



Bundesministerium  
für Umwelt, Naturschutz  
und Reaktorsicherheit

# Schriftenreihe

**Fachgespräch Überwachung der Umweltradioaktivität**

**15. Fachgespräch in Bremen, 5. bis 7.3.2013**

**Daten - Modelle - Information**

## IMPRESSUM:

**Herausgeber:** Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und  
Reaktorsicherheit (BMU),  
Referat RS II 5  
53048 Bonn

Universität Bremen  
IUP - Institut für Umweltphysik  
28359 Bremen



**Redaktion:** Bundesamt für Strahlenschutz (BfS)  
Postfach 10 01 49  
38201 Salzgitter  
Dr. Josef Peter

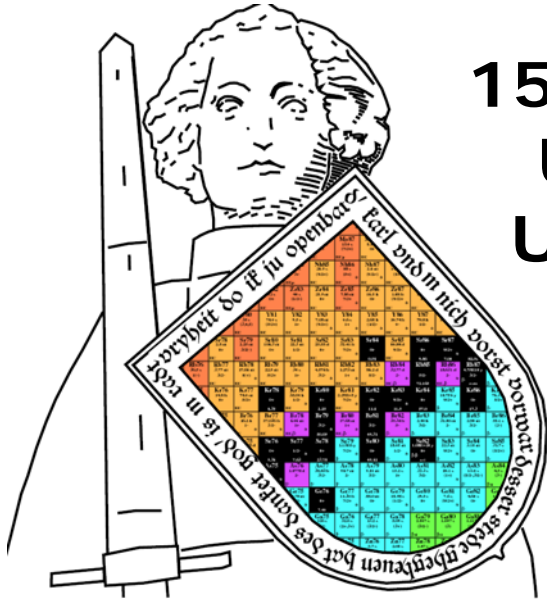
**Stand:** 20. Januar 2014

ISSN 1869-585X

## Abbildungen:

Uni Bremen/H.W.Fischer Titelfoto

BfS/B.Denstorf 186, 187, 188; BfS/C.Höbler 103, 105; BfS/C.Schlosser 25, 26, 27; BfS/C.Wittwer 58; BfS/CTBTO/  
S.Schmid 280, 281; BfS/D.Esch 167, 168; BfS/Europäische Commission/J.Peter 291, 293; BfS/G.Rösler 77; BfS/I.Krol  
252, 253, 255, 256; BfS/J.Peter 294; BfS/M.Zähringer 179, 180, 181, 217, 218, 219, 220, 221; BfS/S.Burbeck 109,  
110; BfS/S.Schmid 277, 278; BfUL Radebeul/T.Heinrich 43, 46, 47, 48; BGR/J.O.Roß 136, 137, 138, 139; Canberra/  
G.Fritz 225, 227, 229; DWD/M.Mirsch 72, 73, 74; DWD/T.Steinkopff 17, 33, 34, 35, 36; ENVINET/S.Reinhardt 236,  
237, 238, 239; FCI Mainz/S.Wisser 201; HMGU/C.Staudt 159, 160, 161, 162; Institut für Kernenergetik und Energiesys-  
teme/W.Scheuermann 145, 146, 147, 148, 149, 150, 151, 152, 154, 155, 156; LUBW/U.Neff 52, 53, 54; MRI/D.Tait 84;  
MRI/N.Roos 262, 264, 265, 266; MWKEL/M.Maurer 118, 119, 120; Nucleonica/J.Magill 269, 270, 271, 272, 273, 274,  
275; TLUG/C.Kowalik 210, 211, 212; Uni Bremen/S.Ulbrich 195, 196; VKTA Rossendorf/S.Bartel 93, 94, 95, 96, 97;



# 15. Fachgespräch zur Überwachung der Umweltradioaktivität

Daten – Modelle –  
Information  
Bremen, 5. bis 7.3.2013

## Tagungsband



Bundesministerium  
für Umwelt, Naturschutz  
und Reaktorsicherheit



Universität Bremen

Der Senator für Umwelt,  
Bau und Verkehr



Freie  
Hansestadt  
Bremen

Herausgeber: Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und  
Reaktorsicherheit (BMU),  
Postfach 12 06 29  
53048 Bonn

Redaktion und Druck: Bundesamt für Strahlenschutz (BfS)  
Postfach 10 01 49  
38201 Salzgitter

Stand: 20. Januar 2014

# 15. Fachgespräch zur Überwachung der Umweltradioaktivität

## Daten – Modelle – Information Bremen, 5. bis 7.3.2013

<b>Begrüßung und Einführung</b>	<b>8</b>
<i>Vorwort von Dr. Christian Greipl</i> .....	9
Gegenwärtige und zukünftige Entwicklungen im Notfallschutz <i>E. Wirth</i> .....	10
<b>Umwelt- und Umgebungsüberwachung in Deutschland</b>	<b>11</b>
<i>Zusammenfassung Sitzung I</i> .....	13
Radioaktivitätsüberwachung durch den Deutschen Wetterdienst - automatische nuklidspezifische Messungen <i>T. Steinkopff, J. Barth, A. Dalheimer, M. Mirsch</i> .....	15
Langzeitmessungen von Radioxenon in der Atmosphäre und Jod-131 Nachweis in Europa in 2011 und 2012 <i>C. Schlosser, J. Bieringer, R. Kraus, M. Konrad, T. Kumberg, S. Schmid und J. O. Ross</i> .....	23
Ausbreitungsrechnungen und Spurenmessungen infolge des Reaktorunfalls von Fukushima <i>T. Steinkopff, J. Barth, A. Dalheimer, A. Ehlers, G. Frank, H. Glaab, M. Mirsch</i> ...	31
I-131 in deutschen Kläranlagen und Fließgewässern <i>H. W. Fischer, S. Ulbrich, B. Hettwig, R. Gellermann</i> .....	39
Hubschraubergestützte Messungen - ein wichtiger Bestandteil des Notfallschutzes <i>Ch. Strobl, Ch. Hohmann, I. Krol, M. Thomas, C. Brummer</i> .....	40
<i>Zusammenfassung Sitzung II</i> .....	41
Untersuchungen zur Cäsium-Kontamination sächsischer Böden <i>T. Heinrich, A. Abraham, R. Weber</i> .....	42
Einflüsse auf die Akkumulation von Radionukliden in Sedimenten und Böden <i>R. Bechtler</i> .....	50
Immissionsüberwachung der Kernreaktor-Fernüberwachung Baden-Württemberg <i>U. Neff, U. Müller, C. Mandel, P. Coutinho, C. Grimm, M. Hagmann, T. Wilbois, Y. Ren</i> .....	51

Emissions- und Immissionsüberwachung der Schachanlage Asse II <i>D. Esch, J. Gerler, C. Wittwer</i> .....	56
Untersuchung von landwirtschaftlichen Produkten aus der Umgebung der Schachanlage Asse II <i>J. Gerler, C. Wittwer</i> .....	63
Kontinuierliche Messungen auf dem Erdboden deponierter Radionuklide mittels In- Situ-Gammaspektrometrie <i>M. Mirsch, J. Barth, A. Dalheimer, T. Steinkopff</i> .....	70
Übersicht der in IMIS vorhandenen Daten <i>G. Rösler</i> .....	76
Langlebige $\alpha$ -Aktivität an Aerosolen in einer durch Braunkohletagebaue geprägten Umgebung <i>M. Möllmann-Coers, E. Kümmerle, E. Pomplun, D. Klemp</i> .....	78
DeGeN Messfahrzeug für radioaktive und nukleare Stoffe <i>M. Risse, W. Berky, T. Köble, O. Schumann, W. Rosenstock</i> .....	79
Plutonium und Americium in Ackerboden in Deutschland <i>D. Tait und B. Kock</i> .....	80
Nachweis von Fukushima-Emissionen In der Immissionsüberwachung des Forschungsstandortes Rossendorf <i>M. Kaden, D. Degering, S. Bartel</i> .....	92
<b>Fortentwicklungen im Notfallschutz und in der Umweltüberwachung</b> .....	<b>98</b>
Stand und weiteres Vorgehen der IMIS/KOALA-Entwicklungen des BfS <i>C. Höbler, B. Gerich, M. Stanko, W. Harms</i> .....	99
Geographische Informationsverarbeitung im Integrierten Mess- und Informationssystem (IMIS) – ein Überblick - <i>S. Burbeck</i> .....	107
RFÜ-WebGIS Rheinland-Pfalz   Saarland Geografisches Informationssystem (GIS) für den kerntechnischen Notfallschutz - Modulares Monitoring in statu nascendi <i>Christian Lindenbeck, J. Kaiser, R. Amthauer, Y. Ren, Thomas Wilbois, B. Müller, C. Seewald, H. Fenn, R. Hentzschel, M. Maurer</i> .....	115
Die Einsatzdokumentation des Landesamtes für Umweltschutz Sachsen-Anhalt zum IMIS-Intensivmessprogramm - Anspruch und Wirklichkeit <i>Dr. F. Hänsel</i> .....	123
Herausforderungen für den anlagenexternen Notfallschutz bei lang andauernden Freisetzungen <i>F. Gering</i> .....	128
<i>Zusammenfassung des Workshops C2</i> .....	129

Labordatenverarbeitung in IMIS und Laborinformationssystemen <i>M. Neumann, M. Stanko, R. Kraus</i> .....	131
<b>Einsatz von Modell- und Informationssystemen</b>	<b>132</b>
Vergleich von Ausbreitungsrechnungen zur Rekonstruktion der Ablagerung nach dem Unfall in Fukushima <i>B. Gerich, K. Arnold, H. Walter, F. Gering</i> .....	133
Atmosphärische Transportmodellierung für das Radionuklidmessnetz zur Überwachung des Kernwaffenteststoppvertrages im Regelbetrieb und nach den Freisetzungen in Fukushima <i>J.O. Roß, L. Ceranna, C. Bönnemann, C. Schlosser</i> .....	134
Validierung der Gammasubmersionsberechnung im Rahmen der KFÜ Baden-Württemberg <i>W. Scheuermann, W. Bernnat, T. Wilbois, C. Krass, A. Lurk</i> .....	142
Probabilistische Rechnungen und Sensitivitätsanalyse von Parametern für ein Referenzbiosphärenmodell zur Endlagerung von radioaktiven Abfällen <i>C. Staudt, J. C. Christian Kaiser</i> .....	158
Ermittlung der potenziellen Strahlenexposition der Bevölkerung in der Umgebung der Schachanlage Asse II infolge Ableitung radioaktiver Stoffe mit den Abwettern im bestimmungsgemäßen Betrieb mittels des „Atmosphärischen Radionuklid-Transport-Modells“ ARTM <i>D. Esch, C. Wittwer</i> .....	165
Schnelle Abschätzung der unfallbedingt auf dem Boden abgelagerten Radionuklide <i>M. Bleher, B. Gerich, F. Gering, R. Luff</i> .....	170
<b>Messprogramme bei Ereignissen und Übungen</b>	<b>172</b>
Messprogramme und Übungskonzepte - Sind Anpassungen Nötig? <i>M. Werner, T. Heinrich</i> .....	173
Workshop A1 „Messprogramme und Übungskonzepte – sind Anpassungen nötig?“ <i>M. Werner, T. Heinrich</i> .....	174
<b>Information der Öffentlichkeit bei lokalen und globalen Ereignissen</b>	<b>176</b>
Offene und schnelle Verfügbarkeit von ODL-Messwerten in der Öffentlichkeit – Herausforderungen und Chancen durch internetbasierte Kommunikationsformen <i>M. Zähringer, R. Luff, M. Schiesewitz</i> .....	177
PotenTiale und Herausforderungen der Kommunikation von Radioaktivitätsmessdaten am Beispiel von ODLinfo <i>R Högg, M. Holenstein, C. Hoffmann, V. Schetula</i> .....	184

Information der Öffentlichkeit bei lokalen und globalen Ereignissen <i>B. Denstorf, A. Lutz, D. Schwarz</i> .....	185
<b>Schnellmethoden und (neue) analytische Verfahren</b>	<b>189</b>
Verfahren zur Bestimmung von <sup>137</sup> I in Fließgewässern <i>S. Ulbrich, V. Hormann, M. E. Souti, E. Toma, A. Igbinsosa, B. Hettwig, H. W. Fischer</i> 191	
Messung von Strontium-Isotopen im Hidex 300 SL mittels TDCR-Čerenkov-Counting <i>S. Wisser, E. Frenzel, T. Oikari</i> .....	199
Schnellmethode zur Sr-89- / Sr-90-Bestimmung in Milch und pflanzlichen Nahrungsmitteln durch direkte Extraktion ohne Veraschung <i>Dr. Bechtler, Ralf</i> .....	207
Erfahrungen bei der Bestimmung von <sup>89</sup> Sr und <sup>90</sup> Sr mittels Schnellmethoden <i>C. Kowalik, J. Föger</i> .....	208
Umsetzung der DIN ISO 11929 zur Bestimmung der charakteristischen Grenzen in der Spektrometrie- Software von Canberra <i>G. Fritz , H.- J. Lange</i> .....	214
Entwicklung von spektrometrierenden Sonden für den Notfallschutz - Stand und Perspektiven <i>M.Zähringer, M.Bleher, M. Dambacher, C. Disch, W.Eickhoff, A. Fauler, M.Fiederle, W.Harms, R.Luff, U. Stöhlker, A. Zwirger</i> .....	215
<i>Zusammenfassung der Sitzung II</i> .....	223
Implementierung der DIN ISO 11929 in Spektrometrie- Software und dabei auftretende Probleme <i>G. Fritz , H.-J. Lange</i> .....	224
Sedimentdatierung mittels Gammaspektroskopie <i>H. W. Fischer<sup>1</sup>, D. Pittauerová</i> .....	232
Radon-Dichtheitsprüfung <i>D. Pittauerová, B. Hettwig, H. W. Fischer</i> .....	233
Umweltüberwachung mit In-situ-Gamma-Spektrometer <i>S. Reinhardt</i> .....	234
<i>Zusammenfassung des Workshops B1</i> .....	241
Radiochemische Analyse von Schwebstofffilter- und Niederschlagsproben im Deutschen Wetterdienst <i>A. Dalheimer, H. Diedrich-Roesch</i> .....	242
Schnelle Bestimmung von Strontium-89 und Strontium-90 mittels simultaner Čerenkov- und Proportionalzählrohrmessung <i>Karin Laerbusch und Claus Wiezorek</i> .....	246



<b>Maßnahmen des Qualitätsmanagementsystems</b>	248
<i>Zusammenfassung der Sitzung</i> .....	249
Ringversuche "Abwasser aus kerntechnischen Anlagen" <i>I. Krol, Ch. Hohmann, M. Bräuer, P. Radke</i> .....	251
Vergleichsprüfung mit Spinatpulver als Probenart für umweltrelevante Nuklide <i>N. Roos, D. Tait</i> .....	258
Nucleonica: Web-based Software Tools for Simulation and Analysis <i>J. Magill, R. Dreher, Z. Soti</i> .....	268
Qualitätssicherung bei der Edalgasspurenanalyse <i>S. Schmid, H. Gohla, M. Konrad, T. Kumberg, C. Schlosser</i> .....	276
Schulungen, Workshops, Tutorial im Bereich IMIS/Notfallschutzsysteme – Angebote, Erfahrungen, Erkenntnisse, weitere Planungen, Anforderungen <i>J. Lieser, I. Strilek</i> .....	283
Akkreditierung von Messstellen - muss das sein? <i>Claus Wiezorek, Susanne Sandtner</i> .....	284
<b>Harmonisierung der Umweltüberwachung auf europäi- scher und internationaler Ebene</b>	285
<i>Zusammenfassung der Sitzung</i> .....	286
Metrologische Beiträge zur Harmonisierung der Ortsdosisleistungs-Messungen europäischer Frühwarnsysteme <i>S. Neumaier, H. Dombrowski</i> .....	287
Normung im Strahlenschutz <i>S. Neumaier, H. Dombrowski</i> .....	287
27 Mitgliedstaaten - Auswirkungen auf die Berichterstattung über Umweltradioaktivität der Europäischen Kommission <i>J. Peter, A. Trugenberger-Schnabel</i> .....	289
<b>Schlusswort</b>	295
<b>Abkürzungen</b>	297
<b>Beiträge nach Nummern</b>	298

# Begrüßung und Einführung

*Vorwort von Dr. Christian Greipl* ..... 9

Gegenwärtige und zukünftige Entwicklungen im Notfallschutz

*E. Wirth* ..... 10

# VORWORT

Dr. Christian Greipl

*Leiter der Unterabteilung RS II im Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und  
Reaktorsicherheit*

Fachgespräche zur Überwachung der Umweltradioaktivität finden seit 1975 im Abstand von drei bis vier Jahren statt, letztmalig im Jahr 2009 in Freiburg zusammen mit dem Bundesamt für Strahlenschutz und dem Umweltministerium Baden-Württemberg. Diesmal wird die Veranstaltung gemeinsam mit der Universität Bremen durchgeführt. Die 34 Vorträge in neun Plenarsitzungen dienen dem Wissens- und Erfahrungsaustausch. Sechs Workshops bieten die Möglichkeit zur vertieften Diskussion. Der Informationsaustausch wird durch eine kleine Industrieausstellung mit 11 Ausstellern zum Themenbereich Umweltradioaktivität abgerundet.

Das 14. Fachgespräch hatte den Fokus „IMIS-System“. Das 15. Fachgespräch befasst sich dagegen wieder mit allen Facetten der Überwachung von Umweltradioaktivität und Umgebungsüberwachung im Routine- und Notfall.

Die Regelungen und Systeme zur Überwachung der Umweltradioaktivität waren nach dem Tschernobyl-Unfall 1986 geschaffen worden. Neue Aktualität haben sie durch das Fukushima-Ereignis im Jahr 2011 erhalten, ein Thema, das auch in mehreren Beiträgen aufgegriffen wird, sowohl im Bereich Messungen als auch Modellrechnungen. Aktuell sind auch die Beiträge zur Umgebungsüberwachung von ASSE II und zur Endlagerung radioaktiver Abfälle. Dem Thema Schnellmethoden wird breiter Raum gegeben. Sie sind im Ereignisfall wichtig, um das Probenaufkommen zeitgerecht bewältigen zu können. Die Thematik wird auch durch einen Workshop vertieft. Qualitätsmanagement und Normung erlangen immer größere Bedeutung und haben auch eine internationale Dimension. Sie werden daher in zwei Sitzungen und einem Workshop aufgegriffen. Die „Information der Öffentlichkeit“, eine große Herausforderung während des Fukushima-Ereignisses, ist ebenfalls Thema des Fachgesprächs.

Last but not least wird über die Weiterentwicklung von Verfahren und insbesondere die Weiterentwicklungen des IMIS als zentralem Werkzeug zur Überwachung der Umweltradioaktivität berichtet. Dort werden neue Wege weg von der monolithischen Systementwicklung zur sukzessiven Weiterentwicklung gegangen.

Das breitgefächerte Angebot an Themen verspricht ein interessantes und informatives Fachgespräch, das sicher noch durch Diskussionen während und am Rande des Fachgesprächs bereichert werden wird.

# GEGENWÄRTIGE UND ZUKÜNFTIGE ENTWICKLUNGEN IM NOTFALLSCHUTZ

E. Wirth  
*Bundesamt für Strahlenschutz, Freiburg*

Gemäß dem Titel befasst sich das Fachgespräch mit dem Thema Umweltradioaktivität. Es ist daher naheliegend, dass sich dieser Einführungsvortrag auf gegenwärtige und zukünftige Entwicklungen im Bereich des externen Notfallschutzes beschränkt.

Der externe Notfallschutz basiert auf 3 Säulen

- Die Ermittlung der radiologischen Lage
- Die Erörterung und Empfehlungen von Maßnahmen auf der Basis der Ergebnisse der Lageermittlung
- Die Durchführung von beschlossenen und empfohlenen Maßnahmen

Dieser Vortrag wird sich vor allem mit den gegenwärtigen und zukünftigen Entwicklungen zur Ermittlung der Lage beschäftigen. Unabhängig von der Größe eines Unfalls sind folgende Punkte für eine Lageermittlung maßgebend:

- Ausweisung der betroffenen Gebiete.
- Ermittlung der Radionuklidzusammensetzung und der Höhe der Deposition
- Abschätzung der Strahlenbelastung des Menschen.

Für Entscheidungen über Maßnahmen ist es wichtig, dass diese Informationen in jeder Phase eines Unfalls schnell und übersichtlich zur Verfügung gestellt werden. Damit wird klar, dass es in diesem Vortrag nicht nur um die Entwicklung der Messtechnik und um Messstrategien in den verschiedenen Phasen eines Unfalls geht, sondern auch um die Datenerfassung, Datenübertragung, Entscheidungshilfemodelle und um eine leicht verständliche Darstellung von Ergebnissen.

Dieser Beitrag gibt zunächst einen kurzen Rückblick über den Umfang und die Ergebnisse der Umweltmessungen nach Tschernobyl. Danach werden die wesentlichen Entwicklungen in den oben genannten Bereichen seit dieser Zeit skizziert und die Fragen gestellt: Wie können die bisherigen Systeme noch effektiver genutzt werden sowie welche Mess- und IT-technischen Entwicklungen sind zu erwarten bzw. anzustreben, um die oben genannten Ziele noch zuverlässiger, effektiver und leichter erreichen zu können?

# Umwelt- und Umgebungsüberwachung in Deutschland

## Vorträge

### Sitzung I - Leitung: Fr. Bieringer, Hr. Steinkopff

<b>Zusammenfassung Sitzung I</b> .....	13
Radioaktivitätsüberwachung durch den Deutschen Wetterdienst - automatische nuklidspezifische Messungen <i>T. Steinkopff, J. Barth, A. Dalheimer, M. Mirsch</i> .....	15
Langzeitmessungen von Radioxenon in der Atmosphäre und Jod-131 Nachweis in Europa in 2011 und 2012 <i>C. Schlosser, J. Bieringer, R. Kraiss, M. Konrad, T. Kumberg, S. Schmid und J. O. Ross</i> .....	23
Ausbreitungsrechnungen und Spurenmessungen infolge des Reaktorunfalls von Fukushima <i>T. Steinkopff, J. Barth, A. Dalheimer, A. Ehlers, G. Frank, H. Glaab, M. Mirsch</i>	31
I-131 in deutschen Kläranlagen und Fließgewässern <i>H. W. Fischer, S. Ulbrich, B. Hettwig, R. Gellermann</i> .....	39
Hubschraubergestützte Messungen - ein wichtiger Bestandteil des Notfallschutzes <i>Ch. Strobl, Ch. Hohmann, I. Krol, M. Thomas, C. Brummer</i> .....	40

### Sitzung II - Leitung: Hr. Fischer, Hr. Salfeld

<b>Zusammenfassung Sitzung II</b> .....	41
Untersuchungen zur Cäsium-Kontamination sächsischer Böden <i>T. Heinrich, A. Abraham, R. Weber</i> .....	42
Einflüsse auf die Akkumulation von Radionukliden in Sedimenten und Böden <i>R. Bechtler</i> .....	50
Immissionsüberwachung der Kernreaktor-Fernüberwachung Baden- Württemberg <i>U. Neff, U. Müller, C. Mandel, P. Coutinho, C. Grimm, M. Hagmann, T. Wilbois, Y. Ren</i> .....	51
Emissions- und Immissionsüberwachung der Schachtanlage Asse II <i>D. Esch, J. Gerler, C. Wittwer</i> .....	56

Untersuchung von landwirtschaftlichen Produkten aus der Umgebung der Schachtanlage Asse II <i>J. Gerler, C. Wittwer</i> .....	63
--	----

**Poster:**

Kontinuierliche Messungen auf dem Erdboden deponierter Radionuklide mittels In-Situ-Gammaspektrometrie <i>M. Mirsch, J. Barth, A. Dalheimer, T. Steinkopff</i> .....	70
Übersicht der in IMIS vorhandenen Daten <i>G. Rösler</i> .....	76
Langlebige $\alpha$ -Aktivität an Aerosolen in einer durch Braunkohletagebaue geprägten Umgebung <i>M. Möllmann-Coers, E. Kümmerle, E. Pomplun, D. Klemp</i> .....	78
DeGeN Messfahrzeug für radioaktive und nukleare Stoffe <i>M. Risse, W. Berky, T. Köble, O. Schumann, W. Rosenstock</i> .....	79
Plutonium und Americium in Ackerboden in Deutschland <i>D. Tait und B. Kock</i> .....	80
Nachweis von Fukushima-Emissionen In der Immissionsüberwachung des Forschungsstandortes Rossendorf <i>M. Kaden, D. Degering, S. Bartel</i> .....	92

## SITZUNG UMWELT- UND UMGEBUNGSÜBERWACHUNG IN DEUTSCHLAND I

Sitzungsleiter: **Fr. Bieringer, Hr. Dr. Steinkopff**

*Dienstag, 5.3.2013, 10:50 bis 12:30*

### Zusammenfassung

Herr Steinkopff erläutert in seinem ersten Vortrag die Messaufgaben des DWD, die im Rahmen des Integrierten Mess- und Überwachungssystems zur Überwachung der Radioaktivität in der Umwelt (IMIS) in der AVV-IMIS festgelegt sind.

Die 48 Radioaktivitätsmessstellen des DWD wurden dahin gehend modernisiert und automatisiert, dass die Aktivitätskonzentrationen von aerosolgebundenen Radionukliden und gasförmigem I-131 automatisch ermittelt werden können. Zu dieser Umrüstung gehörte bei den In-situ-Messsystemen der Ersatz der Kühlung mit flüssigem Stickstoff durch elektrische Kühlung. Durch diese Maßnahme werden auch in diesem Bereich kontinuierliche Messungen möglich, d. h. es besteht kein Unterschied zwischen Normal- und Intensivbetrieb. Allerdings ergeben sich dadurch Folgemaßnahmen, wie z. B. die Anpassung der unterbrechungsfreien Stromversorgung. Weiterhin wurden die sog. ABPD-Systeme zur kontinuierlichen Ermittlung der Konzentration Alpha- und Betastrahlern in der Luft durch FHT59Si-J-Systeme ausgetauscht, die zusätzlich die Bestimmung der Aktivitätskonzentration des gasförmigen Jods ermöglichen.

