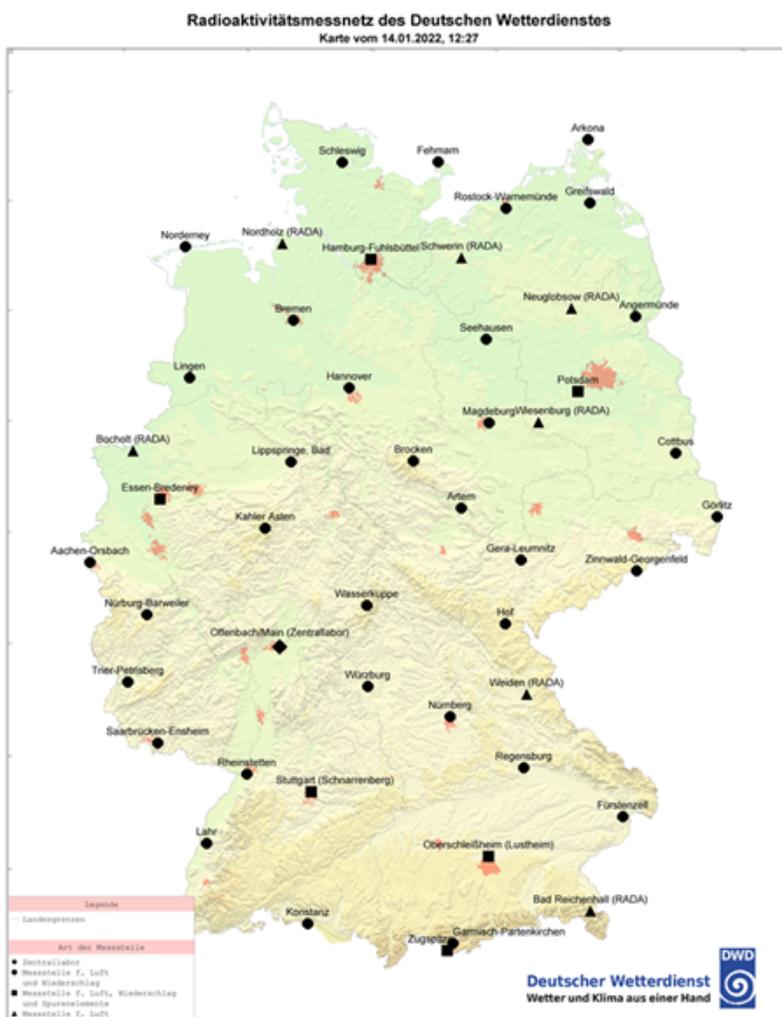


Abb. 1: Radioaktivitätsmessnetz des DWD

2 Aufgaben der In-situ-Spektrometrie

Im DWD wird die In-situ-Spektrometrie für kontinuierliche und stationäre Messungen eingesetzt. Damit kann frühzeitig und bundesweit abgeschätzt werden, ob eine Deposition von Radionukliden erfolgte.

Diese schnelle Information unterstützt die mobilen Messeinheiten des Bundes und der Länder bei ihrer Einsatzplanung in einem Ereignisfall. Im DWD dient die Methode des Weiteren als Ersatz für die manuelle Aufbereitung und Messung von Niederschlagsproben. Vormalig wurden tägliche Niederschlagsproben auf radioaktive Beimengungen untersucht. Nach der Automatisierung des DWD-Messnetzes entfallen diese Messungen. Die kontinuierlichen In-situ-Messungen zeigen Depositionen quasi sofort an.

3 Entwicklung der In-situ-Spektrometriesysteme

In-situ-Gammaspektrometriesysteme werden vorwiegend für mobile Messungen genutzt. Es entstand die Idee, das Stationsnetz des DWD für stationäre Messungen mit diesen Systemen zu nutzen, um nach einem Störfall frühzeitig eine Übersicht über abgelagerte Radionuklide zu erhalten. Hierzu wurden die Messgeräte in Schaltschrankgehäuse verbaut und über einen Galgen, dem Messziel und, der geforderten Geometrie entsprechend, in einem Abstand von 1 Meter Abstand zum Boden positioniert. Zur Messung wurden Halbleiterdetektoren mit hochauflösender Gammaspektrometrie eingesetzt. Die Detektoren wurden mit elektrischen Kühlaggregaten statt mit flüssigem Stickstoff gekühlt. Der gesamte Gehäuseraum bedurfte einer Klimatisierung, um die Schwankungen der Außentemperatur auszugleichen, aber auch wegen der Erwärmung durch Sonneneinstrahlung. Diese Entwicklungen erfolgten in Ermangelung fertiger Lösungen auf dem Markt mit eigenen Mitteln. Während der langen Lebensdauer der Aufbauten häuften sich Systemstörungen und Ausfälle. Verschiedene Ausbaustufen wegen veränderter Klimaanlage und anderer Netzwerkmodule reduzierten nach und nach die Servicefreundlichkeit der Systeme. Insbesondere wurden hohe Ausfallraten der Klimatechnik und der sensiblen Messtechnikkomponenten zunehmend zu einem Problem.

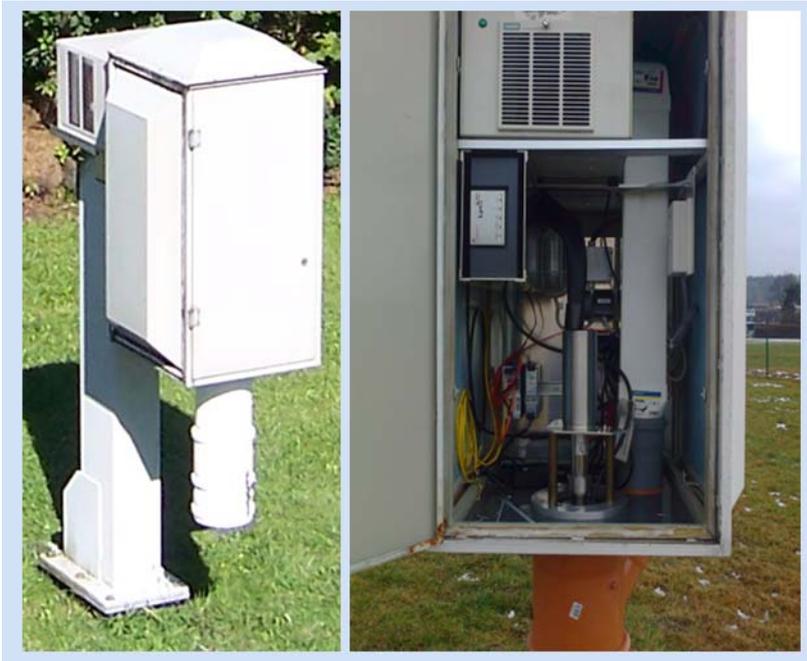


Abb. 2: vormalige In-situ-Messhütte des DWD

4 Migrationsphase

Zur Sicherstellung des Betriebs wurde daher die Entscheidung zum Austausch der Messsysteme getroffen. Der DWD ist in erster Linie Messnetzbetreiber, verfügt jedoch über keine Entwicklungsabteilung. Es sollten daher Komplettsysteme zur Erfüllung der beschriebenen In-situ-Gamma-spektrometrie-Messaufgabe auf dem Markt eingekauft werden.

Für die erforderliche europaweite Ausschreibung der Beschaffung wurde ein Leistungsverzeichnis erstellt. Die aus den vormaligen Entwicklungsstufen gemachten Erfahrungen wurden darin spezifiziert. Zur Risikoabmilderung wurde vor einer Gesamtausschreibung ein Prototypsystem beschafft und einem einjährigen Test unterzogen.