Herr Schlosser vom BfS berichtet über die Spurenanalyse an den Messstationen Freiburg und Schauinsland im Rahmen der Aufgaben als IMIS-Spurenmessstelle. Eine besondere Verantwortung obliegt dem BfS für den Betrieb vollautomatischer Systeme zur Messung von radioaktiven Xenon-Isotopen bzw. von gammastrahlenden Aerosolpartikeln auf dem Schauinsland im Rahmen seiner Aufgaben in Zusammenhang mit der Überwachung des Kernwaffenteststoppabkommens (Comprehensive Nuclear-Test-Ban Treaty, CTBT).

Er erläutert die Messreihen am Beispiel des Xe-133, die die Untersuchung von Trends über längere Zeiträume und den Einfluss verschiedener Quellen auf die Messergebnisse ermöglichen. Mögliche Quellen und deren Beiträge können in einigen Fällen durch Atmosphärische Ausbreitungsrechnungen identifiziert werden. So liefern mittlerweile Isotopenproduktionsanlagen den größten Beitrag zum atmosphärischen Radioxenon-Untergrund.

Mittels Spurenmessungen wurden an einigen europäischen Messstationen im Herbst 2011 und im Frühjahr 2012 geringe Aktivitätskonzentrationen von I-131 über einen längeren Zeitraum nachgewiesen. Diese Freisetzung ist möglicherweise auf Isotopenproduktionsanlagen für die Herstellung von Radiopharmazeutika zurückzuführen.

Im folgenden Beitrag zu Ausbreitungsrechnungen und Spurenmessungen erläutert Herr Steinkopff die verschiedenen Maßnahmen des DWD als Folge des Reaktorunfalls von Fukushima.

Um Aussagen über die Verfrachtung kontaminierter Luftmassen zu treffen, wurden entsprechende Simulationsrechnungen durchgeführt und die Ergebnisse für IMIS und das Internet bereitgestellt. Dabei wurde bewusst auf Angaben von Aktivitätskonzentrationen verzichtet. Aus den Rechnungen war zu schließen, dass kontaminierte Luftmassen nach ca. 14 Tagen Europa erreichen würden. Daher erfolgte die Probenentnahme an den deutschen Spurenmessstellen Schauinsland (BfS), Offenbach (DWD), Potsdam (DWD) und Braunschweig (PTB) ab dem 23.03.2011 auf täglicher Basis an Stelle der, in der Routine üblichen, wöchentlichen Sammelintervalle. Es wurden wenige Millibecquerel I-131, Cs-137 und Te-132 pro Kubikmeter Luft nachgewiesen. Am 23. und 30.03.11 führte der DWD Flugzeugmessungen durch, hier konnte bei dem Flug am 30.03.2011 ebenfalls I-131 in ähnlichen Aktivitätskonzentrationen wie in der bodennahen Luft nachgewiesen werden.

Herr Fischer (Universität Bremen) berichtet in seinem Vortrag über den regelmäßigen Nachweis von I-131 in Kläranlagen und Fließgewässern. I-131 wird in großen Mengen (ca. 40 000 Personen/a) in der nuklearmedizinischen Therapie eingesetzt. Unterhalb einer Körperaktivität von 250 MBq können die Patienten aus der Klinik entlassen werden, so dass diese restliche Aktivität teilweise weiter im Körper des Patienten zerfällt bzw. am Wohnort des Patienten ausgeschieden wird und über die Kanalisation Kläranlagen und Gewässer gelangt.

Seit Mitte 2012 werden die in die Nordsee mündenden großen deutschen Flüsse sowie ausgewählte an diesen Flüssen gelegene Kläranlagen systematisch beprobt. Es werden sowohl Zeitreihen erstellt als auch Messreihen entlang der Flüsse ermittelt, mit denen ein Modell zur Erfassung und Bilanzierung des Eintrags und Transports von I-131 validiert werden soll.

Je nach Verfahren liegen die Nachweisgrenzen für I-131 in Flusswasser bei 1 mBq/l bzw. 10 mBq/l, die ermittelten Messergebnisse bewegen sich im Bereich dieser Nachweisgrenzen. Im Kläranlagenablauf werden Werte bis zu 500 mBq/l erreicht. Die Modellierung zeigt bisher, dass im Flusswasser weniger I-131 nachgewiesen wird als aus dem Kläranlagenablauf zu erwarten ist. Mögliche Senken für I-131 sind noch zu identifizieren.

Hr. Strobl beschreibt in seinem Beitrag das Programm zur Qualitätssicherung von hubschraubergestützten Messungen zur Bestimmung der auf dem Boden deponierten Aktivität. Das Bundesamt für Strahlenschutz (BfS) betreibt vier hubschraubergestützte Gammasspektrometer zur schnellen nuklidspezifischen Bestimmung der Bodenkontamination mittels NaI-Detektoren und der Gamma-Ortsdosisleistung.

Die jährlichen Übungen erfolgen in Zusammenarbeit mit den zuständigen Landesbehörden und wurden im Jahr 2011 in Baden-Württemberg sowie 2012 in Schleswig-Holstein und Niedersachsen durchgeführt. Bei diesen Übungen wurden kerntechnische Anlagen (Neckarwestheim, Phillipsburg, Obrigheim, Brunsbüttel, Brokdorf, Krümmel und Geesthacht) und deren unmittelbare Umgebung befliegen. Es wurden neue Flugverfahren zur schnellen radiologischen Kartierung von großflächigen Messgebieten erprobt. Die Aero-Gammasspektrometrie eignet sich - aufgrund der geringen Vorlaufzeiten - im Rahmen des Notfallschutzes zur schnellen und großräumigen Ermittlung der Bodenkontamination (z. B. nach Freisetzung aus einer kerntechnischen Anlage).



# **RADIOAKTIVITÄTSÜBERWACHUNG DURCH DEN DEUTSCHEN WETTERDIENST - AUTOMATISCHE NUKLIDSPEZIFISCHE MESSUNGEN**

## **SURVEILLANCE OF RADIOACTIVITY BY THE GERMAN METEOROLOGICAL SERVICE – AUTOMATIC NUCLIDE SPECIFIC MEASUREMENTS**

T. Steinkopff, J. Barth, A. Dalheimer, M. Mirsch  
*Deutscher Wetterdienst, Frankfurter Str.135, 63067 Offenbach, Deutschland*

### **Zusammenfassung**

Durch das Gesetz über den Deutschen Wetterdienst wie auch durch das Strahlenschutzvorsorgegesetz ist der Deutsche Wetterdienst mit der Überwachung der Radioaktivität in der Atmosphäre beauftragt. Die Messaufgaben sind in der Allgemeinen Verwaltungsvorschrift zum Integrierten Mess- und Informationssystem zur Überwachung der Radioaktivität in der Umwelt (AVV-IMIS). Seit 2009 wurde die eingesetzte Messtechnik an den 48 Messstellen des Deutschen Wetterdienstes umgestaltet. Es war Ziel, die aerosolgebundenen Radionuklide, gasförmiges radioaktives Iod und deponierte Radionuklide automatisch kontinuierlich zu bestimmen. Eine wesentliche Voraussetzung dazu war der Ersatz der Kühlung mit flüssigem Stickstoff durch elektrische Kühlung. Über die Überlegungen zur technischen Umstellung, über die Erfahrungen und den aktuellen Stand des Projekts wird berichtet.

### **Summary**

The DWD (Deutscher Wetterdienst, German Meteorological Service) is charged by law with the surveillance of radioactivity in the atmosphere. In the frame of the „Integrated Measuring and Information System for the Surveillance of Radioactivity in the Environment“ (IMIS) the measuring tasks of DWD are well described. Since 2009 it was aimed for the automatic measurement of aerosolbound radionuclides, gaseous Iodine-131 and deposited radionuclides at the 48 measuring sites of DWD. To guarantee the continuous operation of germanium detectors it was necessary to install electrically cooled systems instead of systems cooled by liquid nitrogen. The technical details and the experiences are described.

### **1 Gesetzliche Vorgaben**

Seit 1955 ist der Deutsche Wetterdienst gesetzlich beauftragt neben den meteorologisch orientierten Aufgaben auch die radioaktiven Beimengungen in der Atmosphäre zu messen und deren Verfrachtung vorherzusagen. Dies wurde auch in §4 des Gesetzes über den Deutschen Wetterdienst von 1998 wiederum ausgeführt [1]. In den §§ 2 und 11 des Strahlenschutzvorsorgegesetzes (1986, 2008) wurde ebenso formuliert, dass der Deutsche Wetterdienst für die Überwachung der Radioaktivität in der Luft und im Niederschlag sowie für die Ausbreitungsprognose zuständig ist [2].

Weiterhin ist der Deutsche Wetterdienst gemäß Strahlenschutzvorsorgegesetz und gemäß Strahlenschutzverordnung (2001) als Leitstelle für die Entwicklung von Verfahren zur Überwachung der Radioaktivität in der Atmosphäre benannt.

Die Messaufgaben der Bundes- und Landesbehörden werden im Einzelnen in der „Allgemeinen Verwaltungsvorschrift zum Integrierten Mess- und Informationssystem zur Überwachung der Umweltradioaktivität (AVV-IMIS, 2006)“ und den Anlagen „Routinemessprogramm“ und „Intensivmessprogramm“ beschrieben [3]. Die Bereitstellung von Daten ist in den Prozessen „Radioaktivitätsüberwachung“ und „Radioaktivitätsnotfallsysteme“ geregelt, die im Qualitätsmanagementsystem des DWD eingebettet sind. In einem kerntechnischen Notfall stellt der DWD innerhalb einer Stunde meteorologische Produkte bereit und liefert eine meteorologische Lagedarstellung. Radioaktivitätsmessdaten der Luft und des Niederschlags werden von 41 personell besetzten Messstationen erhoben. An 7 weiteren Stationen werden ausschließlich Messdaten über die aerosolgebundene Alpha- und Betaaktivität wie auch über gasförmiges radioaktives Iod ermittelt (Abb.1).

Der gesetzlich vorgeschriebene flugzeuggestützte Messeinsatz liefert Informationen über die Kontaminationen in der oberen Atmosphäre.

An den Radioaktivitätsmessstationen des Deutschen Wetterdienstes wird die Aktivitätskonzentration aerosolgebundener Radionuklide durch gammaspektrometrische Messungen wie auch durch Messung der Alpha- und der Betaaktivität bestimmt. Zur weiteren Analyse werden Aerosol- und Niederschlagsproben an die Zentrale in Offenbach versandt. Diese werden insbesondere auf Sr-90 und auf radioaktive Isotope von Uran, Plutonium und Americium hin untersucht.

Das gasförmige radioaktive I-131 wird an 48 Stationen direkt gemessen. Luftproben der Stationen Offenbach, Potsdam und Trier werden wöchentlich zur weiteren Analyse auf die radioaktiven Edelgase Kr-85 und Xe-133 an das Bundesamt für Strahlenschutz (BfS) geschickt. Die Probe am Standort Offenbach wird direkt durch den DWD parallel analysiert.

Die Radioaktivität im Niederschlag wird pauschal anhand der Gesamtbetaaktivität und nuklidspezifisch über die Gammaskopimetrie bestimmt. Weitere Analysen der Niederschlagsproben werden analog den Aerosolproben in der Zentrale in Offenbach vorgenommen. Es wird zwischen Normal- und Intensivbetrieb unterschieden mit unterschiedlich vorgegebenen Probeentnahmeintervallen und Messzeiten. Die Messaufgaben und die einzuhaltenden Nachweisgrenzen sind in Tabelle 1 zusammengefasst.

## Radioaktivitätsmessnetz des Deutschen Wetterdienstes

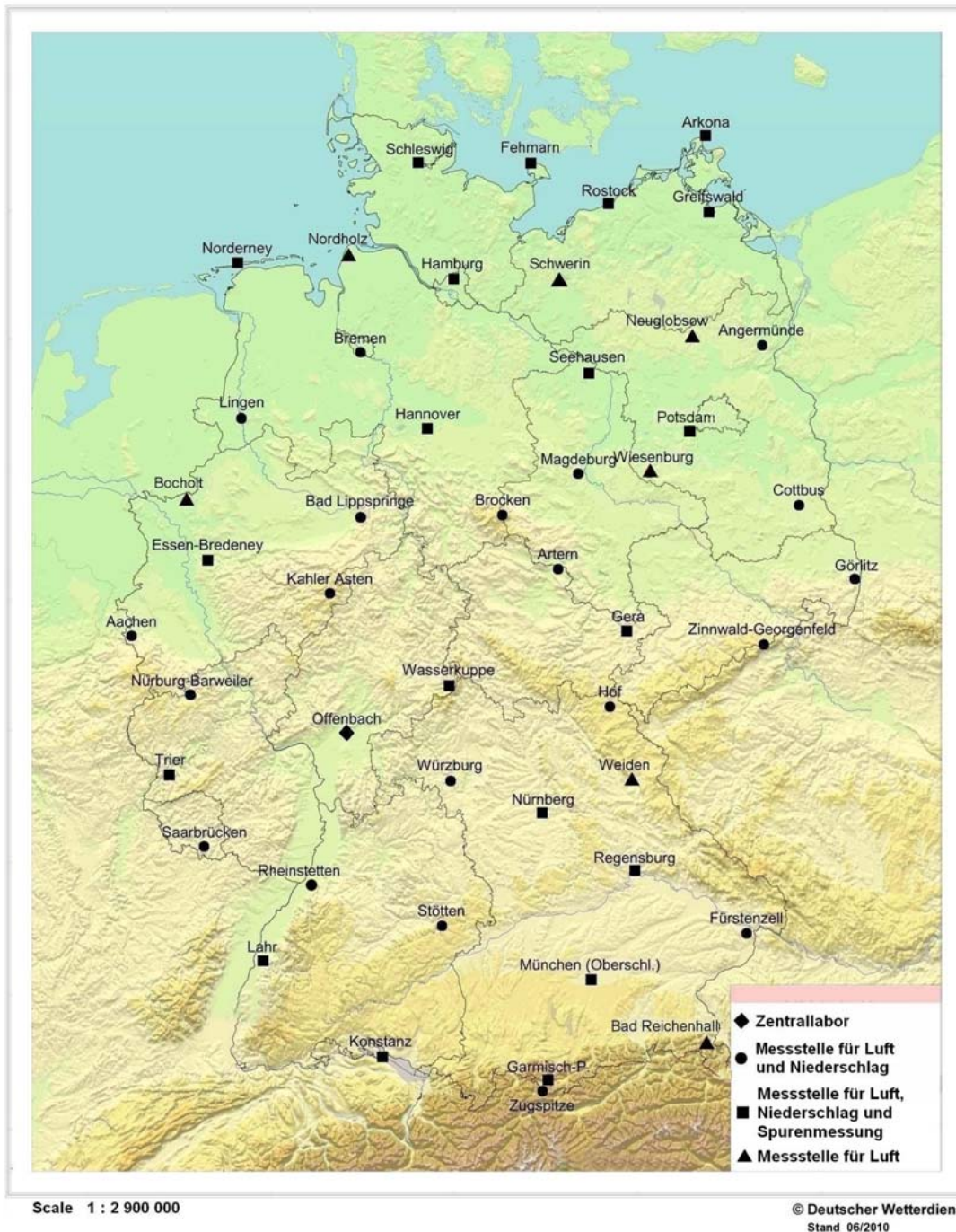


Abb.1: Radioaktivitätsmessnetz des Deutschen Wetterdienstes

Tabelle 1: Zusammenstellung von Messaufgaben und Nachweisgrenzen

Ziel	Methode	Normalbetrieb		Intensivbetrieb	
Aerosolgebundene Gammastrahler	FHT59N2/3	Täglich	0,01 Bq/m <sup>3</sup>	2h	1 Bq/m <sup>3</sup>
Aerosolgebundenes Künstliche Gesamtalphaaktivität	FHT59SI-J	2h	0,1 Bq/m <sup>3</sup>	2h	0,5 Bq/m <sup>3</sup>
Aerosolgebundenes Künstliche Gesamtbetaaktivität	FHT59SI-J	2h	1 Bq/m <sup>3</sup>	2h	1 Bq/m <sup>3</sup>
Gasförmiges Iod-131	FHT59-Si-J	2h	0,5 Bq/m <sup>3</sup>	2h	1 Bq/m <sup>3</sup>
Elementares Iod, organisch gebundenes Iod	Gammaspektrometrie	Wöchentlich	5 mBq/m <sup>3</sup>	Täglich	1 Bq/m <sup>3</sup>
Deponierte Radionuklide	In-situ-Gammaspektrometrie	1h / Monat	200 Bq/m <sup>2</sup>	0,5h/2h	1500 Bq/m <sup>2</sup>
Aerosolgebundenes Sr-90	Labor	Monatlich von 4 Stationen	1 µBq/m <sup>3</sup>	Täglich	0,1Bq/m <sup>3</sup>
Aerosolgebundene Alphastrahler	Labor	Monatlich von 4 Stationen	0,1 µBq/m <sup>3</sup>	Täglich	0,1Bq/m <sup>3</sup>
Radionuklide im Niederschlag	Gammaspektrometrie	Monatlich	1 mBq/L	Täglich	5 Bq/L
Sr-90 im Niederschlag	Labor	Monatlich	1 mBq/L	Täglich	1 Bq/L
Alphastrahler im Niederschlag	Labor	Monatlich	20 µBq/L	Täglich	0,1 Bq/L
Tritium im Niederschlag	Labor	Monatlich	1 Bq/L	Täglich	100 Bq/L
Gesamtbetaaktivität	Beta-Messung	Täglich	0,5 Bq/L	-	-
Aerosolgebundene Radionuklide (Spuren)	Gammaspektrometrie	Wöchentlich	1 µBq/m <sup>3</sup>	täglich	1 Bq/L

## 2 Teilautomatisierung der Radioaktivitätsmessungen

Im Ergebnis einer veränderten Strategie im Beobachtungsnetz des DWD und einer angestrebten Reduzierung des Personals an den einzelnen Wetterwarten wurde geprüft, welche der bisher eingesetzten Messsysteme zur Überwachung der Radioaktivität in der Atmosphäre für einen automatisierten Betrieb geeignet sind. Neue Möglichkeiten boten sich an durch die mittlerweile verlässlicheren Systeme zur elektrischen Kühlung von Germaniumdetektoren. Für die Probeentnahme von Niederschlag, die tägliche Probenaufbereitung und Messung wurde kein automatisiertes

Verfahren benannt, so dass der Begriff Teilautomatisierung geprägt und im Jahr 2009 ein Konzept zur Teilautomatisierung beschlossen wurde.

Ziel war die Automatisierung der kontinuierlichen Messungen:

- nuklidspezifische Messung der aerosolgebundenen gammastrahlenden Radionuklide
- Messung der aerosolgebundenen künstlichen Alpha- und Betaaktivität
- Messung des gasförmigen radioaktiven Iods
- nuklidspezifische Messung der deponierten gammastrahlenden Radionuklide

Gleichzeitig sollte das Personal entlastet werden und durch einen Dauerbetrieb der Messsysteme der Unterschied zwischen Normal- und Intensivbetrieb entfallen. Diese Pläne sollten bis Ende 2012 umgesetzt werden.

## **2.1 Kontinuierliche nuklidspezifische Messung der aerosolgebundenen gammastrahlenden Radionuklide**

Für die kontinuierliche nuklidspezifische Messung der gammastrahlenden Radionuklide wurde ein Schrittfiltermonitor des Typs FHT59N2 (Thermo Fisher) eingesetzt. Eine entscheidende Voraussetzung für die Messung war die stabile Kühlung mit flüssigem Stickstoff. Zur Befüllung mit flüssigem Stickstoff und zur Organisation der Logistik ist Personal erforderlich. Im Rahmen des Projekts „Teilautomatisierung“ wurde mit der Umrüstung auf elektrische Kühlsysteme begonnen, die einen stabilen Kühlbetrieb der Schrittfiltermonitore mit einer deutlichen Arbeitsentlastung bieten.

Der Wartungsaufwand erhöht sich allerdings. Eine Servicevereinbarung für Wartung und Instandhaltung ist notwendig. Es sind Austauschgeräte zu bevorraten, um schnell Systemausfälle eigenständig zu beheben.

## **2.2 Kontinuierliche Messung der aerosolgebundenen künstlichen Alpha- und Betaaktivität wie auch gasförmiges I-131**

Die bisher eingesetzten Alpha/Beta-Messsysteme basierten auf dem Prinzip der Alpha-Beta-Pseudokoinzidenz-Differenz (ABPD). Die Alpha- und Betaaktivität eines mit Aerosolpartikeln exponierten Luftfilters wurde mittels eines Dreifachzählrohrs, das mit Argon-Methan gespült wird, gemessen. Ein Filter wurde im Normalbetrieb täglich mit ca. 40 m<sup>3</sup>/h beaufschlagt. Nach Ende des Sammelintervalls wurde der Filter eine Stunde gemessen. Die Ergebnisse wurden täglich an die Zentrale des DWD in Offenbach übermittelt und von dort weiter an das Bundesamt für Strahlenschutz (BfS). Im Intensivbetrieb war ein Sammelintervall von 2 Stunden vorgesehen und eine Messzeit von 10 Minuten.

Diese Systeme wurden durch Schrittfiltermonitore des Typs FHT 59 Si-J ersetzt, die in Zweistundenschritten Messwerte für die natürliche Aktivität, die künstliche Alphaaktivität, die künstliche Betaaktivität und das gasförmige I-131 liefern. Für die Unterscheidung zwischen Alpha- und Betaaktivität wird ein Silizium-Halbleiterdetektor eingesetzt. Das gasförmige Iod-131 wird in Aktivkohle angereichert und mit einem NaI-Detektor gemessen. Die aerosolgebundenen Radionuklide werden kontinuierlich auf einem Filterband angereichert. Eine Auswertung erfolgt zweistündlich. Kernstück

ist ein Siliziumdetektor durch den eine energiewahlige Zuordnung von natürlichen und künstlichen Alphastrahlern erreicht wird. Die in der AVV-IMIS geforderte Nachweisgrenze für künstliche Alpha- und Betaaktivität wird meist eingehalten ist aber stark abhängig von der natürlichen Radioaktivität. Bei Aktivitätskonzentrationen der Rn-222 Folgeprodukte von mehr als 10 Bq/m<sup>3</sup> verschlechtert sich die Nachweisgrenze auf >1 Bq/m<sup>3</sup>. Damit stehen simultan zu den nuklidspezifisch messenden Schrittfiltersystemen kontinuierlich Messwerte der künstlichen Alpha- und der künstlichen Betaaktivitätskonzentration wie auch die Aktivitätskonzentration von gasförmigem I-131 zur Verfügung.

An 8 Standorten bleiben die alten ABPD-Systeme erhalten. Nach einer Probeentnahmezeit von derzeit einem Tag werden die exponierten Filter mit einer Verzögerungszeit von 5 Tagen auf die verbliebene langlebige Alpha- und Betaaktivität untersucht. Es werden Nachweisgrenzen von ca. 1 mBq/m<sup>3</sup> Luft, bezogen auf K-40, erreicht, wodurch die Forderungen der EU-Berichterstattung erfüllt werden.

### **2.3 Kontinuierliche nuklidspezifische Messung der deponierten gammastrahlenden Radionuklide**

Die Deposition soll in einem Intensivbetrieb direkt mittels der In-situ-Gammaspektrometrie erfasst werden. Bisher wurden die Messkomponenten einmal pro Monat in der Messhütte im Messfeld der jeweiligen Wetterwarte installiert und kurzzeitig betrieben. Zu den Komponenten zählen der Germaniumdetektor nebst 5L-Dewar und ein integrierter Vielkanalanalysator (Canberra Eurisys, Inspector 2000 bzw. Lynx). Die Messdaten wurden über fest installierte Datenleitung an einen im Stationsinnern installierten Rechner übertragen, dort ausgewertet und dann an die Zentrale in Offenbach übermittelt. In wenigen Fällen wurden die Daten auch über Funk von der Messhütte an den Rechner im Stationsgebäude übertragen. In einem Intensivbetrieb werden zweistündlich Messwerte erwartet. Zur Entlastung war im Intensivbetrieb die feste Installation der Messkomponenten in der Messhütte im Dauerbetrieb vorgesehen. Voraussetzung dafür war der Ersatz der Kühlung mit flüssigem Stickstoff durch eine elektrische Kühlung. Dazu wurden Kühlsysteme vom Typ X-Cooler der Firma Ortec eingesetzt in Verbindung mit einem Poptop-Germaniumdetektor (15%) der Firma Ortec. Da das Kühlsystem über den Kompressor Wärme abgibt und die Messhütte einer Temperaturdifferenz von minus 20 Grad Celsius im Winter bis zu 50 Grad Celsius im Sommer ausgesetzt sein kann, wurde eine regelbare Klimaanlage integriert. Temperaturänderungen führen zu Energieverschiebungen in den Spektren. Mit den üblichen Stabilisierungsfunktionen der Spektrometrie-Software konnten diese nicht mehr abgefangen werden. Ein Temperaturunterschied von 5°C im Bereich der Detektorendkappe ergibt eine Energieverschiebung im Spektrum von ca. 1 keV. Die Messhütten wurden deshalb mit Kompaktklimasplitgeräten ausgestattet, mit getrennten Kreisläufen für Raumluft und Außenluft. Im Winter lässt sich die Abwärme des Kompressors zur Heizung nutzen. Im Sommer muss gekühlt werden, um eine konstante Temperatur zu sichern. Von 2007 bis 2009 waren zwei Prototypen an den Radioaktivitätsmessstationen in Garmisch und in Offenbach erfolgreich getestet worden. Im Verlauf des Ausbaus wurde von 2009 bis 2012 ein neuer Typ des Kühlaggregats produziert und bei den Umbauten eingesetzt. In diesem Fall wurden oft die geforderten Temperaturen nicht erreicht. Nach eingehenden Untersuchungen durch die Lieferfirma wurde eine Verunreinigung der verwendeten Kühlflüssigkeit

identifiziert. Nach Austausch der Systeme gegen eine verbesserte Version des Kühlsystems traten diese Komplikationen nicht mehr auf.

Auf lange Sicht ist der Arbeitsaufwand für das Personal geringer gegenüber der erforderlichen Befüllung mit flüssigem Stickstoff, wengleich sich der Wartungsaufwand für die Klimaanlage und die Kühlsysteme erhöhen wird.

### **3 Ergebnisse nach der Teilautomatisierung**

Der kontinuierliche Betrieb der Messsysteme, die im Intensivbetrieb im 2h-Takt melden sollen ist über die Gammascrittfiltersysteme, die Monitorsysteme des Typs FHT59-SI- und die In-situ-Gammasspektrometrie in der Messhütte gesichert.

Die Sicherung der elektrischen Kühlung schafft neue Abhängigkeiten. Diese Art der Kühlung schafft allerdings die Voraussetzung für einen automatischen Betrieb bei gleichzeitig erhöhter Arbeitssicherheit, da der Umgang mit flüssigem Stickstoff entfällt. Die Kapazität der „Unterbrechungsfreien Stromversorgung“ (USV) muss ausgebaut werden, um kleine Stromausfälle besser abzufangen. Wesentlicher Vorteil ist die Möglichkeit einer permanenten Überwachung der Betriebszustände und damit einer schnellen Gegensteuerung bei Verschlechterungen.

### **4 Ausblick**

Die automatisierten Monitorsysteme müssen mindestens 3-monatlich gewartet werden, wenn kein Personal an der Messstelle ist. An personell besetzten Stationen wird das Personal intensiv und regelmäßig geschult, so dass eine Wartung im Halbjahresrhythmus ausreicht. Kritisch muss auch weiterhin auf die Einhaltung von Qualitätsstandards geachtet werden. Die Wartungstakte können zukünftig herabgesetzt werden, wenn die Systeme störungsfrei laufen.

Die Einbindung dieser Systeme in ein Akkreditierungsverfahren gemäß DIN ISO 17025 ist ein mittelfristiges Ziel.

### **5 Danksagung**

Der Dank gebührt den Technikern des Referats und der Abteilung Service und Logistik, die die Umrüstung von 38 In-situ-Gammasspektrometriemesssystemen und die Neuinstallation von 40 Alpha/Beta-Iod Luftmonitoren fachlich kompetent begleitet haben.

## 6 Literatur

- [1] Gesetz über den Deutschen Wetterdienst (DWD-Gesetz) vom 10. September 1998 (BGBl. I, S. 2871)
- [2] StrVG Gesetz zum vorsorgenden Schutz der Bevölkerung gegen Strahlenbelastung (Strahlenschutzvorsorgegesetz - StrVG) vom 19. Dezember 1986 BGBl. I S. 2610; zuletzt geändert durch Artikel 1 G. v. 08.04.2008 BGBl. S. 686
- [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, BAnz. 244a vom 29.12.2006



## LANGZEITMESSUNGEN VON RADIOXENON IN DER ATMOSPHÄRE UND JOD-131 NACHWEIS IN EUROPA IN 2011 UND 2012

### LONG TERM ATMOSPHERIC RADIOXENON MEASUREMENTS AND IODINE-131 DETECTIONS OVER EUROPE IN 2011 AND 2012

C. Schlosser<sup>1</sup>, J. Bieringer<sup>1</sup>, R. Krais<sup>1</sup>, M. Konrad<sup>1</sup>, T. Kumberg<sup>1</sup>,  
S. Schmid<sup>1</sup> und J. O. Ross<sup>2</sup>

<sup>1</sup>*Bundesamt für Strahlenschutz, Freiburg, Deutschland*

<sup>2</sup>*Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe, Hannover, Deutschland*

#### Zusammenfassung

Das Bundesamt für Strahlenschutz (BfS) überwacht seit 1976 kontinuierlich die <sup>133</sup>Xe Aktivitätskonzentration in der bodennahen Luft. Seit 2004 misst das vollautomatische Xenonmesssystem SPALAX auf dem Schauinsland an einer Radionuklidstation des internationalen Messnetzes zur Überwachung des Kernwaffenteststoppabkommens (Comprehensive Nuclear-Test-Ban Treaty, CTBT) Xenon-Isotope mit einer zeitlichen Auflösung von 24 Stunden. Darüber hinaus werden sowohl an der Messstation des BfS auf dem Schauinsland als auch in Freiburg Hochvolumensammler zur Überwachung partikelgebundener Radionuklide betrieben. Die Überwachung von radioaktiven Spuren in der Atmosphäre ist u. a. ein Bestandteil der Messprogramme des integrierten Mess- und Informationssystems IMIS. Die Messreihen ermöglichen die Untersuchung von Trends über längere Zeiträume und den Einfluss verschiedener Quellen auf die Messergebnisse. Mögliche Quellen und deren Beiträge können in einigen Fällen durch Atmosphärische Ausbreitungsrechnungen (ATM) identifiziert werden.

Neben radioaktiven Xenon-Isotopen gelangt auch <sup>131</sup>I, welches in der Medizin häufig eingesetzt wird, in Spuren in die Atmosphäre, so dass der Nachweis dieses Radionuklids an einzelnen Spurenmessstellen nicht außergewöhnlich ist. Im Herbst 2011 und im Frühjahr 2012 wurde jedoch <sup>131</sup>I großräumig über einen längeren Zeitraum in Europa nachgewiesen. Die Ereignisse haben deutlich die Notwendigkeit eines schnellen grenzüberschreitenden und umfassenden Daten- und Informationsaustausches zur zeitnahen Identifizierung und Lokalisierung der Quelle aufgezeigt.

#### Summary

The German Federal Office for Radiation Protection (Bundesamt für Strahlenschutz, BfS) continuously monitors the activity concentration of <sup>133</sup>Xe in ground level air in Germany since 1976. Since 2004, Xenon is measured at Schauinsland in samples with 24 hours sampling time with the automated system SPALAX as part of the International Monitoring System (IMS) of the Comprehensive Nuclear-Test-Ban Treaty (CTBT). Furthermore the BfS operates two high air volume samplers, one in Freiburg and one at the monitoring station Schauinsland. The surveillance of radioactive traces in the atmosphere is part of the German monitoring program of the

Integrated Measurement and Information System (IMIS). The available data set allow the study of trends over long time periods and therefore the influence of different sources. Possible sources and their contribution could be investigated by the methods of Atmospheric Transport Modelling (ATM).

Beside radioactive xenon isotopes also the medical isotope  $^{131}\text{I}$  is released in traces into the atmosphere and the detection at single trace analysis stations is not exceptional. However, in autumn 2011 and spring 2012 traces of this radioisotope were detected over longer periods over Europe. These events clearly showed the importance of a fast, transboundary and comprehensive data exchange between institutions to identify and localize the source.

## **1 Messung von Radioxenon in der Atmosphäre**

### **1.1 Das Edelgasmessnetz des BfS**

Das BfS unterhält seit etwa 40 Jahren ein globales Edelgasmessnetz und ein zentrales Edelgasmesslabor in seiner Dienststelle Freiburg. Acht dieser Sammelstationen befinden sich in Deutschland und davon sind 7 Bestandteil des IMIS Messprogramms. Die Proben werden vor Ort in Zusammenarbeit mit Partnerinstitutionen genommen (z.B. Deutscher Wetterdienst, Physikalisch Technische Bundesanstalt), welche die Luftproben an das BfS zur Analyse senden. Die Aktivitätsmessung der Proben im BfS Laboratorium basiert auf der integralen beta-Messung in Proportionalzählrohren. Im BfS Labor werden jährlich über 1000 Luftproben auf ihre  $^{85}\text{Kr}$  und  $^{133}\text{Xe}$  Aktivitätskonzentrationen analysiert. Damit stehen einzigartige Langzeitmessreihen zur Verfügung, mit denen, neben der Überwachung der Umweltradioaktivität, auch der Einfluss nukleartechnischer Anlagen auf die Aktivitätskonzentrationen dieser Radionuklide, sowie deren globale Verteilung in der Atmosphäre studiert werden kann.

Als weitere Aufgabe unterstützt das BfS seit 1999 mit seinem Edelgaslabor die Vertragsorganisation zur Überwachung des Kernwaffenteststoppabkommens in Wien (CTBTO) bei Kontrollanalysen und bei dem Aufbau eines Qualitäts-sicherungsprogramms für dessen Edelgasmessnetz. Für die Interpretation der Messergebnisse sind Atmosphärische Ausbreitungsrechnungen ein weiteres wichtiges Instrument, mögliche Quellorte zuzuordnen bzw. solche auszuschließen.

### **2.1 Mögliche Quellen und Langzeitmessreihen von $^{133}\text{Xe}$**

Radioaktive Xenonisotope werden überwiegend bei der Kernspaltung erzeugt. Mögliche Quellen sind Leistungs- und Forschungsreaktoren, Anlagen zur Produktion medizinischer Radioisotope, insbesondere von  $^{99}\text{Mo}$  für  $^{99\text{m}}\text{Tc}$ -Generatoren, Fabriken zur Handhabung, Lagerung und Verteilung medizinischer Radioisotope, Krankenhäuser als auch Kernwaffenexplosionen. In der bodennahen Luft der deutschen Sammelstationen findet sich derzeit hauptsächlich das Isotop  $^{133}\text{Xe}$  mit Konzentrationen in der Größenordnung von  $10^{-3}\text{ Bq/m}^3$  sowie geringen Anteilen von  $^{135}\text{Xe}$ ,  $^{133\text{m}}\text{Xe}$  und  $^{131\text{m}}\text{Xe}$ . Nach der Freisetzung in die Atmosphäre breiten sich Radioxenonisotope aufgrund ihrer Eigenschaft als Edelgas über große Distanzen aus. Ihre einzige Senke ist der radioaktive Zerfall.

In den letzten ca. 15 Jahren wird der globale Xenonuntergrund durch die mit der Produktion von  $^{99}\text{Mo}$  verbundenen Entlässe an Radioxenon global dominiert. Dabei werden von den 4 größten Isotopenproduktionsanlagen jährlich etwa  $10^{16} - 10^{17}$  Bq  $^{133}\text{Xe}$  entlassen. Das sind etwa 2 Größenordnungen mehr als durch die weltweit 440 Kernkraftwerke entlassene Aktivität. Bei einem Kernwaffentest von 1 kT TNT äquivalent entstehen maximal etwa  $10^{16}$  Bq  $^{133}\text{Xe}$ . Im Vergleich dazu beträgt der Quellterm für Tschernobyl  $6.5 \cdot 10^{18}$  Bq, derjenige für Fukushima etwa  $10^{19}$  Bq.

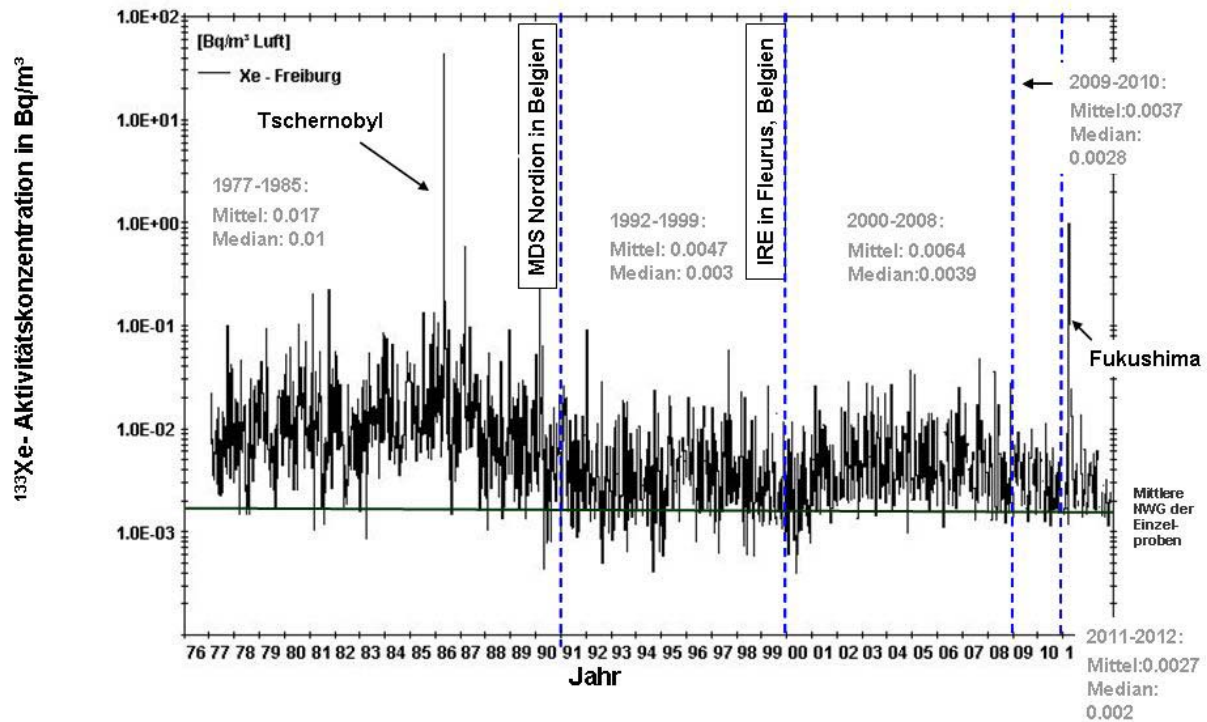


Abb. 1:  $^{133}\text{Xe}$ -Aktivitätskonzentration in Wochenproben an der Station in Freiburg

In Abb. 1 sind die Einflüsse verschiedener globaler als auch regionaler Ereignisse zu erkennen. Für einzelne Zeitperioden ist der Mittel- und der Medianwert angegeben. Deutlich sind die auf die KKW Unfälle in Tschernobyl und Fukushima zurückzuführenden, kurzzeitigen Erhöhungen zu erkennen. Der Beginn von Aktivitäten bei der Isotopenproduktion ist ebenfalls eingezeichnet. Grundsätzlich ist in den letzten 2 Jahren eine Abnahme der mittleren Aktivitätskonzentration auf derzeit etwa  $2,7 \cdot 10^{-3}$  Bq/m<sup>3</sup> festzustellen. Die derzeitigen Messwerte liegen im Bereich der mittleren Nachweisgrenze des Systems. Als mögliche Ursachen dieses Rückgangs kommt eine Reduzierung von Emissionen der Isotopenproduktionsanlage in Fleurus als auch die Abschaltung nahegelegener deutscher Kernkraftwerke (z.B. KKP1 Phillipsburg) in Betracht. Die Offenlegung von Emissionsdaten der Isotopenproduktionsanlagen wäre für die Interpretation der Daten sehr hilfreich. Hier gibt es mittlerweile auch Kontakte zwischen den internationalen Experten, der CTBTO und den Betreibern (siehe z.B. <http://wosmip.pnnl.gov/>).

Das zeitliche Verhalten wird qualitativ auch an den anderen deutschen Spurenmessstellen beobachtet. Es ist jedoch ein Nord-Süd-Gradient der  $^{133}\text{Xe}$  Konzentrationen in den Zeitreihen erkennbar. Aufgrund der geographischen Lage von Fleurus und der vorherrschenden Westwinde sind die Sammelstationen in Süddeutschland weniger

stark von dieser Anlage beeinflusst und weisen damit im Mittel um einen Faktor 2 geringere mittlere Konzentrationen als die nördlicher gelegenen Sammelstationen auf.

### 1.3 Edelgasdaten der CTBT-Station RN33 auf dem Schauinsland

Für die Überwachung des Vertrages über das umfassende Verbot von Nuklearversuchen (Comprehensive Nuclear-Test-Ban Treaty, CTBT, [www.ctbto.org](http://www.ctbto.org)) wird ein internationales Messsystem (International Monitoring System, IMS) von 321 Messstationen und 16 Radionuklidlabors aufgebaut, welches derzeit zu etwa 80% fertig gestellt ist. Bestandteil des IMS sind 80 Stationen mit Systemen zur Messung aerosolgebundener Radionuklide. An 40 dieser Stationen werden zusätzlich Messsysteme zum Nachweis von radioaktivem Xenon installiert. Zur Qualitätssicherung werden die 80 Stationen durch 16 Radionuklidlabors ergänzt, welche Re-Analysen von Proben der Messstationen durchführen.

Da aufgrund ziviler Emissionen an vielen Stationen ein permanenter Untergrundpegel an radioaktiven Xenonisotopen messbar ist, ist eine Anforderung an die Datenauswertung und Bewertung, zwischen Emissionen aus zivilen Quellen und aus Kernwaffentests unterscheiden zu können. Dies erfolgt auf Basis der Isotopenverhältnisse, der Kenntnis des stationsspezifischen Untergrundpegels, als auch über mögliche Emissionsquellen und deren Einfluss auf die Messdaten der einzelnen Stationen.

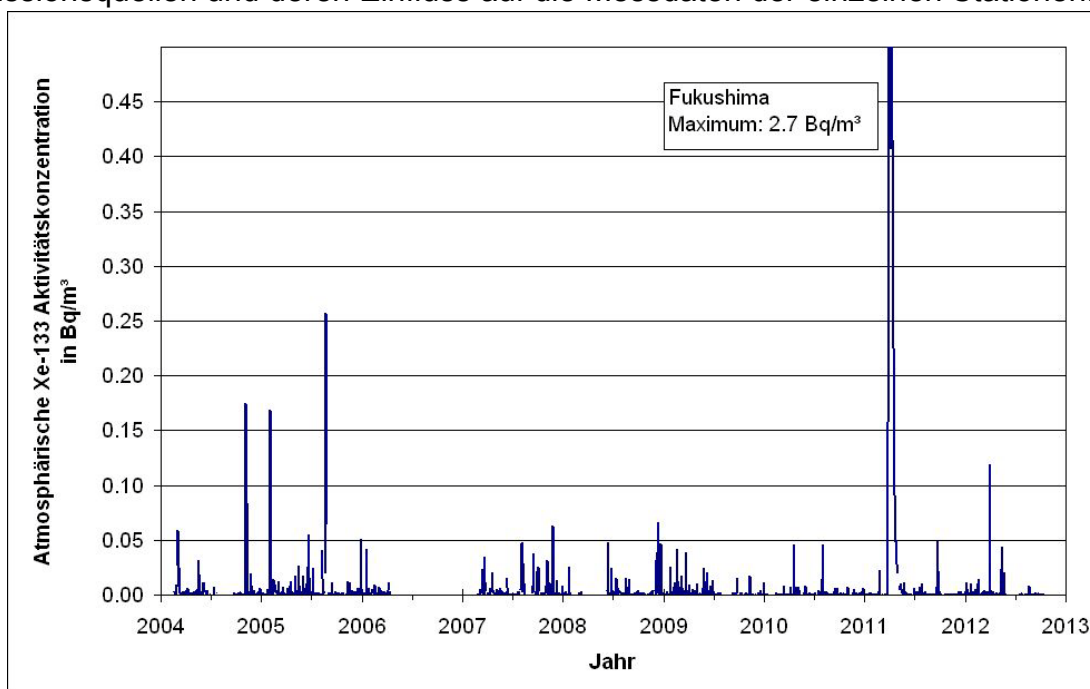


Abb. 2:  $^{133}\text{Xe}$  Aktivitätskonzentration an der IMS-Station DEX33 auf dem Schauinsland

Das BfS beteiligt sich als eine der federführenden Institutionen an der technischen und wissenschaftlichen Entwicklung zur Etablierung der Edelgasmessung für das IMS und betreibt die IMS Radionuklidstation 33 (RN 33) auf dem Schauinsland. RN33 ist die einzige Radionuklidstation in Mitteleuropa und sowohl mit einem Messsystem zum Nachweis partikelgebundener Radioaktivität als auch mit einem Xenonmesssystem SPALAX ausgestattet. Aufgrund der kurzen Sammelzeit von 24 Stunden lassen sich

mit dem Messsystem SPALAX auch kurzzeitig stark erhöhte Aktivitätskonzentrationen nachweisen. Die zeitlich hochauflösenden Messungen haben wesentlich dazu beigetragen, die Isotopenproduktionsanlage in Fleurus als eine der dominanten Emissionsquellen zu identifizieren. Bis dahin wurden die erhöhten Messwerte als Entlässe von Kernkraftwerken interpretiert. Der Einfluss der Isotopenproduktion auf den Untergrundpegel der Xenonstationen ist auch während zeitweiliger Stilllegung von Anlagen erkennbar. Die Chalk River Laboratories (CRL), die etwa 160 km nordwestlich von Ottawa, Kanada liegen und als die weltweit größte Isotopenproduktionsanlage gelten, konnte anhand atmosphärischer Ausbreitungsrechnungen als möglicher Quellort für einige der erhöhten Messwerte auf dem Schauinsland lokalisiert werden. Demnach benötigt eine Wolke teilweise nur 3 bis 4 Tage vom Emissionsort CRL bis zur Station DEX33 auf dem Schauinsland. Mit einer maximalen  $^{133}\text{Xe}$  Aktivitätskonzentration von  $2,7 \text{ Bq/m}^3$  in dem Sammelzeitraum vom 30.03.2011 06:00 UTC bis 31.03.2011 06:00 UTC ist in Abb. 2 deutlich der Peak von Fukushima erkennbar. In diesen Tagesproben wurde neben  $^{133}\text{Xe}$  auch  $^{131\text{m}}\text{Xe}$ , mit einem mittleren Aktivitätsanteil in den Proben vom 1. bis 13. Juli von 75%, nachgewiesen. Der Zeitverlauf in Abb. 2 gibt das schon aus den in Abb. 1 dargestellten Messwerten diskutierte zeitliche Verhalten wieder, nur detaillierter aufgrund der höheren zeitlichen Auflösung.

Für die Unterscheidbarkeit ziviler Quellen von Kernwaffentests wurde eine Methode entwickelt, bei der Xenonisotopenverhältnisse gegeneinander aufgetragen werden. In einer solchen Graphik gibt es einen Bereich für Isotopenverhältnisse von radioaktivem Xenon aus ziviler Nutzung und einen Bereich für Kernwaffentests. In manchen Fällen (z.B. Xenon von kurz in einem Reaktor bestrahlten Uranproben), können die Isotopenverhältnisse ziviler Anlagen im Bereich der Trennlinie liegen und eine Unterscheidung von Quellen schwierig bzw. unmöglich machen. An der Station auf dem Schauinsland wurden bisher in 17 Proben alle 4 radioaktiven Xenonisotope nachgemessen. Die Ergebnisse sind in einem 4-Isotopenplot in Abb. 3 dargestellt. Es ist klar erkennbar, dass die Proben Entlässen von zivilen Anwendungen der Kernenergie zuzuordnen sind.

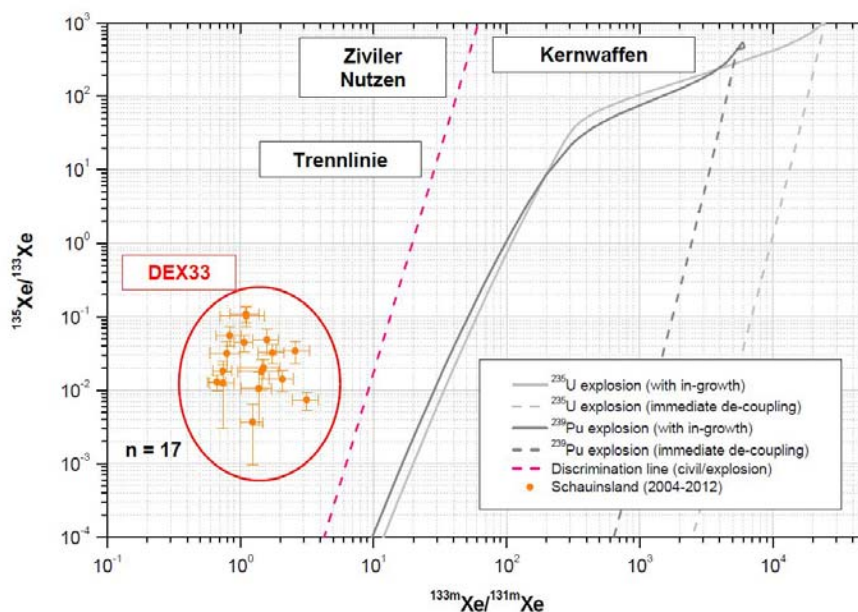


Abb. 3: Vierisotopenplot der DEX33 Proben mit 4 nachgewiesenen Isotopen.

In den kommenden Jahren ist von einem weiteren weltweiten Ausbau der  $^{99}\text{Mo}$ -Produktion und damit auch der Inbetriebnahme neuer Anlagen auszugehen. Inwieweit damit die Xenonemissionen in die Atmosphäre ansteigen, bleibt abzuwarten. Hier bietet das internationale Messnetz der CTBTO zusätzlich zu seiner Zweckbestimmung die einzigartige Möglichkeit, Änderungen der atmosphärischen Radioaktivität zu beobachten. Eine Reduktion der Entlässe und damit des Xenonuntergrunds ist Voraussetzung, um die Sensitivität des Edelgasmessnetzes zum Nachweis von unterirdischen Kernwaffentests weiter zu verbessern.