Einschränkend und zur Integration in die bestehende Umgebung wurden im Leistungsverzeichnis Schnittstellen definiert:

- Übernahme von Hüttenfüßen aus Bestand zur Vermeidung von Baumaßnahmen
- Beibehaltung der Auswerterechner und Spektrometrie-Software
- Beibehaltung der Vielkanalanalysatoren

Das Prototypsystem wurde in Offenbach im Jahr 2019 in Betrieb genommen. Im Rahmen des EU-Ausschreibungsverfahrens erfolgte die Vergabe im Wettbewerb. Es lagen 3 Angebote mit vergleichbarer fachlicher Eignung vor. Die Entscheidung konnte daher auf Basis der Wirtschaftlichkeit getroffen werden. Insgesamt sollen im Projekt 38 Systeme in den Jahren 2021 – 2026 ausgetauscht werden.



Abb. 3: Aufbau des neuen Systems mit Detektor, VKA, Klimaanlage, Heizmodul und Steuerung



Abb. 4: Stromanschlüsse (USV, normal), Netzwerkkomponenten und Luftzuführung, Klimaanlage (filtrierte Zuluft)



Abb. 5: Grafische Bedienoberfläche der Messsoftware

5 Verbesserungen

Im Betrieb der neuen Systeme wird eine hohe Verfügbarkeit erreicht (bei der derzeit bereits an der Hälfte der Messstationen erfolgten Umrüstung). In den Messhütten wird eine hohe Temperaturkonstanz erreicht. Eine Peakdrift in den Spektren aufgrund von Temperaturschwankungen in den elektronischen Bauteilen kann damit praktisch vollständig vermieden werden. Der erhoffte wirtschaftliche Betrieb stellte sich ein, gepaart mit deutlich reduzierten Serviceeinsätzen und besserer Servicefreundlichkeit. Die freigesetzten Detektoren und elektrischen Kühler der Altsysteme können für andere Messaufgaben eingesetzt werden.

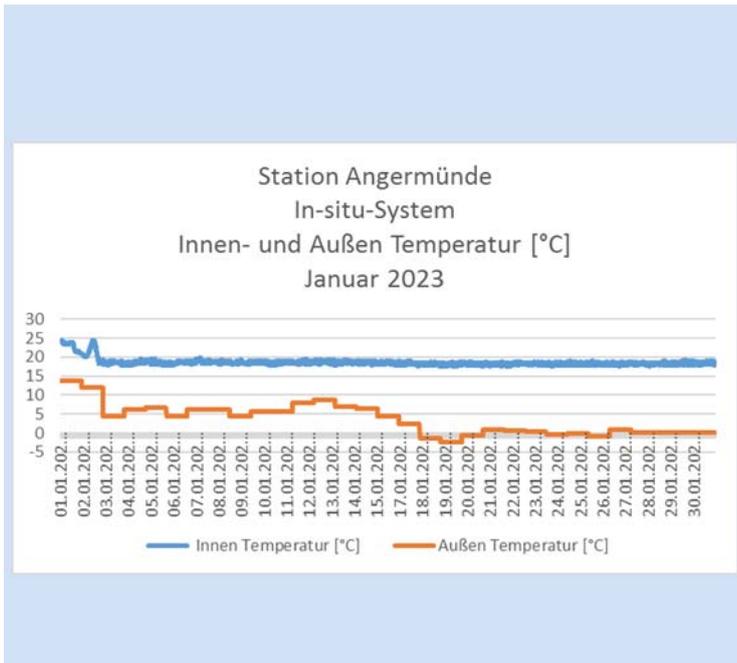


Abb. 6: Beispiel für die Temperaturkonstanz in der Messhütte bei schwankenden Außentemperaturen an der Station Angermünde im Januar 2023



Abb. 7: Generationen der eingesetzten Detektor-Kühler-Kombinationen: PopTop-Detektor mit X-Cooler (ab 2002), PopTop-Detektor mit ICS-Kühler (ab 2017), Cryo-Pulse-5-System (ab 2019)

V048: Die Messung von Radioxenon in der Atmosphäre am Bundesamt für Strahlenschutz (BfS) - einst, jetzt, in Zukunft

Monitoring Radioxenon in the Atmosphere at BfS – then, now, in future

A. Bollhöfer, S. Brander, S. Schmid, R. Kraus, M. Konrad
Bundesamt für Strahlenschutz, Freiburg, Deutschland

Zusammenfassung

Nach AVV IMIS (2006) ist die Bestimmung der Aktivitätskonzentrationen von radioaktiven Edelgasen in der Luft Aufgabe des BfS. Sie dient dazu, kurz- und langfristige Änderungen der Aktivitätsniveaus verfolgen und mögliche Ursachen von Veränderungen und deren Quellen bestimmen zu können. Seit 50 Jahren misst das BfS in Freiburg ^{85}Kr und radioaktive Xe-Isotope (Radioxenon) in Wochenproben, die gaschromatographisch aufbereitet und anschließend in Proportionalzählrohren gemessen werden. Dieses Verfahren ist seit 2014 von der DAkkS akkreditiert. Radioxenon in der Luft in Deutschland stammt überwiegend aus Routineentlassen radio-pharmazeutischer Produktionsstätten, die Entlassmengen haben sich seit 2008 deutlich verringert. Typische Aktivitätskonzentrationen von ^{133}Xe liegen aktuell um 1 mBq m^{-3} an den norddeutschen Probenentnahmestellen und unterhalb 1 mBq m^{-3} im Süden. Als Support-Labor der Organisation zur Überwachung des Kernwaffen-Teststopp-Abkommens (CTBTO) betreibt das BfS - neben der CTBTO-Station DEX33 auf dem Schauinsland - seit 2009 auch ein Laborsystem zur nuklidspezifischen Messung von Radioxenon mittels $\beta\gamma$ -Koinzidenzspektrometrie. Das Verfahren hat eine um fast eine Größenordnung bessere NWG für Radioxenon, misst auch die Isotope $^{131\text{m}}\text{Xe}$, $^{133\text{m}}\text{Xe}$ und ^{135}Xe und ist 2022 in den akkreditierten Bereich aufgenommen worden. Gleichzeitig gibt es im Bereich der automatisierten Messung von Radioxenon in der Atmosphäre Entwicklungen, die immer kleinere Nachweisgrenzen bei höherer Zeitauflösung vorweisen. In diesem Beitrag werden die Entwicklungen in der Xe-Messtechnik vorgestellt, mit einem Fokus auf mögliche neue Ansätze im Bereich Xenon Umweltüberwachung in Deutschland.

Summary

According to the General Administrative Regulation on the Integrated Measurement and Information System for the monitoring of environmental radioactivity (AVV-IMIS, 2006) the Federal Office for Radiation Protection (BfS) is tasked with measuring activity concentrations of radioactive noble gases in air. This is done to monitor short- and long-term changes of the activity levels and to determine potential causes for those changes as well as their sources. For 50 years, the BfS in Freiburg has been measuring ^{85}Kr and radioactive Xe-Isotopes (radioxenon) in weekly-obtained air samples, which are processed for gas-chromatography and measured in proportional counters. This procedure was accredited in 2014 by the German Accreditation Board (DAkkS). Atmospheric radioxenon in Germany largely originates from routine discharges from facilities producing medical isotopes. Emissions have decreased since 2008 and typical activity concentrations of ^{133}Xe are currently around 1 mBq m^{-3} at sampling locations in northern Germany and below 1 mBq m^{-3} in the south. As a support laboratory to the Comprehensive Test Ban Treaty Organisation (CTBTO), the BfS operates not only the CTBTO-Station DEX33 on Mt Schauinsland, but since 2009, also an isotope-specific laboratory system for the measurement of radioxenon via $\beta\gamma$ -coincidence spectrometry. This procedure has an MDC, which is one order of magnitude lower and additionally allows the measurement of $^{131\text{m}}\text{Xe}$, $^{133\text{m}}\text{Xe}$ and ^{135}Xe . In

2022, this procedure was accredited by the DAkkS. At the same time, there have been new developments in the area of automated radionon measurements in the atmosphere, with even lower MDCs and superior time resolution. This article will introduce new developments and concepts for the measurement of radionon, with a focus on prospects for novel concepts in the light of environmental monitoring of xenon in Germany.

1 Die Anfänge der atmosphärischen Radionon-Überwachung

1957 wurde auf dem Schauinsland bei Freiburg eine Messstation für natürliche und künstliche Radioaktivität in der Atmosphäre errichtet. Die Station und das daran gekoppelte Labor in Freiburg waren bis 1982 Teil des Max-Planck-Instituts für Kernphysik in Heidelberg, und sie spezialisierten sich schon früh auf die Messung anthropogener radioaktiver Edelgase in der Atmosphäre [1]. Ab 1982 waren sie als Institut für Atmosphärische Radioaktivität (IAR) Teil des Bundesamtes für Zivilschutz und wurden 1989 in das neu gegründete BfS integriert. Seitdem sind die Freiburger Labore und die Station Teil des BfS. Schon früh gab es auf nationaler und internationaler Ebene Kooperationen, die zur Entstehung eines weltweiten Edelgasmessnetzes führten, mit Probenentnahmestellen in der Nord- und Südhemisphäre und kontinuierlichen Messreihen, die mehr als 50 Jahre zurückreichen. In Deutschland sind Probenentnahmestellen nach AVV IMIS in Potsdam, Braunschweig, Offenbach und auf dem Schauinsland gleichzeitig Stationen des sparse-networks der EU für empfindliche Radionuklidmessungen in der Umwelt.

Die wöchentliche Probennahme erfolgt manuell und ist ausführlich in [2] beschrieben. Die Edelgase adsorbieren bei Flüssigstickstofftemperatur und einem Durchfluss von 60 Liter pro Stunde an Aktivkohle in speziell dafür entwickelten Adsorbergefäßen. Durch stufenweises Ausheizen nach der Probennahme werden Krypton und Xenon aufkonzentriert und zum Versand an das Freiburger Labor in Aluminiumflaschen transferiert. Im Labor werden die Proben gereinigt und gaschromatographisch in ihre Bestandteile getrennt, bevor ^{85}Kr und Radionon zur Messung ihrer integralen beta-Aktivitäten in Proportionalzählrohre in Pb-Abschirmkammern mit Anti-Koinzidenzvorrichtung überführt werden. Die Nachweisgrenze (NWG) von wenigen mBq m^{-3} für ^{133}Xe liegt unterhalb der geforderten 10 mBq m^{-3} aus der AVV IMIS [3]. Die gleichzeitige Messung zusätzlicher radioaktiver Xenonisotope (^{135}Xe , $^{131\text{m}}\text{Xe}$, $^{133\text{m}}\text{Xe}$) ist für ein Gemisch aus nur zwei Isotopen unter der Voraussetzung möglich, dass sich Aktivitäten der Isotope nicht zu sehr unterscheiden. Das Messverfahren wurde 2014 von der Deutschen Akkreditierungsstelle (DAkkS) akkreditiert.

Aufgrund der kurzen Halbwertszeiten der Xe-Isotope von wenigen Stunden bis Tagen bauen sich deren Aktivitätskonzentrationen, im Gegensatz zu der von ^{85}Kr , in der Atmosphäre kaum auf. Außerdem sind die Emissionen von einem der größten Emittenten in Europa (IRE Fleurus) nach Einführung von Rückhalteanlagen vor dem Entlass des Radionons seit ca. 2008 zurückgegangen (Abb. 1), und typische Aktivitätskonzentrationen von ^{85}Kr und ^{133}Xe unterscheiden sich mittlerweile um einen Faktor Tausend. Da ein geringer Anteil des Kryptons im Labor nicht vollständig von Xenon getrennt werden kann, werden die ^{133}Xe -Aktivitäten durch ^{85}Kr im Proportionalzählrohr gestört [3], Aktivitäten unterhalb von 10 mBq liegen außerhalb des akkreditierten Bereichs für das Verfahren.

2 Die Quellen von Radionon

Radionon und ^{85}Kr sind Spaltprodukte überwiegend anthropogenen Ursprungs, sie stammen jedoch aus unterschiedlichen Quellen. Aufgrund der langen Halbwertszeit von 10,74 Jahren [4] wird bei der Wiederaufbereitung von abgebrannten Kernbrennstoffen nur ^{85}Kr freigesetzt, da nach der Lagerung von mehreren Monaten in den Abklingbecken das Radionon in den Brenn-

stäben vollständig zerfallen ist. Die Brennstäbe werden zerkleinert, in Säure komplett aufgelöst und ^{85}Kr wird freigesetzt. Durch die Zunahme von Wiederaufbereitungsaktivitäten weltweit ist die ^{85}Kr Aktivitätskonzentration in der Atmosphäre global kontinuierlich angestiegen [5,6]. Weist man hingegen Radioxenon in der Luft nach, so ist dies ein Hinweis auf einen frischen Spaltprozess als Quelle, je näher hierbei eine Probe an der Quelle von Radioxenon genommen wurde, umso deutlicher dessen Einfluss. In der bodennahen Luft der deutschen Sammelstationen findet sich derzeit überwiegend das Isotop ^{133}Xe mit Aktivitätskonzentrationen um 1 mBq m^{-3} [7] sowie geringen Anteilen von ^{135}Xe , $^{131\text{m}}\text{Xe}$ und $^{133\text{m}}\text{Xe}$.

Als größte Quelle von Radioxenon in der Atmosphäre gilt die Produktion medizinischer Isotope, insbesondere von ^{99}Mo für $^{99\text{m}}\text{Tc}$ -Generatoren [8]. Jährlich wird durch eine große Isotopenproduktionsanlage typischerweise um 3 Größenordnungen mehr Radioxenon als durch ein Kernkraftwerk entlassen, die Gesamtaktivität des freigesetzten ^{133}Xe durch die Isotopenproduktion betrug 2014 etwa 35 PBq (10^{15} Bq) [9]. Zum Vergleich, bei einem Kernwaffentest von 1 kT TNT äquivalent entstehen maximal etwa 10 PBq ^{133}Xe .

3 Radioxenon-Messungen am BfS heute

Im Rahmen des Kernwaffenteststopp-Abkommens wird Radioxenon an mittlerweile 26 von 40 weltweit geplanten Stationen der Organisation zur Überwachung des umfassenden Kernwaffenteststopp Abkommens (CTBTO: Comprehensive Test-Ban Treaty Organisation) im 12 h- bzw. 24 h-Takt automatisch gemessen. Die Messung von Radioxenon in der Atmosphäre war von jeher Teil des Kernwaffenteststopp-Abkommens, jedoch gab es bei Auslegung des Vertrages 1996 nur vier Prototypen automatischer Systeme zur Messung von Radioxenon. Von 1999 bis 2000 fand deshalb am BfS in Freiburg ein Vergleichsexperiment statt (INGE: International Noble Gas Experiment), das dazu diente, die damals in der Entwicklung befindlichen Systeme miteinander zu vergleichen [10]. Eines dieser Systemtypen, das SPALAX (Système de Prélèvement Automatique en Ligne avec l'Analyse du Xénon) [11] misst seit 2004 auf dem Schauinsland im 24 h-Takt radioaktives Xenon in der Atmosphäre für die CTBTO und wird vom BfS betrieben. Die Messung der Xenonisotope geschieht mittels hochauflösender Gammaskopie mit einem Reinstgermaniumdetektor, nach automatischer Anreicherung des in der Luft enthaltenen Xenons. Abbildung 1 zeigt den Verlauf der Aktivitätskonzentration von ^{133}Xe in der Luft am Schauinsland seit 2004.