## 2 Radiojodnachweis in Europa in 2011 und 2012

Als Folge der Anwendung von Radiojod in der Medizin bzw. dessen Produktion sind sporadisch Spuren von  $^{131}\text{I}$  weltweit in Luftproben nachweisbar. Für den Nachweis solcher geringen Aktivitäten partikelgebundener Radionuklide werden in der Spurenanalyse Hochvolumensammler in Verbindung mit Low-Level Messsystemen eingesetzt. Das BfS hat für seine nationalen Aufgaben je einen Hochvolumensammler vom Typ Snow-White in Freiburg und an der Station auf dem Schauinsland in Betrieb. Die Radioaktivitätsmessungen finden im BfS Labor in Freiburg statt. Mit diesen Verfahren wird für die atmosphärische Aktivitätskonzentration von  $^{131}\text{I}$  eine Nachweisgrenze von einigen Zehntel Microbecquerel pro Kubikmeter Luft erreicht.

### 2.1 Jod-131 Nachweis in 2011

In der ersten Novemberwoche 2011 wurden an der Spurenmessstelle in Braunschweig, die von der Physikalisch-Technischen Bundesanstalt (PTB, [www.ptb.de](http://www.ptb.de)) betrieben wird, sowie an einigen Spurenmessstellen des Deutschen Wetterdienstes (DWD, [www.dwd.de](http://www.dwd.de)) im Nord-Osten Deutschlands erhöhte Aktivitätskonzentrationen von  $^{131}\text{I}$  im Bereich einiger Microbecquerel pro Kubikmeter Luft beobachtet. Andere künstliche Radionuklide wurden nicht nachgewiesen. An den beiden Spurenmessstellen des BfS auf dem Schauinsland und in Freiburg wurden keine auffälligen Werte festgestellt. Auch in den anderen europäischen Ländern Schweden, Dänemark, Norwegen, der Tschechischen Republik, Österreich und Frankreich war in diesem Zeitraum  $^{131}\text{I}$  nachgewiesen worden, wobei in Österreich die höchsten Werte mit etwa  $60 \mu\text{Bq}/\text{m}^3$  Luft gemessen wurden. In Polen und in Österreich war auch schon in den beiden vorhergehenden Wochen  $^{131}\text{I}$  in Luftproben beobachtet worden. Die Daten wurden zeitnah über den Ring of Five (Ro5), einem informellen europäisches Netzwerk von Spurenmessstellen zur Überwachung der Radioaktivität in der bodennahen Luft, ausgetauscht. Da im Rahmen der Überwachung der Umweltradioaktivität die Leitstelle für Spurenanalyse beim BfS angesiedelt ist, wurden hier die Daten zusammengestellt und dem Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (BMU, [www.bmu.de](http://www.bmu.de)) übermittelt. Da die Quelle zunächst unbekannt war, stellte die Internationale Atomenergiebehörde (IAEA, International Atomic Energy Agency, [www.iaea.org](http://www.iaea.org)) eine entsprechende Anfrage an die Mitgliedstaaten. Es stellte sich heraus, dass in einer Firma in Ungarn zur Herstellung von Radioisotopen für medizinische Zwecke in diesem Zeitraum  $^{131}\text{I}$  freigesetzt worden war. Die gemessenen Aktivitätskonzentrationen lagen weit unter denen, die nach Fukushima in Europa gemessen worden waren und sind daher nicht von radiologischer Bedeutung.

## 2.2 Jod-131 Nachweis in 2012

Bereits im Januar 2012 wurden erneut über den „Ring of 5“ erhöhte Aktivitätskonzentrationen von  $^{131}\text{I}$  in Skandinavien berichtet. In den folgenden Wochen wurden dann auch in Polen, Deutschland und Österreich erhöhte  $^{131}\text{I}$  Aktivitätskonzentrationen im Bereich einiger Microbecquerel pro Kubikmeter Luft nachgewiesen. Auch hier wurden keine weiteren künstlichen Radionuklide beobachtet. Ungarn teilte mit, dass es in Budapest in einer Isotopenproduktionsanlage im Januar Freisetzungen gegeben hatte. Atmosphärische Ausbreitungsrechnungen deuten darauf hin, dass dies zumindest teilweise die Ursache für die erhöhten Messwerte sein könnte. Die Quelle des nachgewiesenen  $^{131}\text{I}$  konnte jedoch nicht eindeutig ermittelt werden.

Da in der Spurenanalyse in der Regel die Proben über eine Woche gesammelt werden, müssen auch die atmosphärischen Ausbreitungen über diesen langen Zeitraum berechnet werden, um die Herkunft der mit der Luft transportierten radioaktiven Stoffe eingrenzen zu können. Dies ist jedoch schwierig, denn mit jedem Wechsel der Windrichtung im Zeitraum der Probenahme vergrößert sich das mögliche Einzugsgebiet der Luftmassen entsprechend und machen eine eindeutige Aussage bzgl. der Herkunft nur sehr schwer oder nicht mehr möglich.

Auch in diesem Fall lagen die gemessenen Aktivitätskonzentrationen weit unter denen, die nach Fukushima in Europa gemessen worden waren und waren daher nicht von radiologischer Bedeutung.

## 3 Schlussfolgerungen

Die hier vorgestellten Daten zeigen die Leistungsfähigkeit und die Bedeutung der Spurenanalyse bei der Umweltüberwachung als auch bei der Überwachung des Kernwaffenteststoppabkommens auf. Die dabei nachgewiesenen Aktivitätskonzentrationen spielen für die Strahlenbelastung von Mensch und Umwelt keine Rolle. Die Daten ermöglichen jedoch Studien über Langzeittrends und die Identifizierung neuer Emissionsquellen geringer Aktivität. Die radioaktive Wolke nach den Katastrophen in Tschernobyl (1986) und Fukushima (2011) konnten noch weit entfernt der Quelle nachgewiesen und die Ausbreitung anhand von Spurendaten verfolgt werden.

Der atmosphärische  $^{133}\text{Xe}$ -Aktivitätspegel in der Größenordnung von derzeit etwa  $10^{-3} \text{ Bq/m}^3$  wurde über Jahrzehnte von Emissionen aus Kernkraftwerken dominiert. Die Auswertung der BfS-Langzeitmessreihen und aktuelle Messergebnisse aus dem internationalen Xenonmessnetz zur Überwachung des Kernwaffenteststoppabkommens zeigen in den letzten Jahren den dominanten Einfluss der Isotopenproduktionsanlagen für Radiopharmaka. Somit verringern diese Anlagen die Sensitivität von Stationen des Messnetzes für den Nachweis von Kernwaffentests. Hier gibt es Initiativen von der CTBTO und von Zeichnerstaaten, die Betreiber der derzeitigen und von zukünftigen Anlagen zu überzeugen, die Emissionen durch entsprechende Maßnahmen zu verringern.

Als Folge der Herstellung und Anwendung von Radioisotopen in der Pharmazie und der Medizin wird immer wieder  $^{131}\text{I}$  in der Atmosphäre nachgewiesen. Dieses Radionuklid wurde an mehreren europäischen Spurenmessstellen Ende 2011 und 2012

Spuren gemessen. Für die schnelle Identifizierung und Lokalisierung möglicher Quellen ist bei solchen Ereignissen ein schneller internationaler Daten- und Informationsaustausch notwendig, wie zum Beispiel zwischen den Experten über den Ring of Five. Nur durch eine Übersicht über die zur Verfügung stehenden Messergebnisse in Europa konnten bereits früh die Art der Quelle und – für den Nachweis im November 2011 – auch die Herkunftsregion eingegrenzt werden.

Die Messung von Langzeittrends ist für die hier diskutierten Studien eine Voraussetzung, entsprechende Messreihen sollten weiter kontinuierlich verfolgt und ggf. ergänzt werden. Die umfangreichen Spurenmessungen des Edelgasmessnetzes des BfS, als auch das Radioaktivitätsmessnetz zur Überwachung des Kernwaffenteststoppvertrages leisten dazu einen wichtigen Beitrag.

#### **4 Danksagung**

Unsere besondere Anerkennung gilt Helmut Stockburger († 26.1.2013) für seine wissenschaftlichen Arbeiten seit den fünfziger Jahren auf dem Gebiet der Edelgasmess-technik und deren Anwendung im BfS. Herr Hartmut Sartorius hat diese Messtechnik über viele Jahrzehnte gepflegt, verbessert und kontinuierlich angewandt. Diese Arbeiten waren eine wichtige Voraussetzung für die Sammlung von Messdaten über viele Jahrzehnte und begründen das heute internationale Ansehen des BfS auf diesem Forschungsgebiet. Paul Saey von der IAEA sind wir für die zur Verfügung gestellten Daten und Informationen dankbar. Die Betreuung der notwendigen Messeinrichtungen durch Herrn Schür sind eine der Grundvoraussetzungen für unsere Langzeitmessreihen.



## **AUSBREITUNGSRECHNUNGEN UND SPURENMESSUNGEN INFOLGE DES REAKTORUNFALLS VON FUKUSHIMA**

### **DISPERSION CALCULATIONS AND TRACE MEASUREMENTS AS A CONSEQUENCE OF THE ACCIDENT AT THE NPP FUKUSHIMA**

T. Steinkopff, J. Barth, A. Dalheimer, A. Ehlers, G. Frank, H. Glaab, M. Mirsch  
*Deutscher Wetterdienst, Frankfurter Str. 135, 63067 Offenbach, Deutschland*

#### **Zusammenfassung**

Nach der Freisetzung von radioaktivem Material aus den Blöcken der havarierten Kernreaktoranlage in Fukushima/Japan war der Deutsche Wetterdienst gefordert, Aussagen über die Verfrachtung etwaig kontaminierter Luftmassen zu treffen. Dazu wurden Simulationsrechnungen durchgeführt und die Ergebnisse an das IMIS weitergeleitet. In Abstimmung mit dem BMU wurden die Simulationsrechnungen im Internet veröffentlicht. Es war daraus zu schließen, dass kontaminierte Luftmassen nach ca. 14 Tagen Europa erreichen würden. Daher wurde ab dem 23.03.2011 der Probeentnahmetakt zur Bestimmung aerosolgebundener Radionuklide an den Spurenmessstellen Schauinsland (BfS), Offenbach (DWD), Potsdam (DWD) und Braunschweig (PTB), auf eine tägliche Probeentnahme umgestellt. Es wurden wenige Millibecquerel I-131, Cs-137 und Te-132 pro Kubikmeter Luft nachgewiesen. Durch Flugzeugmessungen des DWD am 30.03.2011 ließ sich gleichfalls I-131 in dieser Größenordnung in einer Höhe von ca. 4.000 m und in einer Höhe von ca. 10.000 m nachweisen. Für die Probe des Standorts Offenbach wurden im radiochemischen Labor des DWD ca. 2,5 Bq/m<sup>3</sup> radioaktives Xe-133 gemessen. Die eingesetzte Messtechnik wird im Einzelnen erläutert und die Ergebnisse dargestellt. In einem Ausblick wird die Erweiterung der bisherigen Informationswege angeregt.

#### **Summary**

In Germany, the surveillance of radioactivity in the atmosphere has been a special task of the DWD (Deutscher Wetterdienst, German Meteorological Service) since 1955. This involves the computation of dispersion forecasts and the measurement of activity concentrations. Airborne radionuclides are continuously measured at 48 measuring sites in Germany while precipitation samples are collected and measured at 40 sites. In addition, aircraft measurements supply information on radionuclide concentrations in the upper atmosphere.

Shortly after the release of radionuclides due to the explosions at the Fukushima Daiichi nuclear power plants, continuous calculations of dispersion forecasts were started at the Deutscher Wetterdienst. The results were published on the Internet, with graphs describing the pathways of possibly contaminated air parcels. Two weeks after the event, the volatile radionuclides Xe-133, I-131, I-132 and Te-132 arrived in Europe and could easily be measured over Germany at magnitudes of several mBq/m<sup>3</sup> using

nuclide specific measuring and monitoring systems. In addition, I-131 was also detected by aircraft measurements.

## **1 Freisetzung von Radionukliden nach Ausfall der Kühlung der Atomanlage Fukushima Daiichi**

Das verheerende Erdbeben in Japan am 11.03.2011 und der dadurch ausgelöste Tsunami haben die küstennahe Infrastruktur in den Gebieten im Nordosten Japans weitgehend zerstört. Auch die vier Reaktoren der Atomanlage Fukushima Daiichi und die Abklingbecken für die Brennelemente waren dadurch betroffen. Wegen der ausgefallenen elektrischen Versorgung konnte die Kühlung der Brennelemente nicht aufrechterhalten werden, es kam in drei Reaktoren zu einer Überhitzung der Brennstäbe und dadurch zu einer teilweisen Kernschmelze. Nachfolgende Explosionen beschädigten die Reaktoranlage und radioaktives Reaktorinventar wurde in die Umwelt freigesetzt. In unmittelbarer Nähe der zerstörten Anlagenteile waren nach Angaben der International Atomic Energy Agency (IAEA) am 15. März um 21:40 UTC Dosiswerte von 400 mSv/h nahe der Einheit 3 gemessen worden [1]. Die japanischen Behörden evakuierten die Bevölkerung in einem Umkreis von 20 km. Je nach den meteorologischen Ausbreitungsbedingungen wurden die Radionuklide in den östlich und nördlich gelegenen Sektoren unterschiedlich verbreitet.

## **2 Überwachung der Umweltradioaktivität in der Atmosphäre in Deutschland**

Die messtechnischen Fragestellungen werden ausführlich in den Regelwerken des Strahlenschutzvorsorgegesetzes beantwortet. Nach der Reaktorkatastrophe von Tschernobyl (1986) war das gesamte System zur Überwachung der Umweltradioaktivität neu gestaltet und gesetzlich neu geregelt worden [2,3]. Die Bundes- und Landesbehörden wurden in einem „Integrierten Mess- und Informationssystem zur Überwachung der Umweltradioaktivität“ (IMIS) zusammengefasst, durch das die Verteilung der Aufgaben im Normalbetrieb wie auch in einem Katastrophenfall festgelegt wurde. Wesentlich ist die klare Zuordnung und Trennung zwischen messenden und bewertenden Institutionen. Die Ergebnisse werden durch das Bundesamt für Strahlenschutz (BfS) und das Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (BMU) bewertet und in der Öffentlichkeit präsentiert.

Für die Überwachung der Radioaktivität in der Atmosphäre sind der Deutsche Wetterdienst (DWD), das Bundesamt für Strahlenschutz (BfS) und die Physikalisch Technische Bundesanstalt (PTB) zuständig. Aufbauend auf Ausbreitungsprognosen und Messdaten werden Maßnahmen zum Bevölkerungsschutz durch das BfS in die Wege geleitet. Die Messkonfigurationen zur Überwachung der Atmosphäre decken einen großen Konzentrationsbereich ab. Zur Bestimmung geringster Aktivitätskonzentrationen in der Luft, wie in der Allgemeinen Verwaltungsvorschrift zur Überwachung der Radioaktivität in der Umwelt (AVV-IMIS) [4] beschrieben, werden Probeentnahme- und Messgeräte zur Spurenanalyse beim BfS, dem DWD und der PTB betrieben. Vier dieser Probeentnahmestellen sind zudem Bestandteil des Sparse Network gem. Art. 35/36 des EURATOM Vertrages: Schauinsland (BfS), Berlin jetzt Potsdam (DWD), Offenbach (DWD), Braunschweig (PTB).

### 3 Ausbreitungsrechnungen durch den Deutschen Wetterdienst

Im Bedarfsfall werden innerhalb von 10 Minuten bzw. 30 Minuten durch den DWD Trajektorien und Konzentrationsverteilungen gerechnet, um die Verfrachtungsrichtung und Transportzeiten und bei bekannter Quellstärke die Größenordnungen der Aktivitätskonzentration zu bestimmen. Im Rahmen der Aufgaben des DWD im IMIS [4] wurden bereits am 11.03.2011 Trajektorienrechnungen durchgeführt und die Ergebnisse der Rechnungen täglich an das IMIS weitergeleitet, ab dem 14.03.2011 täglich zweimal. Ab dem 15.03.2011 wurden die Ergebnisse auch auf der Internetseite des DWD publiziert (Abb. 1: Trajektorienrechnung vom 15.3.2011). Trajektorienrechnungen prognostizieren die Verlagerung von Luftmassen bis zu einem Vorhersagezeitraum von ca. 172 h. Die Ergebnisse der Rechnungen ließen einen Transport nach Nordeuropa über die Polarregionen vermuten. Ab dem 18.03.2011 wurden die Trajektorienrechnungen durch die aussagekräftigeren Konzentrationsprognosen ersetzt und publiziert. Die Ausbreitungsrechnungen wurden auf Basis des aktuellen Modells der numerischen Wettervorhersage und des Lagrange'schen Partikel-Dispersions-Modells (LPDM) initialisiert. Die Daten standen jeweils um 6 UTC und um 18 UTC zur Verfügung. Im Modell wird für den Start eine kontinuierliche Punktquelle am Standort von Fukushima Daiichi angenommen. Angaben über die Menge der freigesetzten Aktivität lagen nicht vor. Daher rechnete das Modell mit einem fiktiv angenommenen Quellterm. (Abb. 2: Ausbreitungsrechnung des DWD, Start am 18.3.2011). Eine Verteilung der Konzentration leitet sich aus der Farbzuordnung ab Neben der bodennahen Konzentration gemittelt über die untersten 500 m der Atmosphäre gibt es Felder für feuchte Deposition und trockene Deposition. Die Depositionen sind die akkumulierten Ablagerungen von einem Vorhersagetermin zum nächsten und gleichzeitig die Modellsenke für die berechnete Aktivitätskonzentration in der Luft. Diese gibt den Mittelwert zwischen zwei Vorhersageterminen an. Alle Werte liegen 6-stündlich vor, berechnet bis 120 Stunden in der Zukunft.

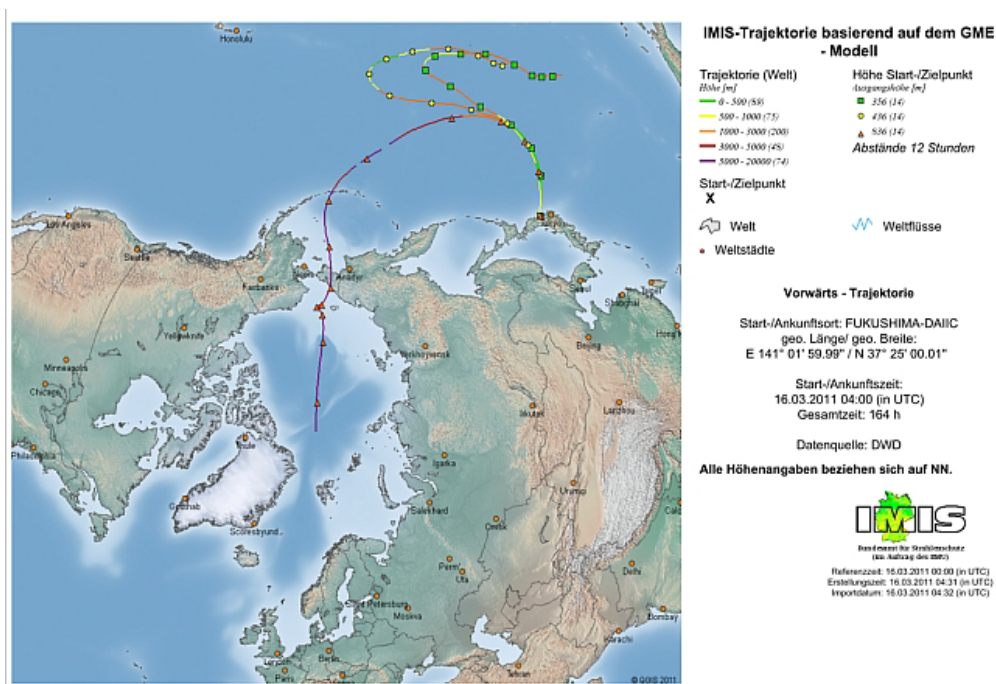


Abb. 1: Trajektorienrechnung, Startort Fukushima, Startzeit 13.3.2011

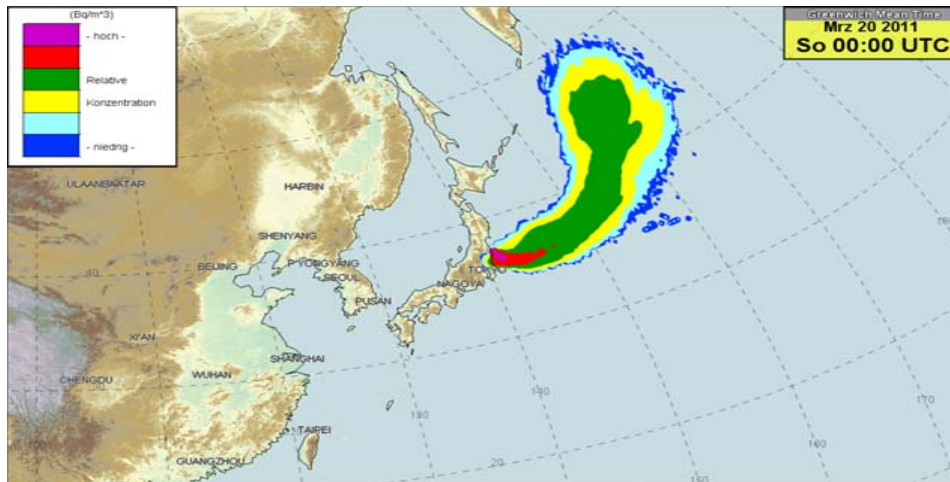


Abb.2: Ausbreitungsrechnungen des DWD: Startzeit 18.3.2011

Dispersionsrechnungen sind aussagekräftiger als Trajektorien, da sie auch die Verteilung von Aktivitätskonzentrationen und die zu erwartende Deposition simulieren. Die Ergebnisse der Ausbreitungsrechnungen ließen sowohl einen Transport über den Pazifik und den atlantischen Ozean nach Europa erwarten, als auch einen Transport über die Polarbreiten mit einem Eintreffen im nördlichen Skandinavien.

#### 4 Informationen aus internationaler Zusammenarbeit

Aufgrund von Informationen der Internationalen Organisation zur Überwachung des Kernwaffenteststoppabkommens (Comprehensive Nuclear-Test-Ban Treaty Organization, CTBTO) und der regelmäßig fortgeführten Ausbreitungsrechnungen war es möglich, das Eintreffen der kontaminierten Luftmassen in Europa für Mitte/Ende der 12. Kalenderwoche recht präzise vorherzusagen, die Luftmessstellen darauf vorzubereiten und die flugzeuggestützten Messungen zu initiieren.

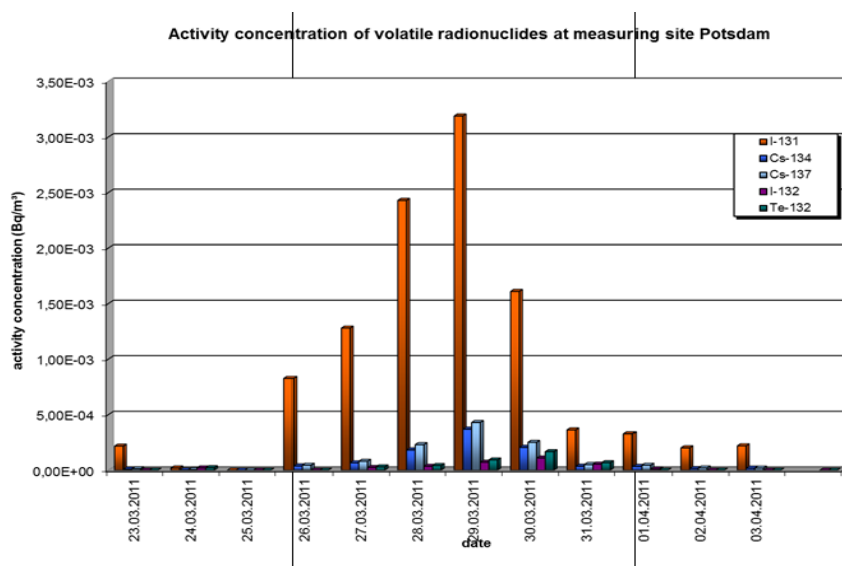
Über das fachlich orientierte Netzwerk der europäischen Spurenmessstellen (Ring-of-Five, ro5) standen bereits am 20.03.2011 erste Messergebnisse über I-131 in Island zur Verfügung, so dass das Eintreffen der radioaktiv kontaminierten Luftmassen in Zentraleuropa gut vorhergesagt werden konnte. Nahezu alle in Europa gemessenen Messwerte wurden zusammengetragen, ausgewertet und veröffentlicht [5].

#### 4 Spurenmessungen an den Messstationen des Deutschen Wetterdienstes

Entsprechend des Unfallgeschehens und des langen Transportwegs für die kontaminierten Luftmassen war mit leichtflüchtigen Radionukliden mit Aktivitätskonzentrationen im Bereich weniger  $\text{mBq/m}^3$  zu rechnen. Daher wurde der Zeittakt der Probenentnahme der 4 deutschen Spurenmessstellen ab dem 23.03.2011 von wöchentlicher auf tägliche Probenentnahme der aerosolgebundenen Radionuklide umgestellt. In Ergänzung zu den nuklidspezifisch messenden automatischen Monitorssystemen des DWD wurden Filter täglich über 24h mit einem Luftdurchsatz von ca.  $1000 \text{ m}^3/\text{h}$  beaufschlagt und anschließend gammaspektrometrisch ausgewertet. Die Nachweisgrenzen der Systeme mit einem Luftdurchsatz von ca.  $1000 \text{ m}^3/\text{h}$  lagen bei ca.  $10 \mu\text{Bq/m}^3$ , für die Monitorssysteme bei  $10 \text{ mBq/m}^3$ . Die Messergebnisse wurden von der Leitstelle Spurenanalyse im BfS zusammengefasst und an das BMU, die

IAEA sowie an die Europäische Union (EU) berichtet und in das System der elektronischen Lagedarstellung des Notfallschutzes (ELAN) eingestellt. Das BfS hat die Messergebnisse entsprechend den Vereinbarungen zwischen dem BMU und den Spurenmessstellen zentral auf den Internetseiten des BfS veröffentlicht. Eine abgestimmte Präsentation der jeweils institutsspezifischen Messergebnisse der Spurenmessstellen auf den eigenen Internetseiten wurde in Ergänzung eingerichtet. Die Ergebnisse der deutschen Spurenmessstellen für Iod-131 und für Caesium-137, ergänzt durch Messdaten aus der Schweiz und Österreich wurden in der Fachzeitschrift StrahlenschutzPraxis dargestellt [6].