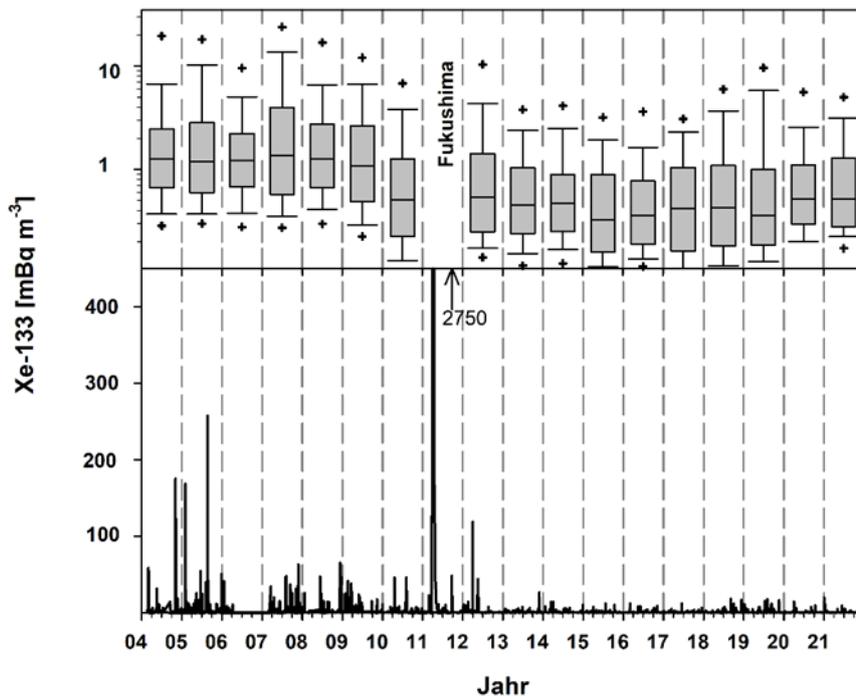


Abb. 1: ^{133}Xe Aktivitätskonzentrationen in Tagesproben gemessen am Schauinsland mit dem SPALAX, 2004-2022, und Boxplots für die einzelnen Jahre, aus [11].

Außerdem unterstützt das BfS seit 1999 mit dem Edelgaslabor die CTBTO bei Kontrollanalysen und dem Aufbau eines Qualitätssicherungsprogramms, seit 2011 ist es als Support-Labor für die CTBTO anerkannt. Einen wesentlichen Faktor spielt hierbei die Rückführbarkeit der Ergebnisse der Messungen mit den Proportionalzählrohren, beim INGE Vergleichsexperiment lieferte das BfS Labor die Referenzwerte für die neuen Systeme.

Seit 2009 ist ein Xenonlaborsystem "SAUNA II Lab" am BfS-Labor in Freiburg im Einsatz, ein zweites System befindet sich derzeit (Ende 2023) im Aufbau. Beide Systeme stellen eine qualitätsgesicherte Bestimmung der Radioxenonisotope auch bei geringeren atmosphärischen Aktivitätskonzentrationen sicher. Mit der $\beta\gamma$ -Koinzidenzspektrometrie haben diese deutlich kleinere Nachweisgrenzen (Tabelle 1). Nach der gaschromatographischen Trennung des Xe aus der Luft wird das Xenongas in eine Plastiksintillatorzelle überführt, die in eine Bohrung in einem NaI-Kristall eingelassen ist. Die β -Zerfälle in der Zelle werden mit Hilfe von zwei Photomultipliern registriert, die im Gas emittierte γ -Strahlung wird mit dem NaI-Detektor gemessen. In einem 2-dimensionalen Spektrum werden die Energien koinzident gemessener β - und γ -Impulse in der Probe aufgetragen und aus den Zählraten in den ROIs (Region of Interest) nach aufwendigen Korrekturen die Nettozählraten und damit die Aktivitäten bestimmt. Mit diesem System nimmt das BfS seit vielen Jahren an regelmäßigen Ringversuchen der CTBTO teil, 2022 wurde das Verfahren ebenfalls in den akkreditierten Bereich aufgenommen.

Abbildung 2 zeigt ein typisches 2-dimensionales Xe-Spektrum für eine Luftprobe, genommen in Braunschweig. Außerdem sind die ROIs für die Edelgasisotope in dem 2-dimensionalen Spektrum hervorgehoben. Typische Nachweisgrenzen für die verschiedenen Isotope in einer Probe, die einen Tag nach Ende der Probennahme (6 Stunden - 7 Tage) gemessen wird, sind zum Vergleich in Tabelle 1 gegeben.

Tabelle 1: Typische Nachweisgrenzen für Radioxenon mit den verschiedenen Messmethoden. Probeentnahmeintervalle in Klammern. PZ: Proportionalzählrohre

Xenonisotop	Nachweisgrenze Nuklid in mBq m ⁻³				
	PZ Labor (7d) [3]	SAUNA Labor (7d)	SPALAX (24h) [11]	Xe-Intl. (6h) [12]	SAUNA Qb (12h) [14]
¹³³ Xe	4	0.5	0.3 [12]	0.23	0.32
¹³⁵ Xe	-	16.6	0.65	0.27	0.95
^{131m} Xe	-	0.3	4.1	0.16	0.21
^{133m} Xe	-	0.5	1.5	0.13	0.20

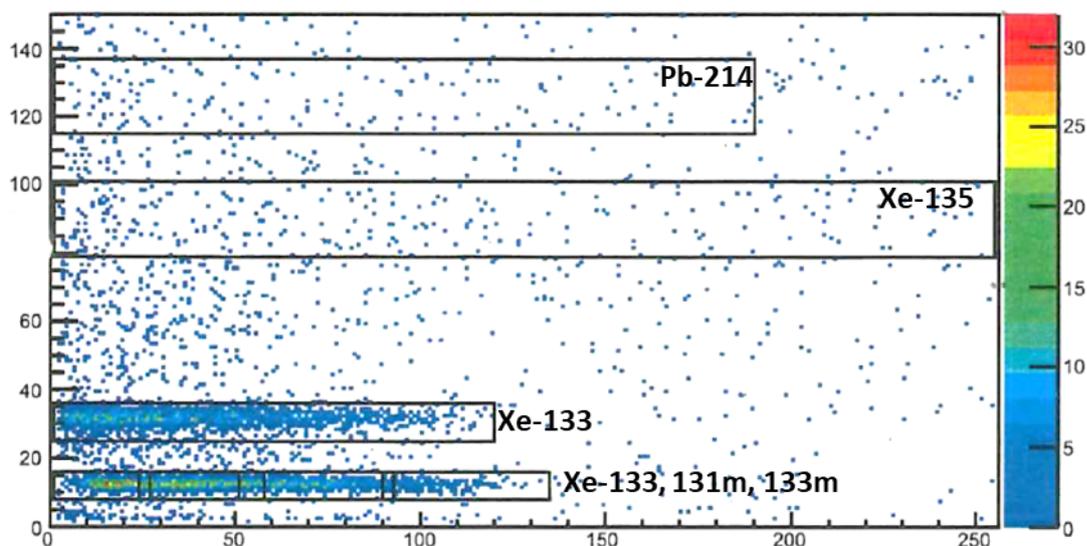


Abb. 2: 2-dimensionales β - γ Spektrum und ROIs (regions of interest) einer typischen Umweltprobe. Aufgetragen sind der γ -Kanal gegen den β -Kanal, die Anzahl der registrierten Impulse ist farblich gekennzeichnet.