An der Messstation Offenbach (DWD) wurden für den Zeitraum vom 23.03.2011, 6 UTC, bis zum 24.03.2011, 6 UTC, erhöhte Messwerte für I-131 mit  $130 \mu\text{Bq}/\text{m}^3$  Luft und an der Messstation Potsdam (DWD) für I-131 mit  $230 \mu\text{Bq}/\text{m}^3$  Luft gemessen. Neben I-131 und Cs-137 wurden auch Te-132, I-132 und Cs-134 bestimmt. Den Zeitverlauf für I-131, Cs-134 und Cs-137 zeigt Abbildung 3 für die Messstelle Potsdam (DWD). Der Anteil von gasförmigem, radioaktivem Iod ließ sich anhand der Tagesproben mit einem Luftdurchsatz von ca.  $3 \text{ m}^3/\text{h}$  messtechnisch nicht erfassen, da die Nachweisgrenze der vorgehaltenen Messkonfiguration bei einem Sammelintervall von 24h und einer Messzeit von 24 Stunden mit ca.  $10 \text{ mBq}/\text{m}^3$  zu hoch war. Alphastrahlende Nuklide und Strontium-Isotope konnten nicht nachgewiesen werden.



**Abb.3: Spurenmessungen an der Messstation Potsdam**

Anhand ausgewählter Luftproben wurden durch den DWD und das BfS die Aktivitätskonzentrationen des radioaktiven Edelgases Xe-133 ermittelt. Zu Beginn wurden Tagesproben gemessen. Später wurden die Probeentnahmeintervalle auf 2 und 3 Tage erweitert, um die zeitliche Auflösung im Vergleich zu den üblichen Wochenproben zu verbessern. Für die Messstation Offenbach wurde für Xe-133 ein Maximalwert von  $2,5 \text{ Bq}/\text{m}^3$  bezogen auf den Zeitraum vom 29.03.2011 bis zum 31.03.2011 gemessen (Abb.4). Der Zeitverlauf ist leicht zeitversetzt analog den Messwerten für die leichtflüchtigen Radionuklide I-131 und Cs-137 mit Maximalwerten im Zeitraum vom 28.03.2011 bis 30.03.2011.

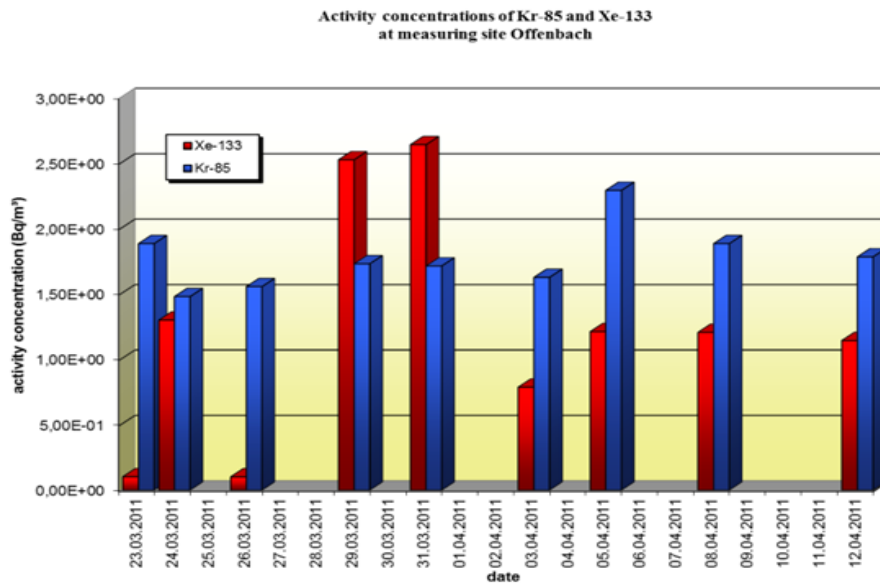


Abb.4: Messungen von radioaktiven Edelgasen an der Messstation Offenbach

Die kontinuierlich messenden Luftmonitore FHT59N2/N3 zeigten zwischen dem 27.03.2011 und dem 29.03.2011 an einzelnen Messstationen des DWD Messwerte für einzelne 2h-Messintervalle in einem Bereich von 10 mBq/m<sup>3</sup> bis 20 mBq/m<sup>3</sup> mit Messunsicherheiten von ca. 30%.

Die bodennahen Messungen wurden durch Flugzeugmessungen des DWD ergänzt [7]. Es stand ein Learjet mit einem Probeentnahmesystem für Aerosolpartikel zur Verfügung (Abb.5). Der Flugeinsatz wurde durch die Firma enviscope GmbH mit dem Flugzeugbetreiber Gesellschaft für Flugzielerfassung (GfD) am 23.03.2011 gemeinsam mit dem deutschen Zentrum für Luft- und Raumfahrt (DLR) und dessen Forschungsflugzeug FALCON 20E durchgeführt. Ein zweiter Messflug am 30.03.2011 fand ohne Beteiligung des DLR statt. Die Messungen am 23.03.2011 zeigten keine Aktivitätskonzentrationen oberhalb der Nachweisgrenzen, da diese wegen eines zu geringen Probenvolumens zu hoch waren. Eine erhöhte Dosisleistung wurde erwartungsgemäß nicht festgestellt. Bei einem zweiten Flugzeugeinsatz über Norddeutschland am 30.03.2011 wurde in einer Höhe von 10.000 m für I-131 eine Aktivitätskonzentration von 1,7 mBq/m<sup>3</sup> und bei einem weiteren Flug in einer Höhe von 4.000 m bis 5.000 m eine Aktivitätskonzentration von ca. 2,6 mBq/m<sup>3</sup> Luft festgestellt. Dies deckt sich mit den Ergebnissen der schweizerischen Messungen mit ca. 1,9 mBq/m<sup>3</sup> in einer Höhe von 7.900 m am 30.3.2011 [8].



Abb.5: Flugzeug gestützte Probeentnahme von Aerosolpartikeln

Ab dem 21.04.2011 wurde in Absprache mit dem BMU von einer täglichen Probeentnahme zunächst auf eine Probeentnahme in zwei- bzw. dreitäglichem Rhythmus und ab dem 09.05.2011 wieder auf einen wöchentlichen Probenentnahmerhythmus (Normalbetrieb) umgestellt, da die beobachteten Aktivitätskonzentrationen für I-131 nahe den Nachweisgrenzen bzw. zeitweise schon darunter lagen.

In den Niederschlagsproben vom 31.03.2011 wurden Aktivitätskonzentrationen von I-131 mit Werten zwischen 0,26 und 2,12 Bq/L nachgewiesen.

## **5 Lehren aus Fukushima**

Dank der internationalen Vereinbarungen zwischen den meteorologischen Institutionen innerhalb der WMO und auch zwischen der WMO und der IAEA ist die Bereitstellung von Ausbreitungsrechnungen geregelt. Die meteorologischen Daten stehen jedem Wetterdienst zur Verfügung. Somit war es auch dem DWD möglich Ausbreitungsrechnungen durchzuführen und zu veröffentlichen.

Problematisch ist die Bewertung der Ergebnisse aus Sicht des Strahlenschutzes und daraus abgeleitet aus Sicht des Bevölkerungsschutzes. Ein belastbarer Quellterm stand für Fukushima anfangs nicht zur Verfügung. Daher wurden die Ergebnisse der Konzentrationsprognosen stets als Ergebnis eines fiktiven Quellterms angegeben. Dies wird allerdings nicht immer richtig interpretiert. Die japanische Bevölkerung war dankbar über die Publikation im Internet, die vornehmlich zur Information der Bevölkerung in Deutschland gedacht war.

Der zeitliche Vorlauf vor den Messungen in Deutschland war groß. Es zeigte sich, dass die messtechnischen Voraussetzungen in Deutschland geschaffen sind, um geringste Aktivitätskonzentrationen in der Atmosphäre festzustellen. Wesentliche Erkenntnis ist, dass der Informationsbedarf der Bevölkerung und damit der Medien größer ist, als im bisher etablierten Konzept des IMIS bedacht. Die Informationsdarstellung im Internet oder über Netzwerke wie Facebook bedarf dringend einer Überarbeitung. Abweichend von den Vorgaben im IMIS wurde mit dem BMU abgestimmt, dass Messwerte annähernd zeitgleich auf den Internetseiten der messenden Institutionen bereitgestellt werden, vorbehaltlich der radiologischen Bewertung des BMU auf den eigenen Internetseiten. Auf eine schnelle englische Übersetzung muss zukünftig geachtet werden. Somit sind für die Zukunft weiter die schnelle Bereitstellung von Ausbreitungsprognosen und die Veröffentlichung von Messwerten sowie deren erläuternde Dokumentation für die Öffentlichkeit zu verbessern. Dabei erweisen sich die Personalkapazitäten als begrenzt, wenn Messaufgaben und Öffentlichkeitsarbeit gleichzeitig wahrgenommen werden müssen. Weiter gilt es zukünftig zu verbessern, dass Information über Quellstärke früher vorliegen, die Entscheidungshilfen für Verkehrsträger (Flughäfen, Schiffsverkehr), die Darstellung der Situation für Regionen außerhalb Deutschlands und die Nutzung international standardisierter Formen und Verfahren zur Lagebeurteilung für die Entscheidungsgremien.

## 6 Literatur

- [1] <http://www.iaea.org/newscenter/news/2011/fukushima150311.html>
- [2] Gesetz zum vorsorgenden Schutz der Bevölkerung gegen Strahlenbelastung (Strahlenschutzvorsorgegesetz - StrVG) vom 19. Dezember 1986 BGBl. I S. 2610; zuletzt geändert durch Artikel 1 G. v. 08.04.2008 BGBl. I S.686StrVG
- [3] Gesetz über den Deutschen Wetterdienst (DWD-Gesetz) vom 10. September 1998 (BGBl. I, S. 2871) Allgemeine Verwaltungsvorschrift zum Integrierten Mess- und Informationssystem zur Überwachung der Radioaktivität in der Umwelt (IMIS) nach dem Strahlenschutzvorsorgegesetz (AVV-IMIS) vom 13. Dezember 2006, BAnz. 244a vom 29.12.2006
- [4] Allgemeine Verwaltungsvorschrift zum Integrierten Mess- und Informationssystem zur Überwachung der Radioaktivität in der Umwelt (IMIS) nach dem Strahlenschutzvorsorgegesetz (AVV-IMIS) vom 13. Dezember 2006, BAnz. 244a vom 29.12.2006
- [5] Weiträumige Ausbreitung von Radioaktivität als Folge des Störfalls Fukushima Daiichi, J. Bieringer, C. Katzlberger, T. Steinkopff, P. Steinmann, H. Wershofen Strahlenschutzpraxis, S. 4-6, Heft 3/2011 )
- [6] Tracking of Airborne Radionuclides from the Damaged Fukushima-Dai-ichi Nuclear Reactors by European Networks  
O. Masson, A. Baeza, J. Bieringer, K. Brudecki, S. Bucci, M. Cappai, F.P. Carvalho, O. Connan, C. Cosma, A. Dalheimer, G. Depuydt, L.E. De Geer, A. De Vismes, L. Gini, F. Groppi, K. Guðnason, R. Gurriaran, D. Hainz, Ó. Halldórsson, D. Hammond, K. Holý, Zs. Homoki, A. Ioannidou, K. Isajenko, C. Katzlberger, M. Kettunen, R. Kierepko, R. Kontro, P.J.M. Kwakman, M. Lecomte, A.-P. Leppänen, B. Lind, G. Lujaniene, P. Mc Ginnity, C. Mc Mahon, H. Malá, S. Manenti, M. Manolopoulou, A. Mattila, A. Muring, J.W. Mietelski, B. Møller, S.P. Nielsen, R.M.W. Overwater, S. E. Pálsson, C. Papastefanou, I. Penev, M. Pham, P.P. Povinec, H. Ramebäck, M.C. Reis, W. Ringer, A. Rodriguez, P. Rulík, P.R.J. Saey, V. Samsonov, C. Schlosser, G. Sgorbati, B. V. Silobritiene, C. Söderström, R. Sogni, L. Solier, M. Sonck, G. Steinhauser, T. Steinkopff, P. Steinmann, S. Stoulos, I. Sýkora, N. Tooloutalaie, L. Tositti, J. Tschiersch, A. Ugron, E. Vagena, A. Vargas, H. Wershofen, O. Zhukova: Airborne radionuclides released by the Fukushima Daiichi NPP all over Europe. Environmental Science and Technology, 45, p. 7670-7677, 2011
- [7] Airborne measurements of radioactivity by learjet 35A: W. Dyck, H. Brust, A. Dalheimer and Th. Steinkopff, Kerntechnik 69, No.5-6, November 2004
- [8] Ein Tiger auf der Spur von Fukushima-Aerosolsammlung mit der Schweizer Luftwaffe: S. Estier, M. Müller, P. Steinmann, H.-R. Völkle, StrahlenschutzPraxis, S. 4. - 6., Heft 3/2011



## I-131 IN DEUTSCHEN KLÄRANLAGEN UND FLIESSGEWÄSSERN

H. W. Fischer<sup>1</sup>, S. Ulbrich<sup>1</sup>, B. Hettwig, R. Gellermann<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Universität Bremen, Institut für Umweltphysik, Bremen, Deutschland

<sup>2</sup>NCC GmbH, Braunschweig, Deutschland

### Kurzfassung

Die Anwendung von <sup>131</sup>I ist ein verbreitetes Standardverfahren in der nuklearmedizinischen Therapie. Zwar werden in Deutschland die Patienten zur Durchführung der Therapie stationär aufgenommen und die anfallenden Abwässer in Abklinganlagen gesammelt, unterhalb einer Körperaktivität von 250 MBq können die Patienten allerdings entlassen werden. Diese restliche Aktivität zerfällt teilweise weiter im Körper des Patienten, ein anderer Teil wird ausgeschieden und erreicht über die Kanalisation Kläranlagen und Gewässer. Im Rahmen von IMIS-§3-Messungen wird <sup>131</sup>I bundesweit regelmäßig im Ablauf von Kläranlagen nachgewiesen.

Im Rahmen des OSPAR-Abkommens obliegt es der Bundesregierung den jährlichen Eintrag von <sup>131</sup>I in den Nordatlantik aus deutschen Fließgewässern zu ermitteln und zu berichten. Im Rahmen eines hiermit befassten Forschungsvorhabens werden seit Mitte 2012 die in die Nordsee mündenden großen deutschen Flüsse Elbe, Weser, Ems und Rhein sowie ausgewählte an diesen Flüssen gelegene Kläranlagen systematisch beprobt. Es werden sowohl Zeitreihen erstellt als auch (annähernd) einzeitige Messreihen entlang der Flüsse ermittelt. Die Messwerte sollen der Validierung eines derzeit in der Entwicklung befindlichen Modells dienen, das Eintrag und Transport von medizinischem <sup>131</sup>I erfassen und bilanzieren soll.

Wegen der geringen Konzentration besonders im Flusswasser muss ein Anreicherungsverfahren durchgeführt werden, hierüber wird an anderer Stelle berichtet. Das gewählte Nachweisverfahren ist die Gammaskopie, mit der <sup>131</sup>I über die 364 keV Linie empfindlich detektiert werden kann. Nach Anreicherung liegt die Erkennungsgrenze bei unter 1 mBq/l, ohne Anreicherung werden bei Direktmessung etwa 10 mBq/l erreicht.

Die bisher ermittelten Messwerte liegen für den Kläranlagenablauf im Bereich 30-500 mBq/l, sie entsprechen dem Bereich früherer eigener Messungen und derer aus IMIS. Die Konzentrationen im Flusswasser sind entsprechend der Verdünnung der Abwässer um mehrere Größenordnungen niedriger - sie liegen im Bereich weniger mBq/l oder noch darunter und damit nahe an der apparativen Erkennungsgrenze.

Zum Tagungszeitpunkt wird erwartet dass Aussagen zur räumlichen und zeitlichen Verteilung der <sup>131</sup>I-Konzentration in den betrachteten Gewässern möglich sind.

## HUBSCHRAUBERGESTÜTZTE MESSUNGEN - EIN WICHTIGER BESTANDTEIL DES NOTFALLSCHUTZES

Ch. Strobl, Ch. Hohmann, I. Krol, M. Thomas, C. Brummer  
*Bundesamt für Strahlenschutz, Dienststellen München und Berlin, Deutschland*

### Kurzfassung

Das Bundesamt für Strahlenschutz (BfS) betreibt vier hubschraubergestützte Gammaskpektrometer zur nuklidspezifischen Bestimmung der Bodenkontamination und der Gamma-Ortsdosisleistung. Messungen aus Hubschraubern haben im Vergleich zu bodengestützten In-Situ-Messungen und der Analyse von Bodenproben den Vorteil, dass die auf dem Boden abgelagerten Radionuklide schnell und großräumig identifiziert werden können. Damit können Entscheidungen über erforderliche weitere Messungen sowie Notfallschutzmaßnahmen zeitnah getroffen werden.

Gemeinsam mit der Bundespolizei (BPOL) werden jährliche Übungen zur Messung der im und auf dem Boden abgelagerten radioaktiven Stoffen von Hubschraubern aus durchgeführt. Ziele dieser Übungen sind Messflüge in unterschiedlichem topographischem Gelände, die radiologische Kartierung von Gebieten mit schwankendem Strahlungspegel sowie die Qualitätssicherung der aufgenommenen Messdaten. Des Weiteren werden geeignete Flugverfahren zur Überfliegung großräumiger Gebiete und schnellen Umsetzung der Übungsziele erprobt sowie die Zusammenarbeit zwischen BfS und BPOL trainiert.

Die jährlichen Übungen erfolgen in Zusammenarbeit mit den zuständigen Landesbehörden und wurden im Jahr 2011 in Baden-Württemberg sowie 2012 in Schleswig-Holstein und Niedersachsen durchgeführt. Bei diesen Übungen wurden kerntechnische Anlagen (Neckarwestheim, Phillipsburg, Obrigheim, Brunsbüttel, Brokdorf, Krümmel und Geesthacht) und deren unmittelbare Umgebung befliegen. Des Weiteren wurden neue Flugverfahren zur schnellen radiologischen Kartierung von großflächigen Messgebieten erprobt. Eine zeitnahe Vor-Ort-Auswertung der aufgenommenen Messdaten (Auswertung der räumlichen Verteilung der Gamma-Ortsdosisleistung) sowie die Darstellung und Präsentation der Messergebnisse stellte ein weiteres wichtiges Übungselement dar.

Die Messübungen zeigten, dass die hubschraubergestützte Aero-Gamma-spektrometrie geeignet ist, die Bodenkontamination (z. B. nach Freisetzung aus einer kerntechnischen Anlage) schnell und großflächig zu ermitteln. Ein weiterer Vorteil der Aero-Gammaskpektrometrie ist, dass diese Methode aufgrund ihrer geringen Vorlaufzeiten im Rahmen des Notfallschutzes jederzeit kurzfristig einsatzfähig ist.

## SITZUNG UMWELT- UND UMGEBUNGSÜBERWACHUNG IN DEUTSCHLAND II

Sitzungsleiter: **Hr. Fischer, Hr. Salfeld**  
*am Donnerstag 7.3.2013, 8:30 – 10:00*

### Zusammenfassung

Im Beitrag Nr. 14 berichtete Herr Heinrich vom SBS Radebeul über alte und neue Messdaten zur Kontamination sächsischer Waldböden mit Cs-137. Hierzu wurde eine Vielzahl von Quellen herangezogen und die Daten durch ein eigenes Messprogramm ergänzt. Neben einer Bestätigung von regionalen Bereichen erhöhter Kontamination zeigen sich an diesen Orten auch Werte für Schwarzwild mit über 600 Bq/kg.

Herr Bechtler (LUBW Karlsruhe, Vortrag 35) stellte Messergebnisse für Cs-137 in Boden- und Flusssedimentprofilen vor, die durch Messdaten einer Vielzahl anderer Laborparameter ergänzt wurden. Er fand im Boden ein Cs-Konzentrationsmaximum in mittleren Tiefen und eine Korrelation mit dem Gehalt an organisch gebundenem Kohlenstoff. Im Sediment konnte dieser Zusammenhang nicht gezeigt werden, dafür korrelierten die Cs-Konzentrationen deutlich mit kleinen Korngrößen.

Herr Neff (LUBW Karlsruhe, Vortrag 21) stellte das Kernreaktor-Fernüberwachungssystem des Landes Baden-Württemberg vor und berichtete über aktuelle Erfahrungen und Entwicklungen. Hervorgehoben wurden die gemeinsame Benutzung des Systems durch Betreiber und Behörden, die nationale und internationale Vernetzung und die Bereitstellung aktueller Messwerte im Web, die im Frühjahr 2011 zu bis zu 1000 Zugriffen pro Tag führte. Das System konnte in der Ausstellung besichtigt werden.

Frau Wittwer vom BfS (Fachgebiet Strahlenschutz bei der Entsorgung) trug im Vortrag 27 über das System der Emissions- und Immissionsüberwachung der Schachanlage Asse II vor. Die vorhandene Messtechnik und die erhaltenen Ergebnisse wurden vorgestellt und ein Ausblick auf geplante Entwicklungen gegeben, die unter anderem einen neuen Abluftschacht und neue Messtechnik umfassen.

Herr Gerler (BfS, Fachgebiet s.o.) berichtete ebenfalls über die Überwachung der Schachanlage Asse II. In seinem Vortrag (Nr. 12) ging es um die Untersuchung landwirtschaftlicher und gärtnerischer Produkte in der näheren Umgebung der Schachanlage. In dieses über die Forderungen der REI hinausgehende Überwachungsprogramm wurden insbesondere örtliche Landwirte und Bürger durch die Bereitstellung von Probenmaterial einbezogen. Beteiligt waren die zuständige Landwirtschaftskammer sowie eine landwirtschaftliche Forschungs- und Versuchsanstalt. Im Jahr 2011 konnten so knapp 200 Messwerte gewonnen werden. Die Ergebnisse wurden im Web publiziert und auch direkt an die Erzeuger übermittelt.

An die Vorträge schloss sich eine zum Teil lebhaftere Diskussion an, die die Sitzungsleitung mehrfach aus Zeitgründen beenden musste.

## UNTERSUCHUNGEN ZUR CÄSIUM-KONTAMINATION SÄCHSISCHER BÖDEN

### INVESTIGATIONS ON THE CONTAMINATION OF SAXONIAN SOILS WITH RADIOCAESIUM

T. Heinrich<sup>1, \*</sup>, A. Abraham<sup>1</sup>, R. Weber<sup>1</sup>,

<sup>1</sup>*Staatliche Betriebsgesellschaft für Umwelt und Landwirtschaft, Altwahnsdorf 12, 01445  
Radebeul, Bundesrepublik Deutschland*

#### Zusammenfassung

Die Cäsium-Kontamination von Böden als Folge des Tschernobyl-Fallouts wurde im Freistaat Sachsen Anfang der 90er Jahre durch verschiedene Bundesinstitutionen erfasst. Im Zuge eines seit 2006 intensivierten Wildmonitorings ergab sich die Notwendigkeit, Variationen der Bodenkontamination auch in einem kleineren Maßstab zu erfassen.

Hierzu erfolgte zum einen eine sorgfältige Recherche und Auswertung bisheriger Messkampagnen und zum anderen eine Verdichtung der bestehenden Daten unter Einbeziehung des Messnetzes zur forstlichen Bodenzustandserhebung. Im Ergebnis wird eine detailliertere Karte der Bodenkontamination möglich sein. Die Karte ist in Verbindung mit Karten zum Waldbestand hilfreich zur Eingrenzung von Gebieten, in denen der Untersuchung von Wild besondere Aufmerksamkeit zu widmen ist.

#### Summary

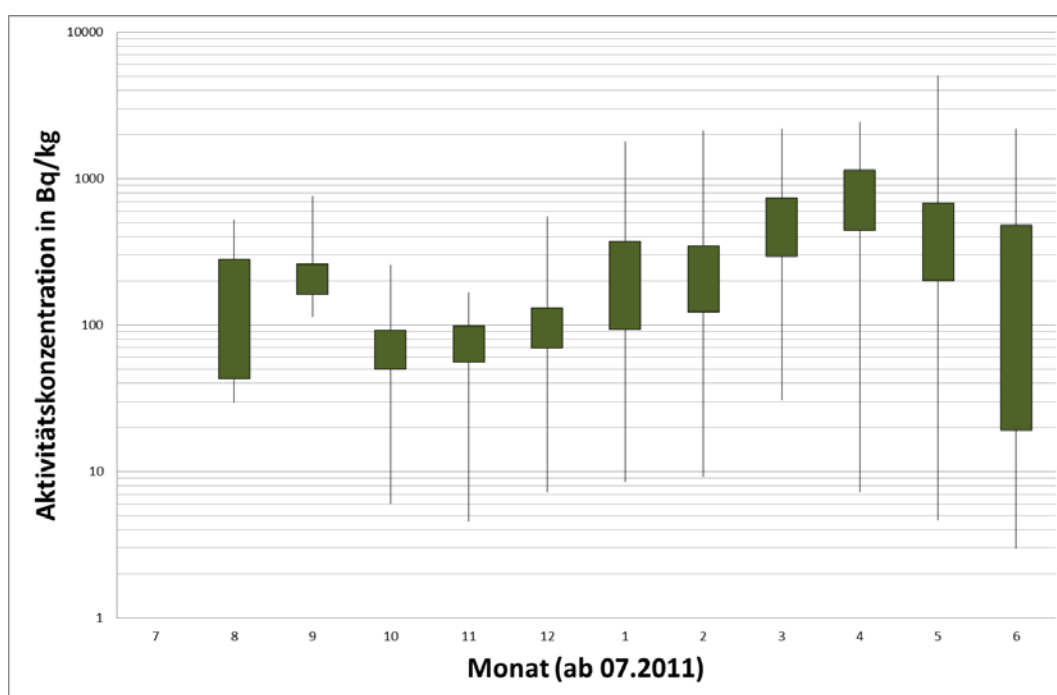
The soil contamination with radiocaesium as a result of the Chernobyl fallout was recorded in saxony at the beginning of the 90s from various federal institutions. As a consequence of a game monitoring since 2006 the variation of the soil contamination should be acquired at a smaller scale. Therefore older data were reevaluated and new data were collected at points of the forest soil condition survey. As a result a more detailed map of the soil contamination will be possible. This map in conjunction with maps of the forest stand is helpful to specify regions where one should pay particular attention to game investigations.

#### 1 Veranlassung und Aufgabenstellung

Mit der Empfehlung vom 14. April 2003 über den Schutz und die Unterrichtung der Bevölkerung in Bezug auf die Exposition durch die anhaltende Kontamination bestimmter wild vorkommender Nahrungsmittel mit radioaktivem Cäsium als Folge des Unfalls im Kernkraftwerk Tschernobyl [1] empfiehlt die Kommission, dass die in Artikel 3 der Verordnung (EWG) Nr. 737/90 genannten zulässigen Höchstwerte für Cäsium-134 und Cäsium-137 in der Gemeinschaft beim Inverkehrbringen von Wildfleisch, wild wachsenden Beeren, Wildpilzen und Fleisch fressendem Fisch aus Seen eingehalten werden und dass in Gebieten, in denen die Möglichkeit besteht,

dass die zulässigen Höchstwerte für diese Erzeugnisse überschritten werden, die Bevölkerung über das damit verbundene Gesundheitsrisiko unterrichtet wird. Damit wurden die für den Import aus Drittländern geltenden Höchstwerte von 600 Bq/kg Gesamtcesium (Summe der Aktivitäten von Cäsium-134 und -137) auch im Binnenraum der EU zu einem faktisch einzuhaltenden Höchstwert.

Sowohl die Daten der Amtlichen Lebensmittelüberwachung als auch die Monitoringdaten nach dem Strahlenschutzvorsorgegesetz ergaben jedoch bis 2005 keine Hinweise auf Überschreitungen des Höchstwertes in sächsischem Wildfleisch. Erstmals 2005 festgestellte Überschreitungen waren der Anlass zu einem intensivierten Monitoringprogramm in der Verwaltungsjagd des Freistaates Sachsen, an dem ab 2011 auch die private Jägerschaft des Vogtlandkreises beteiligt war. Die Ergebnisse zeigen, dass bei Schwarzwild saisonal im Süden des Vogtlandkreises mit einer gehäuften Überschreitung des Höchstwertes zu rechnen ist.



*Abb. 1: Zeitlicher Verlauf der Aktivitätskonzentration von Cäsium-137 in Schwarzwild aus dem stark bewaldeten Süden des Vogtlandkreises (Spannweite von kleinsten bis zum größten Messwert des Monats; grün gekennzeichnete Bereich zwischen 33%- und 66%- Quantil)*

In der entsprechenden Region wurde daher ab dem September 2012 eine Untersuchungspflicht für Schwarzwild angeordnet. Ergänzend zu dieser Maßnahme des Verbraucherschutzes wurde die Staatliche Betriebsgesellschaft für Umwelt und Landwirtschaft (BfUL) beauftragt, durch Bodenuntersuchungen die Eingrenzung des genannten Gebietes zu überprüfen. Hierzu sollten vorhandene Daten erfasst, aufbereitet und punktuell validiert werden. In Waldgebieten sollte der Datenbestand um eigene Messdaten ergänzt werden.

## 2 Vorgehensweise

Alle vorhandenen und neu hinzugewonnenen Daten wurden einheitlich auf den 01.05.2011 zerfallskorrigiert. Zielgröße war der Aktivitätsvorrat an Cäsium-137 in Bq/

m<sup>2</sup>. Soweit eigene Probenahmen durchgeführt wurden, orientierten sich diese an der DIN ISO 18589-2:2009-02 [2]. Mittels eines Bohrstockes von 5 cm Innendurchmesser wurden aus einer Fläche von ca. 100 m<sup>2</sup> zehn Einstiche von bis zu 30 cm Tiefe entnommen und zu einer Mischprobe vereinigt. In der Regel wurde je eine Probe aus den Tiefen 0 – 10 cm, 10 – 20 cm und 20 – 30 cm gewonnen. Die Bearbeitung und Messung erfolgte nach der Messanleitung F- $\gamma$ -SPEKT-BODEN-01:1998-11 [3]. Die Aktivitätsvorratsberechnung orientiert sich an der im bayerischen Bodendauerbeobachtungsmessnetz angewandten Berechnungsmethode [4]. In die Berechnung gehen insbesondere die Aktivitätskonzentration, das Probentrockengewicht, das Probenvolumen und die Entnahmetiefen ein. Als Zwischengröße ergibt sich hierbei ein Umrechnungsfaktor in kg/m<sup>2</sup>.

In der Regel wurde bei eigenen Probenahmen eine In-situ-gammaspektrometrische Messung nach der Messanleitung B-IS-SPEKT-BODEN-01:1992-09 [5] durchgeführt und die nuklidspezifische Dosisleistung von Cäsium-137 bei einer angenommenen Relaxationslänge von 1 cm ermittelt.

### **3 Bestandserfassung, Aufbereitung und Validierung vorhandener Daten**

Im Zuge der Aufarbeitung der vorhandenen Daten ergab sich das Problem, die unterschiedlich vorliegenden Ausgangsgrößen vergleichbar zu machen. In den nachstehenden Absätzen wird das grundsätzliche Vorgehen geschildert.

#### **3.1 Messdaten des Bundesamtes für Strahlenschutz (BfS) bzw. des Staatlichen Amtes für Atomsicherheit und Strahlenschutz (SAAS)**

Den Autoren wurden vom BfS die Originaldaten übergeben, die in die Erstellung der bundesweiten Karte der „Bodenkontamination mit Cs-137 im Jahr 1986 (Bq/m<sup>2</sup>)“ eingingen [6]. Diese Karte wurde erstmalig 1991 vom Institut für Wasser-, Boden- und Lufthygiene im Bundesgesundheitsamt veröffentlicht und ist heute in vielen Veröffentlichungen zu den Auswirkungen des Kraftwerkunfalles in Tschernobyl auf die Bundesrepublik Deutschland zu finden. Das Datenmaterial enthält auch die Daten, die seit 1986 vom damaligen SAAS erhoben wurden.

Anhand von Plausibilitätsbetrachtungen (z.B. durch Vergleich der Messpunktbezeichnung mit den Gemarkungs- oder Gemeindegrenzen) ist anzunehmen, dass einige wenige Messdaten unscharf georeferenziert sind. Dies ist bei der Betrachtung kleinerer Kartenausschnitte zu beachten. Bei der Abschätzung des Aktivitätsvorrats des Jahres 2011 wurde auch ein mittlerer Aktivitätsvorrat von 1400 Bq/m<sup>2</sup> berücksichtigt, der aus dem Kernwaffenfallout der 50er Jahre stammt (vgl. z. B. [7]).

#### **3.2 Messdaten der Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (BGR)**

Im Jahr 1994 wurden von der BGR im Auftrag des damaligen Sächsischen Staatsministeriums für Umwelt Bodenproben im Süden von Sachsen mit besonderem Schwerpunkt im Vogtland entnommen und hinsichtlich der Radioaktivität analysiert [8]. Die Entnahmeflächen wurden als Grünland beschrieben und jeweils fünf Teilproben aus einer Tiefe von 0 – 20 cm entnommen. Die Resultate liegen als Aktivitätskonzentrationen von Cäsium-137 in Bq/kg vor.

Zur Validierung der Daten wurden vier Probenahmestellen im Vogtland mit ausgewiesenen Radioaktivitätskonzentrationen von ca. 100 Bq/kg ausgewählt und wie im Kapitel 2 beschrieben beprobt. Zwei der vier Probenahmestellen lagen laut angegebenen Koordinaten mitten in größeren Waldgebieten. Es wurde daher auf eine möglichst naheliegende Lichtung ausgewichen. Eine der vier Probenahmestellen (554005) war möglicherweise umgegraben oder teilweise aufgeschüttet. Die ermittelten Aktivitätsvorräte nehmen mit zunehmender Tiefe ab (Ausnahme: 554005). In einer Tiefe von 20 – 30 cm beträgt der Aktivitätsvorrat zwischen ca. 200 und ca. 1200 Bq/m<sup>2</sup>.

*Tabelle 1: Ergebnisse der Validierung von vier Probenahmestellen des BGR-Datenbestandes (alle Daten bezogen auf den 01.05.2011): in dieser Arbeit ermittelte Aktivitätskonzentration ist die gemittelte Aktivitätskonzentration der beprobten Tiefen 0 – 10 cm und 10 – 20 cm; der aus BGR – Daten berechnete Aktivitätsvorrat wurde durch Multiplikation der Aktivitätskonzentration mit dem mittleren Umrechnungsfaktor ermittelt.*

Probenahmestelle	Aktivitätskonzentration Cäsium-137 in Bq/kg		Aktivitätsvorrat Cäsium-137 in Bq/m <sup>2</sup>	
	aus BGR-Daten	diese Arbeit	aus BGR-Daten berechnet	diese Arbeit
544004	41	59	3710	8560
554005	51	22	4560	3290
554006	111	150	9970	11700
564001	108	74	9720	6300

Berücksichtigt man, dass die genauen Probenahmestellen wahrscheinlich nicht wiedergefunden wurden bzw. diese möglicherweise verändert wurden, spiegeln die Resultate grundsätzlich die Ergebnisse des Programms von 1994 wieder. Für die weiteren Auswertungen wurden daher alle von der BGR ermittelten Aktivitätskonzentrationen zerfallskorrigiert und dann mit einem mittleren Umrechnungsfaktor von ca. 90 kg/m<sup>2</sup> multipliziert und so der Aktivitätsvorrat 2011 abgeschätzt. Diese Abschätzung ist mit einer Unsicherheit von ca. 50% behaftet.

### 3.3 Messdaten nach dem Strahlenschutzvorsorgegesetz (StrVG)

Im Rahmen des Routinemessprogrammes nach dem StrVG (RMP) werden regelmäßig Sondenstandorte des Ortsdosisleistungsmessnetzes des BfS angefahren und dort in-situ-gammaspektrometrische Messungen durchgeführt. Die Sondenstandorte befinden sich nicht auf land- oder forstwirtschaftlichen Flächen, sondern in der Regel in einem bebauten Gebiet (z.B. auf Freiflächen von Schwimmbädern). Die Historie der Flächen ist i. d. R. nur unzureichend bekannt, so dass es sich auch um bearbeiteten oder aufgeschütteten Boden handeln kann. Insofern ist für solche Standorte die Interpretation des nuklidspezifischen Dosisleistungsmesswertes eingeschränkt.

Außer den Sondenstandorten werden im RMP jedoch auch regelmäßig Weideflächen angefahren. Es werden in-situ-gammaspektrometrische Messungen durchgeführt und an einigen Stellen auch Bodenproben aus einer Tiefe von 0 – 10 cm entnommen (vgl.

[3]). Die Standorte sind wahrscheinlich seit dem Jahr 1986 nicht untergepflügt oder umgebrochen worden. An mehreren Stellen sind sowohl Zeitreihen der nuklidspezifischen ODL als auch der Aktivitätskonzentration vorhanden, die bis zum Jahr 1994 zurückreichen. Trotz Wechsels der Probenehmer, des Probenahmeverfahrens (Spaten, Bohrstock) und des in-situ-gammaspektrometrischen Messsystems (TR-6, Wingam, Insitu mit analoger und digitaler Messkette) sind die gewonnenen, zerfalls-korrigierten Daten annähernd konstant. Die typische relative Standardabweichung beträgt ca. 15% des Mittelwertes.

Zur zusätzlichen Validierung wurden an sieben Weideflächen und an sieben, ebenso regelmäßig beprobten benachbarten Ackerflächen (Entfernung i. d. R. kleiner 1 km) nach dem in 2. beschriebenen Verfahren Proben entnommen und Messungen durchgeführt. An je sechs der Weide- und Ackerflächen ergeben sich praktisch tiefenunabhängige Aktivitätsprofile. Der Aktivitätsvorrat beträgt im Mittel ca. 1200 Bq/m<sup>2</sup> und variiert von ca. 1000 bis ca. 1600 Bq/m<sup>2</sup>. In diesen Regionen ist also der Tschernobyl-bedingte Eintrag von Cäsium-137 klein gegenüber dem durchschnittlich angenommenen Kernwaffenfallout von 1400 Bq/m<sup>2</sup> [7]. An einem Flächenpaar im Norden des Vogtlandkreises ergeben sich jedoch höhere Aktivitätsvorräte von ca. 4000 Bq/m<sup>2</sup> und ein tiefenabhängiges Profil in der Weidefläche bzw. ein nahezu konstantes Profil in der Ackerfläche. Der Aktivitätsvorrat der Ackerfläche ist etwas kleiner als der Weidefläche. Dies könnte mit einer größeren Pflugtiefe als 30 cm erklärt werden.

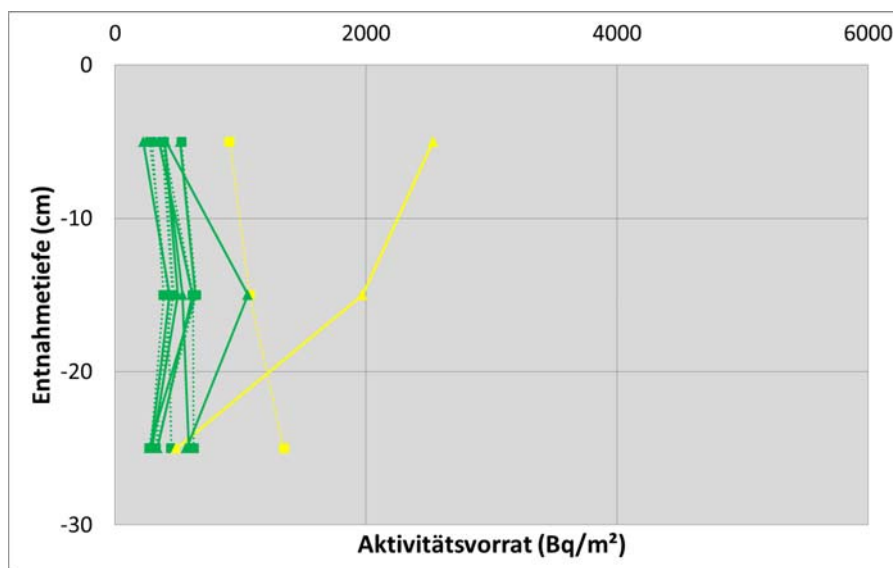


Abb. 2: Aktivitätsvorräte von Weide- und benachbarten Ackerflächen (punktiert: Ackerflächen; durchgezogen: Weideflächen; gelb: Standort im Norden des Vogtlandkreises).

Zur Umrechnung der nuklidspezifischen Dosisleistung von Weideflächen (oder auch von Sondenstandorten) in Aktivitätsvorräte wurde ein mittlerer Faktor von 3600 (Bq/m<sup>2</sup>)/(nGy/h) angenommen. Ähnlich wie bei den Messdaten der BGR ist bei dieser Umrechnung mit einer relativen Unsicherheit von bis zu 50% zu rechnen.



#### 4 Ergänzung durch Messdaten aus Waldregionen

Zur Ergänzung der vorhandenen Messdaten wurden entsprechend Kapitel 2 Untersuchungen auch in Waldregionen durchgeführt. Die Probenentnahmen erfolgten in Abstimmungen mit dem Staatsbetrieb Sachsenforst in der unmittelbaren Nähe der Punkte des Programms zur Bodenzustandserhebung (BZE). Diese Punkte sind ausführlich charakterisiert und dokumentiert [9]. Aktivitätskonzentrationen wurden bisher aber keine ermittelt. Der vorgesehene Beprobungsumfang zur Radioaktivitätsermittlung ist derzeit noch nicht abgeschlossen. Dieses Programm soll aber noch im Jahr 2013 zu Ende gebracht werden.

Im Vogtland und im Erzgebirge ist häufig eine starke Abnahme der Vorräte mit der Tiefe festzustellen. In einer Tiefe von 20 – 30 cm befindet sich ein Aktivitätsvorrat von bis zu 1000 Bq/m<sup>2</sup> oder mehr und damit z. T. deutlich mehr als in den Profilen in den anderen Regionen Sachsens mit wenigen 100 Bq/m<sup>2</sup>. Die Aktivitätsvorräte in diesen Tiefen sind wahrscheinlich größtenteils auf den Kernwaffenfallout zurückzuführen. Weitergehende Auswertungen (z. B. nach Bodentypen) sind bisher noch nicht erfolgt.

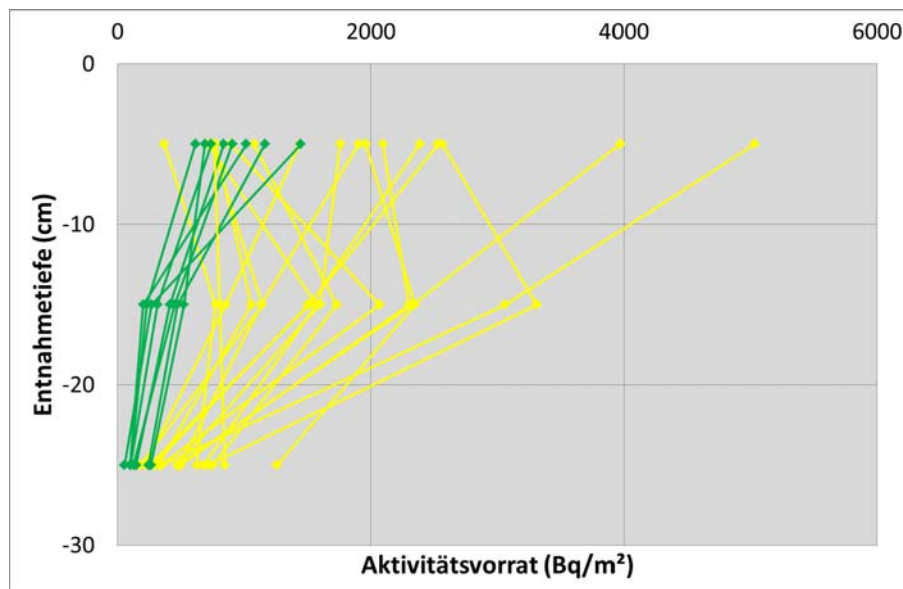


Abb. 3: Aktivitätsvorräte von Waldflächen (gelb: Standorte im Erzgebirge und Vogtlandkreis; grün: sonstige Standorte in Sachsen).

#### 5 Ergebnisse

Nach dem derzeitigen Stand der Datenerhebung und Auswertung lassen sich mit gewissen Abstrichen die Daten vergleichbar machen. Es lässt sich damit eine Karte des geschätzten Aktivitätsvorrates im Jahr 2011 erstellen. Gegenüber der WaBoLu-Karte des Jahres 1991 gehen derzeit zusätzlich zu den dort vorhandenen 184 Punkten weitere 234 Punkte in die Darstellung ein. Das gehäufte Auftreten relativ erhöhter Aktivitätsvorräte im Süden des Vogtlandkreises lässt sich dabei gut dokumentieren.

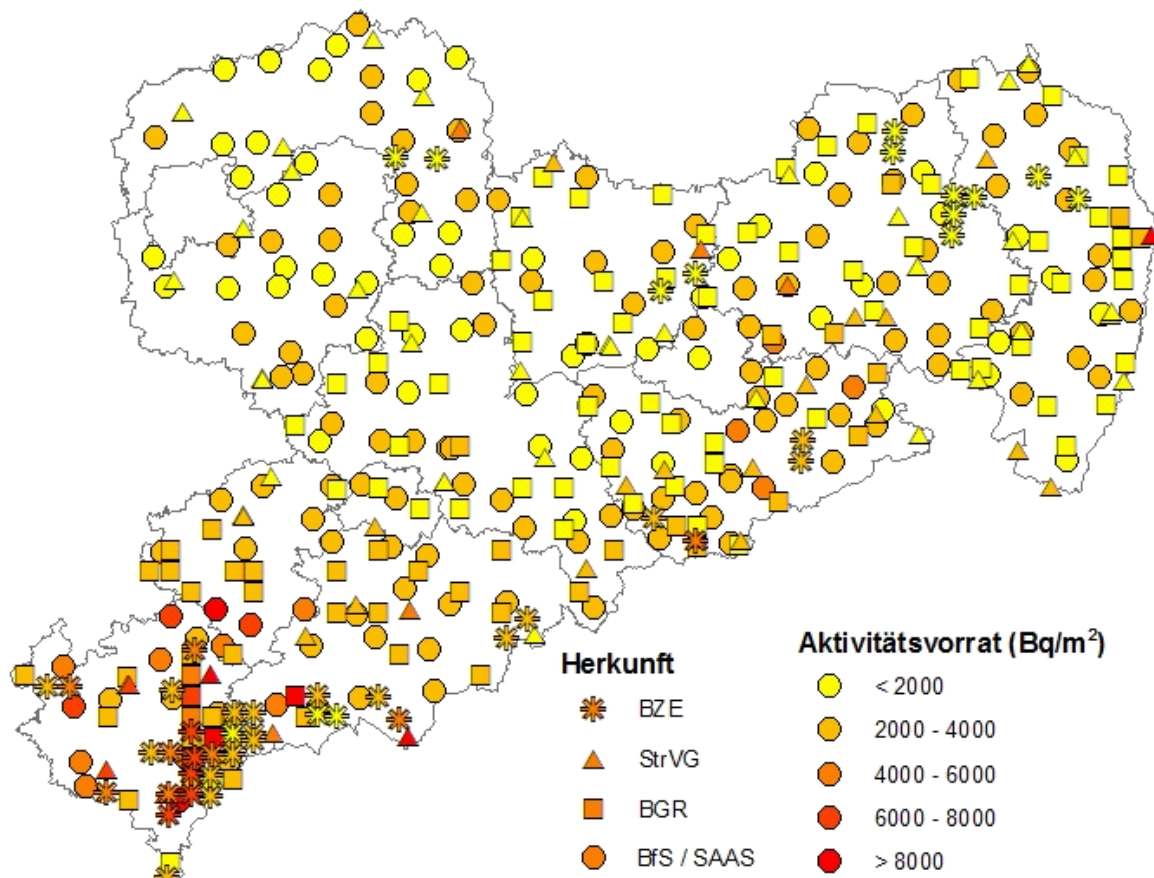


Abb. 4: Karte des geschätzten Cäsium-137-Aktivitätsvorrates im Jahr 2011

In Verbindung mit Kartenmaterial zum Waldreichtum [10] erscheint dies ein hilfreicher Ansatz zur Eingrenzung von Verdachtsgebieten, in denen saisonal gehäuft mit Überschreitungen des Höchstwertes für Cäsium-137 in Wildfleisch zu rechnen ist. Aktuell ist das behördliche Monitoringprogramm in Zusammenarbeit mit der Verwaltungsjagd auf Teile des Westerzgebirges erweitert worden.

## 7 Danksagung

Die Autoren möchten sich bedanken: bei den Probenehmern und Messtechnikern Herr Hampel, Herr Ladisch, Herr Bergmann und Frau Kieslich, bei den KollegInnen im Labor Herr Lange, Frau Nowak und Frau Gommlich und bei Frau Engert für die Datenbearbeitung und die Kartenerstellung.

Besonders zu danken ist auch Herrn Dr. Andreae vom Kompetenzzentrum Wald & Forstwirtschaft des Staatsbetriebs Sachsenforst für die detailliertere Beratung zu den BZE-Programmen und Standorten.