4 Neue Systeme

Das BFS hat von Mitte Juli 2021 bis Ende Januar 2022 für die CTBTO ein automatisches System zur Messung von Radioxenon auf dem Schauinsland getestet [12]. Dieses neue System (Xenon-International) hat eine Sammelzeit von 6 h pro Probe und misst Aktivitäten der Xenon-Isotope ebenfalls über $\beta\gamma$ -Koinzidenz, typische Nachweisgrenzen sind in Tabelle 1 gegeben. Xenon aus dem 6 h-Sammelzyklus wird auf einer mit Aktivkohle gefüllten und gekühlten ($-120\text{ }^{\circ}\text{C}$) Säule adsorbiert und nach Erwärmung anschließend die noch in der Probe enthaltenen Spuren von CO_2 und Radon mit Hilfe eines Molekularsiebes abgetrennt. Die letzte Anreicherung des Xenons erfolgt bei ca. $-170\text{ }^{\circ}\text{C}$, bevor das Xenon durch Erhitzen der Aktivkohle in einen der vier $\beta\gamma$ -Detektoren überführt und anschließend die Aktivität der Xenonisotope ¹³³Xe, ^{131m}Xe ^{133m}Xe und ¹³⁵Xe gemessen wird. Das System wurde nach dem 6-monatigen Test 2022 durch die CTBTO zertifiziert und soll bald im IMS der CTBTO zum Einsatz kommen.

Genauso wie das Xe-International haben auch andere Systeme der neuen Generation im IMS kürzere Sammelzeiten (6 bis 8 Stunden) bei gleichzeitiger höherer Sammeleffizienz für das Xenon. Diese erhöhten Sammeleffizienzen werden durch einen höheren Durchfluss (bspw. 100 l/min beim Xe-International), durch den Einsatz neuer Sammelmedien (bspw. Silberzeolith) zur Adsorption des Xenons aus der Umgebungsluft oder durch aktive Kühlung der Sammelmedien erreicht. Alle Systeme der neuen Generation benutzen zur Messung der Xenonaktivitäten mittlerweile die $\beta\gamma$ -Koinzidenzspektrometrie. Eine Besonderheit ist das SPALAX NG, welches zur Messung der γ -Aktivitäten einen Reinstgermaniumdetektor verwendet, auf dem sich zur Messung der β -Aktivitäten eine PIPsBox™ mit zwei gegenüberliegenden Silikon-Pin Detektoren befindet [13]. Ein neues SPALAX NG soll ab 2025 das SPALAX auf dem Schauinsland ersetzen.

5 *Neue Ansätze*

Durch eine höhere sowohl zeitliche als auch geografische Auflösung bei der Probennahme wird die Lokalisierung der Quellen von Radioxenon durch atmosphärische Rückwärtsmodellierungen deutlich verbessert. Die automatischen Systeme im IMS der CTBTO messen derzeit in einem 12 h- oder 24 h-Zyklus die Aktivitätskonzentrationen in der Atmosphäre an 26 Stationen weltweit. Die Systeme der neuen Generationen haben eine höhere Zeitauflösung, 6 h oder 8 h. Eine Verdichtung des Messnetzes oder der Aufbau einzelner, mglw. nationaler Teil-Messnetze mit automatischen Systemen zur Messung von Radioxenon in der Atmosphäre sind der nächste Schritt bei der Optimierung der Xenon Umweltüberwachung und der Überwachung des Kernwaffenteststopp-Abkommens.

Ringbom et al stellen in [14] ein Konzept zur Messung von Radioxenon vor, bestehend aus einer Hauptstation, umgeben von Satellitenstationen im mehreren hundert Kilometer Entfernung. Eine solche Anordnung erhöht die Genauigkeit bei der Quellenlokalisierung bspw. nach einem versteckten Kernwaffentest und garantiert Ausfallsicherheit des Teil-Messnetzes als Ganzes. Um eine solches Messnetz rentabel zu machen, müssen die einzelnen Messsysteme deutlich billiger als die state-of-the-art Systeme der neuen Generation sein. Die Entwicklung der SAUNA Qb [14] bietet eine Möglichkeit, kompakte und transportable Systeme mit einer Empfindlichkeit vergleichbar mit denen der Geräte der ersten Generation und bei vergleichsweise geringen Kosten in der Umwelt zu verbringen. Sie messen automatisiert mit einer Zeitauflösung von 12 h Aktivitätskonzentrationen von Xenon in der Luft mit einer Nachweisgrenze deutlich unterhalb der von der AVV IMIS geforderten 10 mBq/m^3 für ^{133}Xe . Das BfS hat Ende 2023 eines dieser Messsysteme beschafft, ab 2024 soll es getestet und dann routinemäßig betrieben werden.

6 *Ausblick*

Langfristig könnten kleine, automatisierte Xe-Messsysteme auch die in der AVV IMIS geforderte (manuelle) Probenentnahme an den Spurenmessstellen, die Teil des sparse-network der EU sind, ersetzen. Dies würde die zeitliche Auflösung der Probennahme um mehr als eine Größenordnung verbessern und gleichzeitig den radioanalytischen Aufwand zur Messung der Aktivitätskonzentrationen der Edelgase Krypton und Xenon im Labor des BfS verringern. Jedoch erhöht sich bei einer Modernisierung des Messnetzes mit solchen automatischen Systemen die Menge an Daten und zusätzlicher Meta-Information (bspw. über den Systemzustand), die routinemäßig abgefragt, geprüft und ausgewertet werden müssen, um sie optimal nutzen und eine ordnungsgemäße Arbeitsweise der Systeme gewährleisten zu können. Dies benötigt Ressourcen, eine zentrale IT-Serverstruktur und idealerweise automatisierte Auswerteverfahren. Regelmäßige Vergleichsanalysen an Parallelproben in den Laboren des BfS sollen zur Qualitätssicherung durchgeführt werden.

7 Danksagung

Unser Dank gilt insbesondere unseren verstorbenen Kollegen und Freunden, Clemens Schlosser († 2. August 2021) und Hartmut Sartorius († 24. August 2023). Sie waren maßgeblich an der Entwicklung der heute immer noch eingesetzten und akkreditierten Verfahren sowie an der Anwendung dieser Methoden in nationalen und internationalen Messnetzen beteiligt. Durch ihre fachliche Unterstützung bei der Entwicklung von Messgeräten zur Überwachung des Kernwaffenteststopp-Abkommens haben sie wesentlich zum Aufbau des Radionuklidteils des IMS der CTBTO beigetragen und andere Verifikationsaufgaben am BfS vorangetrieben.