## 8 Literatur

- [1] EMPFEHLUNG DER KOMMISSION vom 14. April 2003 über den Schutz und die Unterrichtung der Bevölkerung in Bezug auf die Exposition durch die anhaltende Kontamination bestimmter wild vorkommender Nahrungsmittel mit radioaktivem Cäsium als Folge des Unfalls im Kernkraftwerk Tschernobyl (Bekannt gegeben

- unter Aktenzeichen K(2003) 510) (► C1 2003/274/Euratom ◀) (ABl. L 99 vom 17.4.2003, S. 55).
- [2] DIN ISO 18589-2:2009-02 „Ermittlung der Radioaktivität in der Umwelt - Erdboden - Teil 2: Leitlinie für die Auswahl der Probenahme-strategie, Probenahme und Vorbehandlung der Proben (ISO 18589-2:2007)“.
- [3] F-γ-SPEKT-BODEN-01:1998-11 „Verfahren zur gammaspektrometrischen Bestimmung von Radionukliden in Bodenproben“.
- [4] P. Spörlein, P. Wörfel, „Ergebnisse aus zwei Jahrzehnten Radioaktivitätsbodendauerbeobachtung“, S. 24ff in „Den Boden fest im Blick – 25 Jahre Bodendauerbeobachtung in Bayern“, Hrsg.: Bayerisches Landesamt für Umwelt, Eigendruck (2011)
- [5] B-IS-SPEKT-BODEN-01:1992-09 „Schnellmethode zur Bestimmung der nuklidspezifischen Anteile einer Bodenkontamination (In-situ-Gammaspektrometrie)“.
- [6] Karte zur Bodenkontamination mit Cs-137 nach dem KKW-Unfall in Tschernobyl; Quelle: BGA/WaBoLu-Messprogramm der Jahre 1986/1987 (I. Gans u. H. Viertel), Landesanstalt für Umweltschutz Baden-Württemberg, RWTH-Aachen (Herr Prof. Bonka ), BGA/ISH: in-situ-Messungen von (I. Winkelmann) sowie Daten des SAAS über das Gebiet der DDR.
- [7] N. Schleich, Tiefenverteilung von Radionukliden in Fichtenwald- und Hochmoorböden, Freiberg (Sachsen), Technische Universität, Dissertation, 2006.
- [8] Radionuklidbelastung der Böden in Sachsen, BMFT Forschungsvorhaben UR 1968 B7, Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe, Berlin/Hannover, 1994
- [9] Schriftenreihe des Landesforstpräsidiums Heft 28/2004 Bodenzustandserhebung (BZE) in den sächsischen Wäldern (erweiterte, aktualisierte Auflage), ISBN 3-932967-61-5
- [10] Bewaldungsprozente nach Städten und Gemeinden, Thematische Übersichtskarten des Staatsbetriebs Sachsenforst, [http://www.smul.sachsen.de/sbs/download/Bewaldungsprozente\\_nach\\_Staedten\\_und\\_Gemeinden.pdf](http://www.smul.sachsen.de/sbs/download/Bewaldungsprozente_nach_Staedten_und_Gemeinden.pdf) (2001)

## EINFLÜSSE AUF DIE AKKUMULATION VON RADIONUKLIDEN IN SEDIMENTEN UND BÖDEN

Dr. Bechtler, Ralf

*Landesanstalt für Umwelt, Messungen und Naturschutz Baden-Württemberg, LUBW*

### Kurzfassung

Seit den 1950-er Jahren gelangen messbare Aktivitäten künstlicher Radionuklide über die Atmosphäre und den Regen nachfolgend in Sedimente und Böden. Die im Laufe der Jahre gewachsenen Sedimente unberührter Gewässer und naturbelassene Böden sind besonders geeignet, um quasi im Zeitraffer die Aktivitätseinträge in verschiedenen Regionen zu erfassen. Die Bewertung der in derselben Region vorhandenen Deposition scheitert oft an den sehr schwankenden Aktivitätsgehalten in Sedimenten und Böden. Unterschiede in der mineralischen und elementaren Zusammensetzung beeinflussen die Adsorption von Radionukliden. Hierbei laufen folgende voneinander unabhängige Mechanismen ab:

- Zunächst Deposition von Radionukliden, wie z.B. Cs-137 auf der Bodenoberfläche.
- Durch die Niederschläge im Laufe der Jahre wird die Aktivität im Boden durch Adsorptions- und Desorptionseffekte chromatographisch nach unten transportiert.
- Sedimente im Gewässer wachsen, aufgrund von Partikeltransport und zivilisatorisch- biologischen Vorgängen, und es erfolgt eine Adsorption von Aktivitäten an der Matrix.

Im Boden kommt dem Element Kohlenstoff - gebunden als Total Organic Carbon (TOC) - eine Schlüsselfunktion zu. Zwischen TOC-Wert und dem Gehalt an Cs-137-Aktivität wurde ein Zusammenhang gefunden. Die organische Matrix bietet Adsorptionskapazität, sodass mit zunehmendem TOC-Gehalt die Aktivitätsgehalte zunehmen. In den Jahren 1993, 1999 und 2011 wurden 8 Standorte von naturbelassenen Böden auf Cs-137 untersucht. Rund 95% der Gesamtaktivität befand sich in den oberen 20cm des Bodens mit Maximum zwischen 4 und 12 cm. Von oben nach unten schwankte der TOC-Gehalt zwischen 7,5% und 0,6%.

Im Gegensatz zum Boden zeigen die Ergebnisse für 10 Sedimentproben, dass hier die Aktivitäten für Cs-137 nicht nur aufgrund steigender TOC-Werte erklärbar sind. Beim Aktivitätsmaximum zeigen die Elementanalysen einen zivilisatorischen Eintrag von zusätzlich 48 g/kg (TM) einer Summe aus Eisen (+24g/kg), Schwefel (+17g/kg), Stickstoff (+5g/kg) und Phosphor (+2g/kg), wobei hier die Dichte mit 0,67 am geringsten ist. Die höchste Dichte der getrockneten und homogenisierten Sedimentproben der oberen 30cm betrug 1,17. Die Aktivitätsgehalte schwanken um bis zu zwei Größenordnungen bei konstantem TOC-Gehalt und deutlichen Unterschieden in der mineralischen- und Elementzusammensetzung.

Die Analyse der Sediment- und Bodenproben entsprechend der Korngrößenverteilung zeigt, dass die größten Aktivitätsgehalte in der Fraktion 20-63µm vorgefunden wird. Unterhalb nimmt die spezifische Aktivität (Bq/g) weiter zu. Zwischen der Probenoberfläche und der Adsorption von Radionukliden wird ein direkter Zusammenhang gefunden. Oberhalb 63µm ist nur rund 10% vom Cs-137 gebunden.

## IMMISSIONSÜBERWACHUNG DER KERNREAKTOR- FERNÜBERWACHUNG BADEN-WÜRTTEMBERG

### REMOTE MONITORING OF NUCLEAR POWER PLANTS IN BADEN- WUERTTEMBERG

U. Neff<sup>1</sup>, U. Müller<sup>1</sup>, C. Mandel<sup>1</sup>, P. Coutinho<sup>1</sup>, C. Grimm<sup>2</sup>, M. Hagmann<sup>2</sup>,  
T. Wilbois<sup>3</sup>, Y. Ren<sup>3</sup>

<sup>1</sup>*Landesanstalt für Umwelt, Messungen und Naturschutz, Baden-Württemberg  
(LUBW)*

<sup>2</sup>*Ministerium für Umwelt, Klima und Energiewirtschaft, Baden-Württemberg (UM)*

<sup>3</sup>*T-Systems GEI GmbH, Ulm*

#### Zusammenfassung

Baden-Württemberg betreibt ein computergestütztes System zur Kernreaktor-Fernüberwachung (KFÜ). Neben den baden-württembergischen Kernkraftwerken Philippsburg, Neckarwestheim und dem im Rückbau befindlichen Standort Obrigheim wird auch das grenznahe Gebiet um die ausländischen Standorte Fessenheim in Frankreich sowie Leibstadt und Beznau in der Schweiz überwacht. Beim letzten Fachgespräch in Freiburg wurde ein Gesamtüberblick des KFÜ-Systems vorgestellt (Neff et al. 2009). Im diesjährigen Beitrag sollen die wichtigsten Änderungen seit dato dargestellt werden.

#### Summary

As part of its responsibilities as nuclear supervisory authority, the Ministry of the Environment, Climate Protection and the Energy Sector Baden-Wuerttemberg (UM) operates a computer-based system for remote monitoring of nuclear power plants (KFUe). In addition to the Baden-Wuerttemberg nuclear power plants located at Philippsburg, Neckarwestheim and the disused Obrigheim, also the foreign locations close to the border area, i.e. Fessenheim in France and Leibstadt and Beznau in Switzerland, are monitored. At the last meeting in Freiburg (Neff et al. 2009), an overview of the KFUe system was introduced. In this paper we want to present the the recent developments.

#### 1 Einleitung

Durch die gemeinsame Benutzung und Entwicklung des Systems bildet die KFÜ eine Schnittstelle der unterschiedlichen Benutzergruppen bei der Bewältigung ihrer Aufgaben rund um die Reaktorüberwachung:

- Die KFÜ dient dem UM zur Anlagenüberwachung durch eine zeitnahe Bereitstellung von Betriebs- und Emissionsdaten der Kernkraftwerke.
- Im kerntechnischen Notfallschutz liefert die KFÜ Ausbreitungsrechnungen und andere Informationen an die Elektronischen Lagedarstellung des Landes für die Stäbe des Notfallschutzes und deren Fachberater.

- Die Betreiber kerntechnischer Anlagen bekommen detaillierten Einblick in die Immissionsmessungen der Behörden.
- Im Simulationsmodus visualisiert die KFÜ Anlagen- und Umgebungsszenarien und steuert dadurch den zeitlichen Ablauf einer Übung.
- Immissionsüberwachung, Alarmierung, Datenaustausch und Messnetzadministration

Für die Immissionsüberwachung in der Umgebung der kerntechnischen Anlagen ist die LUBW zuständig. Neben der Online-Messung von Radioaerosolen betreibt sie hierzu ein Messnetz aus ODL-Funksonden. Ein Teil dieses Beitrags soll die KFÜ als Werkzeug der Messnetzadministration beleuchten und neue Projekte wie z.B. den mobilen Einsatz GPS-gestützter ODL-Sonden vorstellen.

Zusätzlich zu den eigenen Messnetzen tauscht die KFÜ mit zahlreichen Partnern in In- und Ausland Immissions- und Meteorologiedaten aus. Hier soll gezeigt werden, wie Daten unterschiedlicher Messnetze in der KFÜ harmonisiert, visualisiert und interpretiert werden und welche Vorteile den Entscheidungsträgern durch die Kombination unterschiedlicher Datenquellen entstehen.

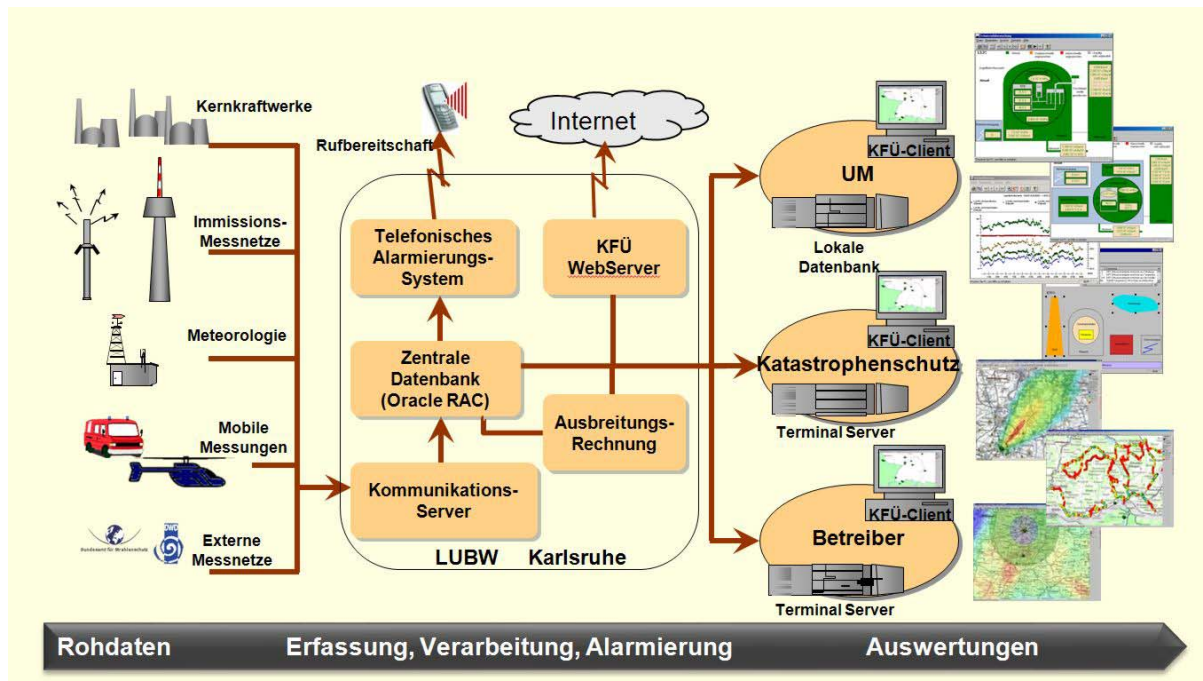


Abb. 1: Systemarchitektur der KFÜ Baden-Württemberg

## 2 Erweiterung des Datenaustauschs

Der Austausch der ODL-Daten mit Frankreich umfasst nun zusätzlich zu dem staatlichen Messnetz der IRSN (OPRI) die ODL-Daten aus den Messnetzen des Betreibers EDF, wie z.B. die ODL-Messwerte aus der Umgebung des Kernkraftwerks in Cattenom. Insgesamt sind 180 Stationen verfügbar. Die technische Herausforderung beim Import der Daten liegt dabei bei der Verarbeitung der unterschiedlichen und zeitlich variierenden Messintervalle. Die zentrale Datenbank der KFÜ ist jetzt in der Lage, die Einarbeitung der Daten entsprechend flexibel an die Messzyklen anzupassen.



Der zeitliche Verlauf der Messwerte konnte die Ergebnisse des BfS, die auf dem Schauinsland gemessen wurden, bestätigen (Abb.3)

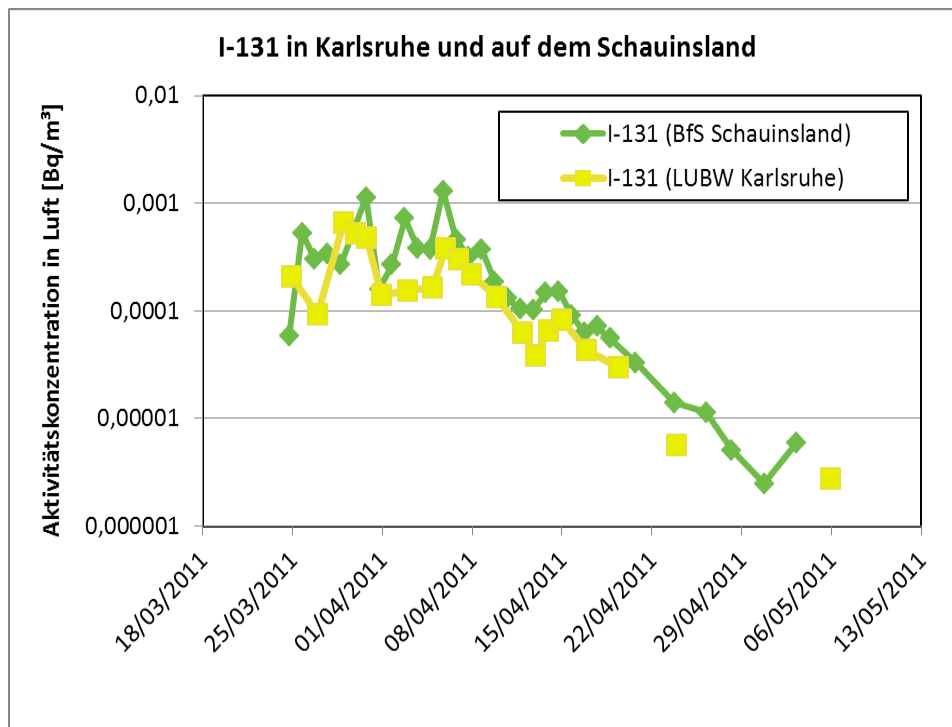


Abb. 3: Ergebnisse der Radioaerosol-Messungen im April 2011

## 5 Messwerte Online

Die Messwerte aus dem ODL- und Radioaerosol-Messnetz sind seit April 2011 zeitnah auf der Webseite des UM dargestellt (<http://www.um.baden-wuerttemberg.de/servlet/is/79471/>). Die Zeitreihen im Stundentakt werden dort zeitnah und ungefiltert veröffentlicht.

## 6 Spektroskopische ODL-Sonden

Im Sommer 2013 startet ein Projekt, das die Verwendung von spektroskopierenden Sonden im Messnetzbetrieb der KFÜ prüft. In einer Studien- bzw. Bachelorarbeit werden unterschiedliche Sonden mit verschiedenen Detektormaterialien gegenübergestellt. Eine Zusammenarbeit mit dem BfS Freiburg wird angestrebt, das auf diesem Themengebiet bereits Erfahrungen sammelt. Der von den Sonden gelieferte Nuklidvektor soll bei der Abschätzung eines Quellterms für die Ausbreitungsrechnung helfen und gegebenenfalls für eine Validierung der prognostizierten Bodenkontamination anhand von Messwerten sorgen.

## 7 Ausblick

Im Projekt „Handydosimeter“ – Messung von Gammastrahlung mit Hilfe von CCD-Chips in Smartphones erfolgt eine Anbindung der App „Radioactivity Counter“ an die Datenverarbeitung der KFÜ. Ähnlich der NBR-Spuren der ABC-Erkunder oder der Hubschraubermessungen des BfS können die mit dem Smartphone gemessenen



Werte als Spuren auf der Karte und als Zeitverläufe dargestellt werden. Geplant sind eine Weiterentwicklung der App und eine Verarbeitung von Massendaten im radiologischen Notfall zur Unterstützung der Notfallstationen.

Die Client-Software der KFÜ wird im Laufe des Jahres 2013 an den aktuellen Stand der Technik angepasst. Neben der Erneuerung des GIS-Moduls werden auch Änderungen der Bedienoberfläche durchgeführt.

## **8 Literatur:**

- [1] U. Neff , H. Pohl, R. Obrecht, T. Wilbois, W. Scheuermann, C. Krass, F. Chaves: Die Rolle der Kernreaktor-Fernüberwachung Baden-Württemberg als Instrument der atomrechtlichen Aufsicht und im kerntechnischen Notfallschutz. 14. Fachgespräch zur Überwachung der Umweltradioaktivität, Freiburg, 2009.

## EMISSIONS- UND IMMISSIONSÜBERWACHUNG DER SCHACHTANLAGE ASSE II

### RADIOLOGICAL MONITORING OF THE ASSE MINE

D. Esch<sup>1</sup>, J. Gerler<sup>1</sup>, C. Wittwer<sup>1</sup>

<sup>1</sup>*Bundesamt für Strahlenschutz, Salzgitter, Deutschland*

#### Zusammenfassung

Die Schachtanlage Asse II ist ein ehemaliges Salzbergwerk bei Wolfenbüttel in Niedersachsen. Von 1967 bis 1978 wurden 125.787 Gebinde mit schwach- und mittelradioaktiven Abfällen in das Bergwerk eingelagert.

Im Jahr 1988 wurde der Zutritt salzgesättigter Lösungen in das Bergwerk festgestellt. Hinzu kommt, dass die Abbaukammern selbst durch die Gebirgsbewegung instabil werden. Zudem sind unkontrollierbare Grundwassereinbrüche nicht auszuschließen. In der vom Bundestag verabschiedeten Neufassung des § 57b AtG wird die Rückholung der radioaktiven Abfälle aus der Schachtanlage Asse II als Vorzugsoption im Hinblick auf die sichere Stilllegung festgeschrieben. Die Planung und Realisierung der Rückholung wird jedoch noch viele Jahre benötigen. Daher ist es erforderlich, die Schachtanlage weiter offen zu halten (Offenhaltungsbetrieb).

Die eingelagerten Abfälle setzen flüchtige radioaktive Stoffe frei (hauptsächlich H-3, C-14-Verbindungen und Rn-222), die in die bewetterten Grubenbereiche gelangen und mit den Abwettern abgeleitet werden. Über Austauschprozesse kann ein Teil der flüchtigen radioaktiven Stoffe zudem in die wässrigen Zutrittslösungen übergehen. Die Aktivitätskonzentration in den Grubenwettern und in den Zutrittslösungen wird messtechnisch überwacht. Das Messprogramm wird dargestellt und die durch die abgeleiteten radioaktiven Stoffe verursachte potentielle Strahlenexposition im Hinblick auf den Schutz der Bevölkerung und der Umwelt bewertet.

#### Summary

The Asse II Mine is a former Saltmine close to the City of Wolfenbuettel in Lower Saxony, Germany. Between 1967 and 1978 125.787 packages filled with low-level and intermediate-level radioactive waste were emplaced in the mining plant.

An inflow of saline solutions into the mining plant can be ascertained since 1988. Moreover, the chambers themselves are becoming instable through the rock movement. Additionally, there exists a danger of an uncontrolled inflow of groundwater. According to the amended version of § 57b AtG, passed by the German Federal Parliament, the retrieval of the waste is indicated as priority operation option concerning the safe decommissioning. Definitely, scheduling and realisation will take many years. Therefore, the operation of the mine under regard of radiation protection and mining law safety is necessary.

Volatile radioactive substances like H-3, C-14 and Rn-222 are released from the emplaced waste. These substances reach the ventilated parts of the mine and are released with the discharge air. Additionally, a part of the volatile radioactive substances can reach the diluted influx solution via exchange processes. There exists an instrumented surveillance of the activity concentration within the mine air and the influx solutions. Finally, the monitoring program and the potential radiation exposure caused by the discharged radioactive substances will be evaluated with regard to the protection of population and environment.

## **1 Abgabepfade radioaktiver Stoffe in die Umwelt**

Die Verpackungen der in der Schachanlage Asse II eingelagerten radioaktiven Abfälle (in der Regel Rollreifenfässer, Rollsickenfässer und Blechtrommeln aus Stahl) dienen primär dem sicheren Antransport der Abfälle über Schiene und Straße und waren nicht als technisch (gas)-dichte Barriere konzipiert.

Messungen der Aktivitätskonzentration radioaktiver Stoffe in der Grubenluft (Wetter) belegen, dass aus den eingelagerten radioaktiven Abfälle flüchtige radioaktive Stoffe entweichen (hauptsächlich H-3, C-14-Verbindungen, Rn-222) und über Wegsamkeiten aus den verschlossenen und zum Teil verfüllten Einlagerungskammern in die bewetterten Grubenbereiche gelangen sowie mit den Abwettern in die Umgebung abgeleitet werden.

Um das sukzessive Volllaufen des Bergwerks zu verhindern, werden monatlich ca. 350 m<sup>3</sup> der aufgefangenen Zutrittslösung an das Bergwerk Maria Glück zur Verwertung abgegeben. Ein weiterer Teil der Zutrittslösung wird in der Schachanlage Asse II verwertet oder soll, falls sie mit radioaktiven Stoffen kontaminiert ist, als radioaktiver Abfall entsorgt werden.

Bedingt durch physikalisch-chemische Austauschprozesse gelangt ein Teil der aus den Abfällen entweichenden radioaktiven Stoffe, insbesondere H-3, über die Wetter in die Zutrittslösungen.

## **2 Schutz der Bevölkerung und Umwelt**

Zum Schutz der Bevölkerung und der Umwelt regelt § 48 der Strahlenschutzverordnung (StrlSchV) [6], dass die Ableitung radioaktiver Stoffe aus der Schachanlage Asse II in die Umgebung zu überwachen ist. Wie dabei vorzugehen ist, ist in der Richtlinie zur Emissions- und Immissionsüberwachung kerntechnischer Anlagen (REI) [5] festgelegt. Weitere Vorgaben gehen aus dem Genehmigungsbescheid für die Schachanlage Asse II über den Umgang mit radioaktiven Stoffen gemäß § 7 Strahlenschutzverordnung [4] hervor.

In der Genehmigung für die Schachanlage Asse II über den Umgang mit Kernbrennstoffen nach § 9 Atomgesetz (AtG) [7] wurden für die Ableitung radioaktiver Stoffe mit der Fortluft maximale Aktivitätsmengen festgelegt (Tab.1). Die tatsächlichen Ableitungen im Jahr 2011 waren deutlich geringer.

*Tabelle 1: Genehmigungswerte für die Ableitung radioaktiver Stoffe mit der Fortluft und Emission radioaktiver Stoffe im Jahr 2011 für die Schachtanlage Asse II*

<b>Radionuklid</b>	<b>Genehmigte Ableitung in Bq/a</b>	<b>Emission radioaktiver Stoffe im Jahr 2011 in Bq/a</b>
H-3	1,0 E+12	4,2 E+10
C-14	1,0 E+10	1,3 E+09
Edelgase (i.W. Rn-222)	1,0 E+12	1,1 E+11
Aerosole*	1,0 E+07	2,2 E+06
* ohne Be-7 und ohne kurzlebige Radonfolgeprodukte		

## 2.1 Messprogramme zur Emissions- und Immissionsüberwachung

Zur Emissionsüberwachung ist im Abwetterbauwerk (Diffusor), über das die Grubenluft aus der Schachtanlage geleitet wird, eine Probeentnahmeeinrichtung installiert [Abb. 1], über die kontinuierlich ein Teilluftstrom zu den Probensammlern und Messgeräten geleitet wird.



*Abb. 1: Probeentnahmeeinrichtung im Abwetterbauwerk der Schachtanlage Asse II*

Die Ableitungen radioaktiver Stoffe mit den Abwettern (Emissionen) aus der Schachtanlage Asse II werden durch das BfS als Genehmigungsinhaber gemäß dem in Tabelle 2 dargestellten Messprogramm überwacht.