8 Literatur

- [1] Griesser, O., Sittkus, A. (1961) Bestimmung des Kr85-Gehaltes der Luft. Zeitschrift für Naturforschung, 16 a, 620-621.
- [2] Sartorius, H., Schlosser, C., Schmid, S., Weiss, W., 2002. Verfahren zur Bestimmung der Aktivitätskonzentration der atmosphärischen Edelgase Krypton-85 und Xenon-133. Loseblattsammlung FS-78-15-AKU. Empfehlungen zur Überwachung der Umweltradioaktivität. Blatt 3.4.9, pp. 16.
- [3] Schlosser, C., Bollhöfer, A., Schmid, S., Kraus, R., Bieringer, J., Konrad, M., 2017. Analysis of radionon and Krypton-85 at the BfS noble gas laboratory. Appl Radiat Isot. 126, 16-19.
- [4] Singh, B., Chen, J., 2014. Nuclear Data Sheets for A=85. Nuclear Data Sheets 116, 1-162.
- [5] Bollhöfer, A., Schlosser, C., Schmid, S., Konrad, M., Purtschert R., Kraus, R. (2019) Half a century of Krypton-85 activity concentration measured in air over Central Europe: Trends and relevance for dating young groundwater, Journal of Environmental Radioactivity 205–206, 7-16. ISSN 0265-931X, <https://doi.org/10.1016/j.jenvrad.2019.04.014>;
- [6] Kersting, A., Schlosser, C., Bollhöfer, A., Suckow, A. (2020) Evaluating 5 decades of atmospheric 85Kr measurements in the southern hemisphere to derive an input function for dating water and ice with implications for interhemispheric circulation and the global 85Kr emission inventory, Journal of Environmental Radioactivity 225, 106451, ISSN 0265-931X. <https://doi.org/10.1016/j.jenvrad.2020.106451>.
- [7] Bollhöfer, A., Brander, S., Kraus, K., Schmid, S., Walzer, V., Ross, O., Schlosser, C. (2022) Trends, events and potential sources of Xe-detections in the German radionon network, J. Environ. Radioact. 255, 106989, ISSN 0265-931X, <https://doi.org/10.1016/j.jenvrad.2022.106989>.
- [8] Kalinowski, M.B., Grosch, M., Hebel, S. (2013). Global Xenon-133 Emission Inventory Caused by Medical Isotope Production and Derived from the Worldwide Technetium-99m Demand. Pure and Applied Geophysics, DOI 10.1007/s00024-013-0687-5
- [9] Kalinowski, M.B. (2023) Global emission inventory of 131mXe, 133Xe, 133mXe, and 135Xe from all kinds of nuclear facilities for the reference year 2014. J. Environ. Radioact.261,107121. <https://doi.org/10.1016/j.jenvrad.2023.107121>
- [10] Auer, M., Axelsson, A., Blanchard, X., Bowyer, T.W., Brachet, G., Bulowski, I., Dubasov, Y., Elmgren, K., Fontaine, J.P., Harms, W., Hayes, J.C., Heimbigner, T.R., McIntyre, J.I., Panisko, M.E., Popov, Y., Ringbom, A., Sartorius, H., Schmid, S., Schulze, J., Schlosser, C., Taffary, T., Weiss, W., Wernsperger, B. (2004) Intercomparison experiments of systems for the measurement of xenon radionuclides in the atmosphere, Appl. Radiat. Isot. 60(6), 863-877.

- [11] Fontaine, J.-P., Pointurier, F., Blanchard, X., Taffary, T. (2004) Atmospheric xenon radioactive isotope monitoring. *J. Environ. Radioact.* 72, 129-135.
- [12] Brander, S., Baur, S., Kraus, R., Ross, J.-O., Orr, A., Sayne, R., Howard, M., et al., (2022) Phase II testing of Xenon International on Mount Schauinsland, Germany. *J. Environ. Radioact.* 255, 107034 <https://doi.org/10.1016/j.jenvrad.2022.107034>.
- [13] Topin, S., Gross, P., Achim, P., Generoso, S., Cagniant, A., Delaune, O., Morin, M., Philippe, T., Fontaine, J.-P., Moulin, C., Douysset, G., Le Petit, G. (2020) 6 months of radioxenon detection in western Europe with the SPALAX-New generation system - Part1: Metrological capabilities, *Journal of Environmental Radioactivity*, Volume 225, 106442, ISSN 0265-931X,
- [14] Anders Ringbom, Tomas Fritioff, Mattias Aldener, Anders Axelsson, Klas Elmgren, Carl Hellesen, Lindsay Karlkvist, Johan Kastlander, Henrik Olsson, Helena Berglund, Bo Hellman, Ola Pettersson (2023) SAUNA QB - Array: The realization of a new concept in radioxenon detection, *Journal of Environmental Radioactivity*, Volume 261, 2023, 107136, ISSN 0265-931X, <https://doi.org/10.1016/j.jenvrad.2023.107136>.

V050: The winner takes it all:

Ist die Ostsee oder die Irische See am stärksten mit Cs-137 belastet?

The winner takes it all:

Does the Baltic Sea or the Irish Sea show a higher Cs-137-contamination?

P. Nogueira, M.-O. Aust

Thünen-Institut für Fischereiökologie, Bremerhaven

Zusammenfassung

Die Irische See und die Ostsee galten bzw. gelten als die am stärksten radioaktiv kontaminierte Meere der Welt. Die Ursachen für diese Kontaminationen sind jedoch völlig unterschiedlich. Während die Ostsee durch den globalen Fallout und den Unfall im Kernkraftwerk Tschornobyl im Jahr 1986 kontaminiert wurde, wurden kontaminierte Abwässer der Wiederaufbereitungsindustrie für Kernbrennstoffe in Sellafield in die Irische See geleitet. Heute, mehr als 30 Jahre später, ist es immer noch möglich, diese Kontaminationen in den Fischen und Sedimenten beider Meere zu messen. Dabei wurde eine stärkere Kontamination der Fische der Ostsee mit Cs-137 festgestellt, so dass dieses als das weltweit am stärksten kontaminierte Meer angesehen werden muss.

Summary

The Irish Sea and Baltic Sea are nowadays still the two most radioactive contaminated Seas worldwide. However, the origins of this contaminations are completely different. While the Baltic Sea was unintentionally contaminated due to the global fallout and the accident in the Chernobyl nuclear power-plant in 1986; the Irish sea was intentionally used as dumping ground for the nuclear fuel reprocessing industry waste between the 1950's and 90's. Nowadays, more than 30 years later, it's still possible to measure these contaminations in the water, fish and sediments of both Seas. A higher level of Cs-137 contamination was found in the fish of the Baltic Sea, making it the most contaminated sea in the world.

1 Einleitung

Die Ostsee wurde infolge der Reaktorkatastrophe im ukrainischen Kernkraftwerk Tschornobyl am 26. April 1986 mit etwa 5 PBq Cs-137 kontaminiert. In der Folge erreichten Aktivitätskonzentrationen im Meerwasser bis zu 450 Bq m^{-3} und die spezifischen Aktivitäten im Fisch bis zu 140 Bq kg^{-1} [1]. Im Gegensatz dazu wurden während des bestimmungsgemäßen Betriebes der Wiederaufbereitungsanlage Sellafield etwa 39 PBq Cs-137 in die Irische See eingeleitet, was zu spezifischen Aktivitäten von bis zu 1000 Bq kg^{-1} in Fischen und Hummern führte. Beide Meere galten aufgrund ihrer Vorbelastung als am stärksten kontaminierte Meere weltweit [2]. Doch wie ist der aktuelle Status bezüglich der Kontamination beider Meere mit Cs-137?

2 Material und Methoden

Die Entnahme von Fischproben erfolgte während der Ausfahrten mit dem Fischereiforschungsschiff WALTHER HERWIG III, in der Irischen See WH432 (02.12.2019 bis 22.12.2019) an drei Stati-

onen (siehe Abbildung 1) und in der Ostsee WHIII 441 (30.11.2020 bis 20.12.2020). Insgesamt 27 Proben wurden entsprechend der Messanleitung G-Gamma-Spekt-Fisch-01 aufbereitet und mit einer Messdauer von jeweils 576.000 s gammaspektrometrisch analysiert. Als Messgeräte kamen drei HPGe-Spektrometer zum Einsatz.

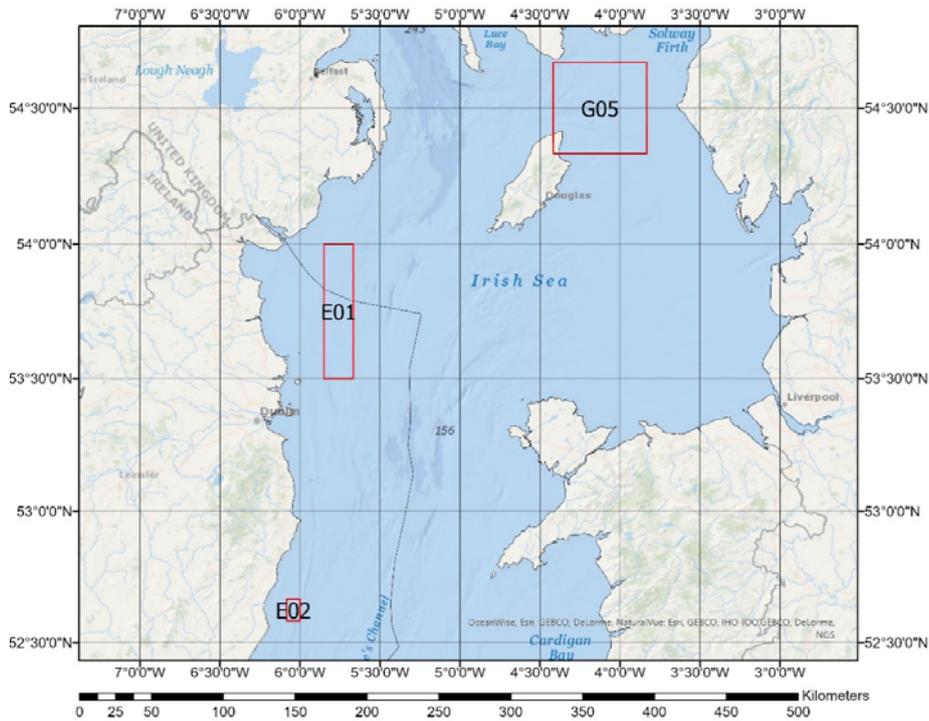


Abbildung 1: Probennahmegebiete in der Irischen See

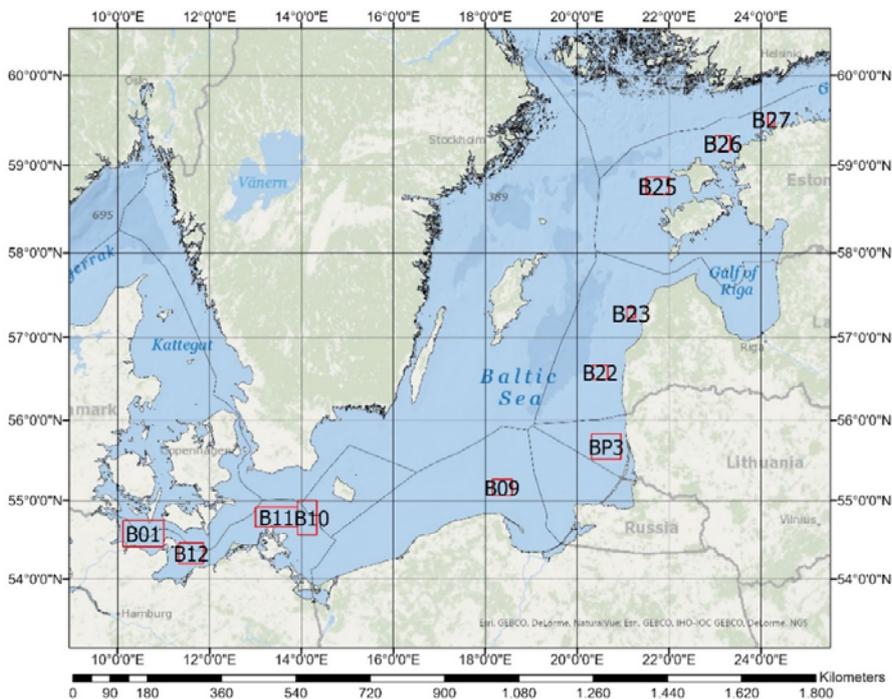


Abbildung 2: Probennahmegebiete in der Ostsee

3 Ergebnisse und Diskussion

3.1 Irische See

Die Messwerte für Cs-137 in Fischen der Irischen See sind in Tabelle 1 zusammengestellt. Die spezifischen Aktivitäten variieren im Bereich von $0,10 \pm 0,011 \text{ Bq kg}^{-1}$ Feuchtmasse (FM) und $1,79 \pm 0,184 \text{ Bq kg}^{-1}$ FM. Die Messwerte stiegen dabei mit abnehmender Distanz zur Einleitstelle an der Wiederaufbereitungsanlage Sellafield an. Das entspricht dem, was auch in der Literatur beschrieben ist [3].

Tabelle 1: Spezifische Aktivitäten von Cs-137 und deren Unsicherheit in Fischen aus der Irischen See, geordnet nach abnehmender Distanz zur Wiederaufbereitungsanlage Sellafield

Gebiet	Fischart	Aktivität	
		(Bq·kg ⁻¹ FM)	
E02	Schellfisch	0,25	0,016
E02	Kliesche	0,10	0,011
E01	Hering	0,48	0,052
E01	Grauer Knurrhahn	0,44	0,028
E01	Schellfisch	0,25	0,016
E01	Dornhai	0,28	0,018
G05	Kliesche	1,10	0,068
G05	Wittling	1,79	0,184
G05	Scholle	1,01	0,062
G05	Hering	0,55	0,059

3.2 Ostsee

Die Messwerte für Cs-137 in Fischen der Ostsee sind in den Tabellen 2 und 3 zusammengestellt. Die spezifischen Aktivitäten variieren im Bereich von $1,94 \pm 0,198 \text{ Bq kg}^{-1}$ FM und $2,55 \pm 0,155 \text{ Bq kg}^{-1}$ FM in Futter- und im Bereich von $2,04 \pm 0,125 \text{ Bq kg}^{-1}$ FM und $3,96 \pm 0,242 \text{ Bq kg}^{-1}$ FM Raubfischen.

Tabelle 2: Spezifische Aktivitäten und deren Unsicherheiten für Cs-137 in Rundfischen aus der Ostsee, geordnet von West nach Nordost (abnehmende Distanz zur Tschorbobyl-Kontamination)

Gebiet	Futterfisch			Raubfisch		
	Fischart	Aktivität	Uns.	Fischart	Aktivität	Uns
		(Bq·kg ⁻¹ FM)			(Bq·kg ⁻¹ FM)	
B12				Dorsch	3,12	0,190
B11	Sprotten	2,00	0,122	Dorsch	2,48	0,152
B09				Dorsch	3,17	0,191
BP3	Hering	1,94	0,198	Dorsch	2,04	0,211
B23				Dorsch	2,88	0,175
B25	Sprotten	2,55	0,155	Dorsch	3,96	0,242

Tabelle 3: Spezifische Aktivitäten und deren Unsicherheiten für Cs-137 in Plattfischen aus der Ostsee, geordnet von West nach Nordost (abnehmende Distanz zur Tschornobyl-Kontamination)

Gebiet	Fischart	Aktivität	Uns.
		(Bq·kg ⁻¹ FM)	
B01	Kliesche	0,45	0,048
B12	Kliesche	0,67	0,071
B10	Flunder	2,20	0,135
BP3	Flunder	2,29	0,140
B22	Flunder	2,46	0,150
B23	Flunder	2,21	0,135
B25	Flunder	1,85	0,113
B26	Flunder	2,04	0,125

Diese Werte der spezifischen Cs-137-Aktivität liegen im selben Bereich, die auch aus der Literatur bekannt sind [1]. Mittlerweile ist der klare Anstieg von West nach Ost allerdings nur noch wenig ausgeprägt, so dass von einer nahezu gleichen Verteilung gesprochen werden kann. Des Weiteren wird der Schwellenwert der EU-Meeresstrategie-Rahmenrichtlinie unterschritten, so dass der „Gute Umweltzustand“ erreicht wird.

4 Gegenüberstellung und Schlussfolgerung

In Tabelle 4 sind die Parameter und Ergebnisse für die Irische See und die Ostsee gegenübergestellt.

Tabelle 4: Gegenüberstellung der Parameter/ Ergebnisse für die Irische See und die Ostsee

Parameter	Irische See		Ostsee	
Cs-137 Eintrag	ca. 39.000 TBq		ca. 5.850 TBq	
Plattfische (Bq·Kg ⁻¹ FM)	Kliesche	1,10	0,673	Kliesche
	Scholle	1,01	2,46	Flunder
Rundfische (Bq·Kg ⁻¹ FM)	Hering	0,545	1,94	Hering
	Wittling	1,79	3,96	Dorsche

Bezüglich der Einträge von Cs-137 und der spezifischen Aktivität in Kliesen werden in der Irischen See höhere Werte erzielt als in der Ostsee. Im Gegensatz dazu sind die spezifischen Aktivitäten von Scholle, Hering und Wittling in der Ostsee bis zu dreieinhalb Mal höher als in der Irischen See. Damit erzielt die Ostsee bei drei der fünf erhobenen Parameter den höheren Wert, was weiterhin die Einstufung als weltweit am stärksten kontaminiertes Meer rechtfertigt.

5 Literatur

[1] HELCOM (2023) Radioactive substances: Caesium-137 in fish and surface seawater. HELCOM core indicator report. Online, Letzter Zugriff: 11.12.2023, <https://indicators.helcom.fi/indicator/radioactive-substances/>, ISSN 2343-2543

- [2] IAEA (2004): Worldwide marine radioactivity studies (WOMARS) – Radionuclide levels in oceans and seas, IAEA, Wien, 2004. IAEA -TECDOC-1429, ISBN 92-0-114904-2, ISSN 1011-4289
- [3] Environment Agency, Food Standards Agency, Food Standards Scotland, Natural Resources Wales, Northern Ireland Environment Agency, Scottish Environment Protection Agency (2022): Radioactivity in Food and the Environment, 2021. RIFE 27, 332 Seiten, Online, Letzter Zugriff: 11.12.2023, https://webarchive.nationalarchives.gov.uk/ukgwa/20231013184744mp_/https://assets.publishing.service.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment_data/file/1114928/RIFE-27-Radioactivity-in-food-and-the-environment-2021.pdf

Schlusswort

Schlusswort

R. Stegemann

Leiter der Arbeitsgruppe S II 5

(Notfallschutz, Radiologisches Lagezentrum des Bundes, Überwachung der Radioaktivität in der Umwelt) im Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, nukleare Sicherheit und Verbraucherschutz

Die Überwachung der Umweltradioaktivität ist eine umfangreiche Aufgabe, die nur gemeinsam durch die beteiligten Institutionen bei Bund und Ländern gemeistert werden kann. Diese Veranstaltungsreihe dient dem Wissens- und Erfahrungsaustausch zwischen allen Institutionen bei Bund und Ländern, die Umweltradioaktivität messen, Messergebnisse dokumentieren, auswerten und berichten sowie die Strahlenexposition der Bevölkerung abschätzen.

Die bestehenden Regelungen und Systeme zur Überwachung der Umweltradioaktivität wurden sukzessive nach dem Tschornobyl-Unfall 1986 geschaffen. Im Zuge der Umsetzung der Richtlinie 2013/59/Euratom erfolgte vor einigen Jahren eine Neuordnung dieses Regelwerks und die Erstellung des Strahlenschutzgesetzes. Die Anpassungen im untergesetzlichen Regelwerk sind weiterhin in Überarbeitung, um zukünftigen Schwerpunkten und Herausforderungen bei der Überwachung gerecht zu werden. Das Fachgespräch hat dabei Anlass geboten, sich zu den Folgerungen aus dem aktuellen Strahlenschutzrecht sowie zu Praxiserfahrungen vertieft auszutauschen.

Viele Beiträge und Diskussionen des Fachgesprächs drehten sich dabei um die durch das Strahlenschutzgesetz geforderte Erstellung der Notfallpläne durch Bund und Länder. Als übergreifendes Dokument ist dabei jüngst der Allgemeine Notfallplan des Bundes (ANoPI-Bund) in Kraft getreten, der durch weitere Dokumente ergänzt wird. Der Überwachung der Umweltradioaktivität obliegt im Notfallmanagementsystem eine zentrale Rolle für die Erkennung und Bewertung einer Notfallsituation. Der für Notfälle vorgesehene IMIS-Intensivbetrieb der Überwachung wird jährlich beübt, um die Wirksamkeit des Systems sicherzustellen.

Wir haben ein anregendes Fachgespräch mit informativen Beiträgen und produktiven Diskussionen in einer angenehmen Atmosphäre erlebt. Hierfür möchte ich mich bei unserem Gastgeber, der Universität zu Kiel, bedanken. Ich möchte mich außerdem beim Programm- und Organisationskomitee und allen Helfern bedanken, die die Durchführung und das Gelingen des Fachgesprächs ermöglicht haben. Erwähnen möchte ich an dieser Stelle ausdrücklich die Unterstützung durch das BfS, insbesondere durch Frau Bieringer, Herrn Dr. Peter und Frau Lovsky, sowie durch das Team des MRI um Herrn Dr. Haase.

Ich bedanke mich nicht zuletzt bei allen Vortragenden und Ihnen als Teilnehmerinnen und Teilnehmern und hoffe, Sie auf dem nächsten Fachgespräch wiederzusehen.

Bildnachweis

Bundesamt für Strahlenschutz	50– 51
Bundesamt für Strahlenschutz, Berlin	
Anne Graupner	183
David Hansmann	78– 79
Martin Dubsloff	118– 122
Bundesamt für Strahlenschutz, Freiburg	223, 230, 272– 273
Sven Burbeck	190– 191
Bundesamt für Strahlenschutz, München-Neuherberg	64, 113– 114, 256– 261
Bundesamt für Strahlenschutz, Rainer Merk	132– 134
Bundesamt für Strahlenschutz, Salzgitter	15, 17, 23– 24, 49– 51, 89
Bundesanstalt für Gewässerkunde, Koblenz	
Jan Wiederhold	198– 202
Bundesgesundheitsamt, Institut für Strahlenhygiene, München-Neuherberg	112
Christina Haase (privat)	3
Deutscher Wetterdienst, Offenbach	
Michael Mirsch	264, 266– 268
Gesellschaft für Anlagen- und Reaktorsicherheit, Köln	164
Max Rubner-Institut, Kiel	23– 24
Florian Ober	29– 31, 33
Taida Gil Haenelt	151– 152
Niedersächsischer Landesbetrieb für Wasserwirtschaft, Küsten- und Naturschutz	38– 42
Hendrik Adams	92– 94
Kirsten Rupprecht	58– 60, 62
Physikalisch-Technische Bundesanstalt, 38116 Braunschweig, Deutschland	
Stefan Röttger	177– 178
Physikalisch-Technische Bundesanstalt, Braunschweig	
Annette Röttger	249– 250
Radioaktivitätsmessstelle im Landesamt für Umwelt, Naturschutz und Geologie, Stralsund	
Thomas Ernst	84– 87, 89
Rainer Gellermann, Nuclear Control & Consulting GmbH, Braunschweig	97– 98
Senatsverwaltung für Mobilität, Verkehr, Klimaschutz und Umwelt, Berlin	206, 208– 213
Staatliche Betriebsgesellschaft für Umwelt und Landwirtschaft, Sachsen	
Mandy Alisch-Mark, Jacqueline Pianski, Janett Pezenka, Stefan Friedemann, Thomas Heinrich	137– 140
Thünen-Institut für Fischereiökologie, Bremerhaven	
Pedro Nogueira, Marc-Oliver Aust, Sarah-Jane Reyelt	278
Veronika Ustohalova, Öko-Institut e.V., Darmstadt	97– 98
VKTA - Strahlenschutz, Analytik Entsorgung, Rossendorf	125– 129