Tabelle 2: Messprogramm des BfS zur Emissionsüberwachung

Messobjekt	Messsystem	Nachweisgrenze
Radioaktive Aerosole (Monitoring)	Großflächen-Filter-Sammler mit gleichzeitiger Messung der Alpha- und Beta-Gesamtpulsrate	Messbereich 4 bis $4 \times 10^3$ Bq/m <sup>3</sup>
Radon 222 (Gas)	Ionisationskammerprinzip	Messbereich 10 bis $10^3$ Bq/m <sup>3</sup>
Radioaktive Aerosole (Bilanzierung)	a) Großflächen-Filter-Sammler (14-tägiger Filterwechsel) - Alpha-Gesamttaktivität - Beta-Gesamttaktivität - Einzelnuklidanalyse durch Gamma-Spektrometrie im Energiebereich von 40 - 1500 keV	0,2 mBq/m <sup>3</sup> (bezogen auf Am-241) 0,2 mBq/m <sup>3</sup> (bezogen auf Sr-90) 0,1 mBq/m <sup>3</sup> (bezogen auf Co-60)
	b) Filter-Sammler (halbjährliche Auswertung) - Einzelnuklidanalyse durch Gamma-Spektrometrie im Energiebereich von 40 - 1500 keV - Pu-Analyse einschließlich Am-241 (Beprobtes Volumen: 20.000 m <sup>3</sup> )	4 µBq/m <sup>3</sup> (bezogen auf Co-60) 2 µBq/m <sup>3</sup>
	c) Filter-Sammler (Stichprobe alle 5 Jahre) - Sr-90-Analyse	1 mBq/m <sup>3</sup>
Tritium	Luftfeuchte Kondensat	0,2 Bq/m <sup>3</sup>
Tritium Kohlenstoff 14	Molekularsieb-Sammler Molekularsieb-Sammler	1 Bq/m <sup>3</sup> 0,2 Bq/m <sup>3</sup>

Für die Immissionsüberwachung sind gemäß REI [5] zwei Messprogramme durchzuführen: ein Programm, das vom Genehmigungsinhaber BfS durchzuführen ist und ein ergänzendes und kontrollierendes Programm, das von einer unabhängigen Messstelle durchzuführen ist.

Das Messprogramm des BfS ist auf die drei Umweltbereiche Luft, Boden und Wasser ausgerichtet.

Die Immissionsüberwachung erfolgt über ein engmaschiges Kontrollnetz in der Umgebung der Schachanlage Asse, siehe BfS 2011; Asse Einblicke Nr. 12; [2].

Ergänzend zu den gesetzlich geforderten Überwachungsmaßnahmen erfolgt als vertrauensbildende Maßnahme eine zusätzliche Umgebungsüberwachung durch die LUFA Nord-West (2009 bis 2011) und seit 2012 durch die LUFA ITL GmbH (2012). Die Ergebnisse werden in Jahresberichten veröffentlicht, die auf der Internetseite des BfS zur Schachanlage Asse II veröffentlicht sind (<http://www.endlager-asse.de>).

Um den bei der Bevölkerung vorhandenen Ängsten zu begegnen, hat das BfS nach der Übernahme der Betreiberverantwortung unmittelbar an der Schachtanlage Asse II oberirdisch eine Gamma-Ortsdosisleistung (ODL) -Messsonde installiert, wie sie ansonsten auf der Basis des Strahlenschutzvorsorgegesetzes vom BfS zur Überwachung der Umweltradioaktivität betrieben wird. Auf ausdrücklichen Wunsch der Bevölkerung wurden zudem rund um die Schachtanlage Asse II sechs weitere Messsonden aufgestellt, obwohl ein messtechnischer Nachweis von radioaktiven Stoffen aus der Schachtanlage Asse II in der Umwelt im Normalbetrieb nicht zu erwarten ist (siehe folgendes Kap 3).

Außerdem führte die Leitstelle Trinkwasser des BfS bis Ende 2011 monatliche Untersuchungen des Trinkwassers der Gemeinde Kissenbrück auf H-3 und Cs-137 durch, solange diese über eine Wasserversorgung aus lokalen Brunnen verfügte. Dies erfolgte als vertrauensbildende Maßnahme auf Wunsch der Gemeinde. Mittlerweile erfolgt die Trinkwasserversorgung der Gemeinde über eine Fernwasserleitung.

### 3 Bewertung der Messergebnisse

Der Genehmigungsinhaber BfS und die unabhängige Messstelle stellen die Messergebnisse aus der Emissions- und Immissionsüberwachung in Quartals- und Jahresberichten dar und legen diese der zuständigen Behörde vor.

Zusätzlich werden die Ergebnisse im Jahresbericht „Strahlenschutz und Umgebungsüberwachung im Bereich der Schachtanlage Asse II“ dargestellt [3].

Die mit der Fortluft aus der Schachtanlage Asse II abgeleiteten Radionuklide führen zu keiner messtechnisch erfassbaren Erhöhung der Radionuklidkonzentration in der Umgebung. Auch an den ODL-Messsonden sind keine auffälligen Abweichungen vom normalen Strahlungspegel festzustellen.

Die potenzielle Strahlenexposition der Bevölkerung wird den gesetzlichen Vorgaben entsprechend [8] unter Verwendung von konservativen Rechenmodellen aus den gemessenen Ableitungen berechnet, um die Unterschreitung der Dosisgrenzwerte der StrlSchV belegen zu können.

*Tabelle 3: Nach AVV [8] ermittelte potentielle Strahlenexposition durch Ableitung radioaktiver Stoffe aus der Schachtanlage Asse II im Jahr 2011.*

	<b>Potentielle Strahlenexposition in der Umgebung durch die Ableitung radioaktiver Stoffe im Jahr 2011 in <math>\mu\text{Sv/a}</math> (Effektive Dosis)</b>				
Nuklid / Altersgruppe	H-3	C-14	Pb-210	Rn-222	Summe
Erwachsene (>17 Jahre)	0,16	4,0	2,6	11	18
Kleinkinder (1 bis 2 Jahre)	0,28	7,1	7,9	11	26
Säuglinge ( $\leq 1$ Jahr)	0,39	5,3	15	11	32

Für das Jahr 2011 z.B. zeigen diese Berechnungen, dass die maximale effektive Dosis für die kritische Altersgruppe (Säugling  $\leq 1$  Jahr) mit  $32 \mu\text{Sv/Jahr}$  deutlich unter

dem zulässigen Grenzwert von 300  $\mu\text{Sv/a}$  gemäß § 47 StrlSchV liegt. Für alle anderen Altersgruppen sind die errechneten Werte für die potenzielle Strahlenexposition noch geringer.

Dennoch erfolgen als vertrauensbildende Maßnahmen ergänzende Untersuchungen (Futtermittel, Grundwasser) und zusätzliche ODL-Messungen in der Umgebung der Schachtanlage Asse, die über die gesetzlichen und fachlichen Erfordernisse hinausgehen.

#### **4 Freigabe von Zutrittslösung**

Aus der Schachtanlage Asse II werden keine Radionuklide mit Wasser abgeleitet. Die Entsorgung der Zutrittslösung erfolgt über Freigaben gemäß § 29 StrlSchV.

Die Freigabe darf nur erfolgen, wenn sicher gestellt ist, dass hierbei für Einzelpersonen der Bevölkerung nur eine effektive Dosis im Bereich von 10 Mikrosievert im Kalenderjahr auftreten kann. Der Nachweis hierüber wurde im Rahmen einer Einzelfallbetrachtung erbracht, wobei die Expositionsszenarien „Verwertung der Zutrittslösung in den Gruben Maria Glück oder Teutschenthal“, „Herstellung von Sorelbeton und Verbleib unter Tage“, „Einleitung der Zutrittslösung in Abwasserkanäle und Vorfluter“ und „Trinken der Zutrittslösung“ betrachtet wurden. Als Freigabewert, der unabhängig von der gewählten Verwertungs- oder Entsorgungsoption ist, wurde jeweils nuklidspezifisch der niedrigste Wert aus allen szenarienspezifischen Freigabewerten zugrunde gelegt. Für das Nuklid H-3 wurde so z.B. ein abdeckender Freigabewert von 10.000 Bq/l abgeleitet.

Derzeit wird die Zutrittslösung bei der Flutung des ehemaligen Salzbergwerkes Maria Glück verwertet. Die in der abgegebenen Zutrittslösung gemessene H-3 Aktivitätskonzentration beträgt meist weniger als 10 Bq/l und liegt damit mehrere Größenordnungen unter den Werten, für die durch Modellberechnungen nachgewiesen wurde, dass das Schutzziel der StrlSchV für die Freigabe radioaktiver Stoffe aus der strahlenschutzrechtlichen Überwachung (§ 29 StrlSchV) eingehalten wird.

#### **5 Veröffentlichung der Messwerte und Ergebnisse**

Auf der Internetseite des BfS zur Schachtanlage Asse II kann sich jede Bürgerin und jeder Bürger über die Messwerte der ODL-Messsonden informieren (<http://www.endlager-asse.de>). Die Jahresberichte „Strahlenschutz und Umgebungsüberwachung im Bereich der Schachtanlage Asse II“ der Asse GmbH, die Quartals- und Jahresberichte der Asse GmbH zur Emissions- und Immissionsüberwachung gemäß REI und der unabhängigen Messstelle sowie die Berichte der LUFA über die zusätzliche Umgebungsüberwachung sind dort ebenfalls einsehbar.

#### **6 Fazit**

Die Ableitungen aus der Schachtanlage Asse II werden gemäß den gesetzlichen Vorgaben messtechnisch überwacht. Berechnungen zeigen, dass die maximale potenzielle Strahlenexposition deutlich unter den zulässigen Grenzwerten der Strahlenschutzverordnung liegt. Als vertrauensbildende Maßnahmen erfolgen ergänzende Untersuchungen (Futtermittel, Grundwasser) und zusätzliche ODL-Messungen in der

Umgebung der Schachanlage Asse II, die über die gesetzlichen Erfordernisse hinausgehen.

Eine transparente und umfassende Information der Öffentlichkeit wird insbesondere über eine Info-Stelle („Info Asse“), ein Infomobil, eine Internetpräsentation und Info-Broschüren gewährleistet.

## 7 Literatur

- [1] AtG, 2011: Gesetz über friedliche Verwendung der Kernenergie und Schutz gegen ihre Gefahren (Atomgesetz) in der Fassung der Bekanntmachung vom 15. Juli 1985 (BGBl. I S. 1565) zuletzt geändert durch Art. 4 G über die Neuordnung des Geräte- und Produktsicherheitsrechts vom 8. November 2011 (BGBI. I S. 2178).
- [2] BfS, 2011: Asse Einblicke Nr 12 – Informationsschrift zum Endlager Asse II, Wie die Asse und die Region überwacht werden, Salzgitter, März 2011 (<http://www.endlager-asse.de/SharedDocs/Publikationen>).
- [3] BfS, 2012: Strahlenschutz und Umgebungsüberwachung im Bereich der Schachanlage Asse II - Jahresbericht 2011, Bundesamt für Strahlenschutz (BfS), Stand 06.09.2012 (<http://www.endlager-asse.de/SharedDocs/Downloads/DE/Umgebungsueberwachung>).
- [4] NMU, 2010: Genehmigungsbescheid für die Schachanlage Asse II, Bescheid 1/2010, Umgang mit radioaktiven Stoffen gemäß § 7 Strahlenschutzverordnung (StrlSchV), Niedersächsisches Ministerium für Umwelt und Klimaschutz (NMU), Hannover, 08.07.2010 (<http://www.endlager-asse.de/SharedDocs/Downloads/DE/Genehmigungsunterlagen/>).
- [5] REI, 2005: Richtlinie zur Emissions- und Immissionsüberwachung kerntechnischer Anlagen vom 7. Dezember 2005 (GMBI. 2006, Nr. 14-17, S. 254).
- [6] StrlSchV, 2011: Verordnung über den Schutz vor Schäden durch ionisierende Strahlen (Strahlenschutzverordnung): Vom 20. Juli 2001 (BGBl. I. S. 1714, ber. BGBl. 2002 I S. 1459) zuletzt geändert durch Art. 1 VO zur Änd. Strahlenschutzrechtlicher VO vom 4.10.2011 (BGBl I S. 2000).
- [7] NMU, 2011: Genehmigungsbescheid für die Schachanlage Asse II, Bescheid 1/2011, Umgang mit Kernbrennstoffen gemäß § 9 Atomgesetz (AtG), Niedersächsisches Ministerium für Umwelt und Klimaschutz (NMU), Hannover, 21.04.2011 (<http://www.endlager-asse.de/SharedDocs/Downloads/DE/Genehmigungsunterlagen/>).
- [8] BMU, 2012: Allgemeine Verwaltungsvorschrift (AVV) zu § 47 StrlSchV, vom 28.08.2012.



## **UNTERSUCHUNG VON LANDWIRTSCHAFTLICHEN PRODUKTEN AUS DER UMGEBUNG DER SCHACHTANLAGE ASSE II**

### **INVESTIGATION ON AGRICULTURAL PRODUCTS IN THE VICINITY OF THE ASSE II MINE**

J. Gerler, C. Wittwer  
*Bundesamt für Strahlenschutz, Salzgitter, Deutschland*

#### **Zusammenfassung**

Landwirtschaftliche Produkte aus der Umgebung der Schachanlage Asse II sind nicht stärker mit Radionukliden belastet als vergleichbare Produkte aus anderen Regionen Niedersachsens. Dies ist das Ergebnis von Untersuchungen, die seit 2009 auf Wunsch der Bevölkerung von einem Institut des öffentlichen Vertrauens in der Umgebung der Schachanlage Asse II zusätzlich zu den Überwachungsmaßnahmen gemäß REI durchgeführt werden.

#### **Summary**

Agricultural products in the vicinity of the Asse II mine are not more contaminated than similar products from other regions in Lower Saxony. This is the result of investigations, carried out in the surrounding of the Asse II mine by an institute of public confidence since 2009 in addition to the protection survey according to the directive on emission and immission monitoring regarding nuclear facilities (REI).

#### **1 Einleitung**

Dem Bundesamt für Strahlenschutz wurde im Jahr 2009 die Zuständigkeit für den Betrieb und die Stilllegung der Schachanlage Asse II übertragen. Zum damaligen Zeitpunkt bestand bei der Bevölkerung in der Umgebung der Schachanlage eine erhebliche Verunsicherung hinsichtlich der Gefährdung, die von den in der Asse eingelagerten radioaktiven Abfällen ausgeht. Kritische Bürger hinterfragten die bedenkenlose Verzehrbarkeit von Nahrungsmittel aus dem lokalen Anbau und die Landwirte der Region berichteten über Schwierigkeiten bei der Vermarktung ihrer Erzeugnisse. Die offiziellen Überwachungsmaßnahmen gemäß REI wurden von den örtlichen Landwirten als nicht ausreichend erachtet, um das Vertrauen in die Qualität ihrer Erzeugnisse wieder herzustellen und um Wettbewerbsnachteile auszugleichen.

Die Bezirksstelle Braunschweig der Landwirtschaftskammer Niedersachsen schlug damals vor, die vom Betreiber der Schachanlage und einer unabhängigen Messstelle durchgeführte punktuelle Überwachung gemäß REI an ungünstigsten Einwirkungsstellen durch Untersuchungen in der Fläche zu ergänzen. Diese Untersuchungen sollten von einem Institut, das das Vertrauen der Bevölkerung besaß, durchgeführt und insbesondere auf die lokalen landwirtschaftlichen Erzeugnisse und

die landwirtschaftlichen Produktionsgrundlagen ausgerichtet werden. Ein derartiges zusätzliches Untersuchungsprogramm wurde im Jahr 2009 gestartet, nachdem sich sowohl die Mitglieder der Arbeitsgemeinschaft Umgebungsüberwachung Schachtanlage Asse II als auch zahlreiche weitere Beteiligte dafür ausgesprochen hatten. Es war zunächst auf drei Jahre ausgelegt und wurde 2012 um weitere drei Jahre verlängert.

## **2 Ziele, Untersuchungsprogramm und Beteiligte**

### **2.1 Ziele**

Mit den zusätzlich zu den Überwachungsmaßnahmen gemäß REI durchgeführten Untersuchungen an landwirtschaftlichen und gärtnerischen Produkten aus der Umgebung der Schachtanlage Asse II sollte Ängsten in der Bevölkerung vor radioaktiven Emissionen aus der Schachtanlage Asse II begegnet und das Vertrauen in die regionalen landwirtschaftlichen und gärtnerischen Produkte gestärkt werden.

### **2.1 Untersuchungsprogramm**

Das Untersuchungsprogramm wurde mit den Mitgliedern der Arbeitsgemeinschaft (AG) „Umgebungsüberwachung Schachtanlage Asse“ abgestimmt. Es umfasste die Medien Gras, Mais, Getreide, Raps, Zuckerrüben, Milch, Gemüse, Obst, Wasser, Boden, Laub und Nadeln. Die Medien sollten möglichst zweimal jährlich in einem Umkreis von 20 km um die Schachtanlage Asse II beprobt werden. Aufgrund der pflanzenspezifischen Vegetationsperioden war dieses Ziel nicht immer realisierbar.

Die Probenahmedichte sollte so gewählt werden, dass in den Entfernungsabschnitten bis 1 km, von 1 - 5 km und von 5 - 20 km jeweils annähernd die gleiche Anzahl an Proben genommen wird. Es zeigte sich allerdings, dass bestimmte Nahrungsmittel nicht in allen Abschnitten zur Verfügung standen. Beispielsweise gab es in der näheren Umgebung der Schachtanlage Asse II keine milcherzeugenden Betriebe, so dass die Kuhmilchproben überwiegend nur in größerer Entfernung von der Schachtanlage genommen werden konnten.

Die Probennahme wurde von speziell geschulten Mitarbeitern der Bezirksstelle Braunschweig der Landwirtschaftskammer Niedersachsen gemäß den Vorgaben der Messanleitungen des BMU für die Überwachung der Radioaktivität in der Umwelt durchgeführt.

In Tabelle 1 ist die Anzahl der in den Jahren 2009 bis 2011 in den jeweiligen Entfernungen von der Schachtanlage Asse II gewonnenen Proben dargestellt. Abbildung 1 zeigt die Probenahmeorte im Jahr 2011, aufgeschlüsselt nach der Probenart.

Alle Proben wurden im Labor der LUFA Nord-West sowohl gammaspektrometrisch als auch bezüglich Sr-90 untersucht. Bei Wasserproben wurde zusätzlich eine Tritium-Bestimmung durchgeführt.

Tabelle 1: Anzahl der Probenahmen in den Jahren 2009 bis 2011 im Umkreis von 0-1 km, 1-5 km und 5-20 km um die Schachtanlage Asse II [1] [2] [3].

Probenart	Probenahmen 2009				Probenahmen 2010				Probenahmen 2011			
	0-1 km	1-5 km	5-20 km	Σ	0-1 km	1-5 km	5-20 km	Σ	0-1 km	1-5 km	5-20 km	Σ
Gras	8	8	8	24	10	8	8	26	8	8	8	24
Mais	0	8	4	12	2	6	4	12	2	6	4	12
Getreide	5	3	3	12	4	5	4	13	4	4	4	12
Raps	4	5	4	13	4	4	4	12	2	7	3	12
Zuckerrüben	1	7	4	12	2	6	4	12	2	6	4	12
Gemüse	0	9	15	24	0	8	17	25	0	6	18	24
Obst	0	10	2	12	0	8	4	12	0	11	1	12
Laub	4	4	0	8	3	5	0	8	3	5	0	8
Nadeln	3	5	0	8	4	4	0	8	4	4	0	8
Milch	0	0	16	16	0	0	16	16	0	0	16	16
Wasser	2	26	1	29	2	26	2	30	3	26	1	30
Boden	8	8	8	24	8	8	8	24	8	8	8	24
Summe	35	93	66	194	39	88	71	198	35	91	68	194

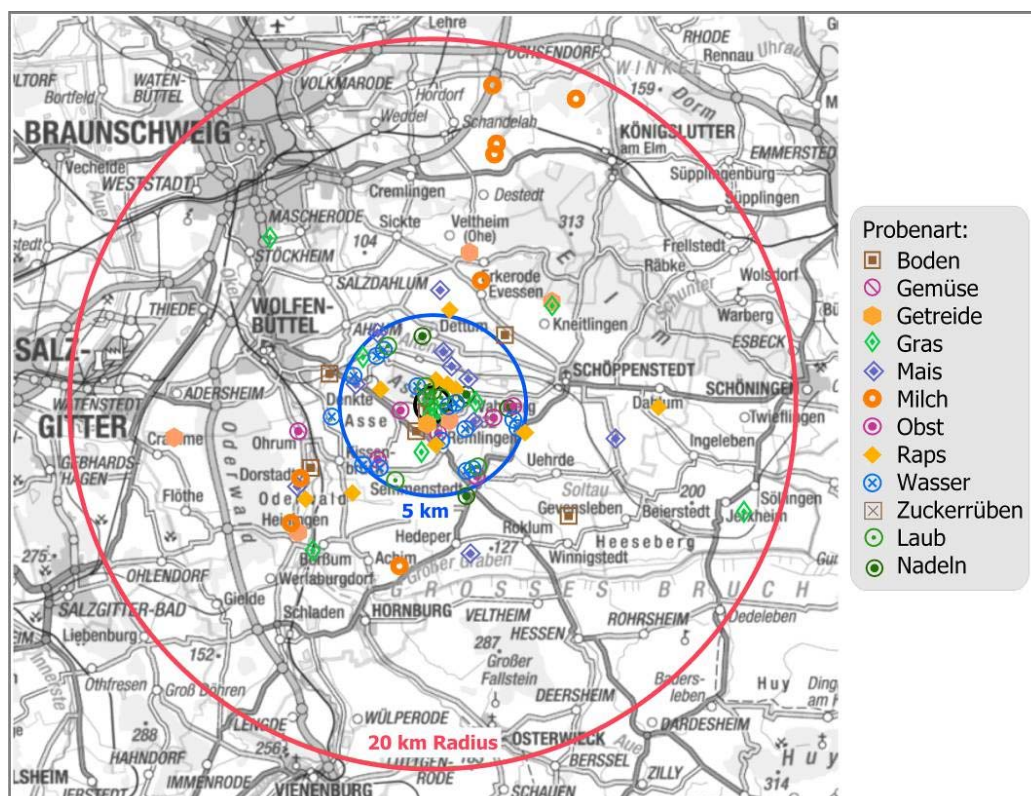


Abb. 1: Probenahmeorte der zusätzlichen Umgebungsüberwachung im Jahr 2011. Schachtanlage Asse II im Zentrum. Daten nach [1].

### 2.3 Beteiligte

Die Untersuchungen wurden in den Jahren 2009 bis 2011 von der LUFA Nord-West, Institut für Futtermittel, in Zusammenarbeit mit der Bezirksstelle Braunschweig der Landwirtschaftskammer Niedersachsen durchgeführt, wobei letztere die Probenahme organisiert und realisiert hat. Die Probenbeschaffung war in Einzelfällen schwieriger als erwartet, weil die Untersuchungen nicht von allen Landwirten ausnahmslos unterstützt wurden.

Seit 2012 werden die Untersuchungen von der LUFA-ITL GmbH mit Sitz in Kiel durchgeführt.

An den Untersuchungen haben sich neben den Landwirten der Region zahlreiche Bürgerinnen und Bürger durch die Bereitstellung von Probenmaterial beteiligt. Die Arbeitsgemeinschaft „Umgebungsüberwachung Schachtanlage Asse“ war bei der Abstimmung des Untersuchungsprogramms involviert. Die Ausschreibung und Vergabe der Leistungen erfolgte durch die Endlagerüberwachung im BfS.

## 3 Ergebnisse

Die Bereitsteller von Probenmaterial wurden nach Abschluss der Untersuchungen von der LUFA Nord-West über die Ergebnisse informiert. Dazu hat die LUFA einen standardisierten radiologischen Prüfbericht mit den Ergebnissen der gamma-spektrometrischen Messung und der Sr-90-Bestimmung sowie ggf. der H-3-Bestimmung (nur Wasserproben) verschickt, der jeweils eine kurze radiologische Bewertung der Ergebnisse enthielt. Nähere Informationen zu einzelnen Nukliden konnten einer Anlage zum Prüfbericht entnommen werden.

Über die Ergebnisse wurde außerdem regelmäßig bei den Treffen der AG Umgebungsüberwachung Asse sowie in Form von Jahresberichten [1] [2] [3] informiert.

Die LUFA Nord-West hat in den Proben neben natürlich vorkommenden Radionukliden wie K-40 und Ra-226 nur die künstlichen Radionuklide Cs-137 und Sr-90 in wechselnder Häufigkeit und Aktivitätskonzentration nachgewiesen. Die Aktivitätskonzentration von Tritium lag in den Wasserproben stets unterhalb der Nachweisgrenze von 10 Bq/l.

In den Tabellen 2 und 3 sind die in den Jahren 2009 bis 2011 gemessenen Aktivitätskonzentrationen von Cs-137 und Sr-90 für jede Probenart und aufgeschlüsselt nach der Entfernung von der Schachtanlage Asse II dargestellt.

Die spezifischen Aktivitäten bzw. Aktivitätskonzentrationen des Radionuklids Cs-137 sind in den untersuchten Medien sehr variabel. In den Getreide-, Obst- und Wasserproben konnte Cs-137 in keinem Fall nachgewiesen werden. Auch in den Raps- und Mais-Proben sind die spezifischen Cs-137-Aktivitäten mehrheitlich sehr niedrig ( $<0,01$  -  $0,06$  Bq/kg FM bzw. in einem Fall  $0,74$  Bq/kg FM). In den Gemüse-, Gras-, Zuckerrüben- und Laub/Nadel-Proben konnte Cs-137 etwas häufiger nachgewiesen werden. Die spezifischen Aktivitäten lagen zwischen  $<0,01$  Bq/kg und maximal  $0,30$  Bq/kg (Gemüse),  $<0,01$  und  $0,47$  Bq/kg (Zuckerrüben),  $<0,01$  und  $1,1$  Bq/kg (Gras) und  $<0,01$  und  $2,1$  Bq/kg (Laub/Nadeln). In den Milchproben wurden Cs-137-Werte zwi-

schen <0,01 Bq/l und 0,45 Bq/l gemessen. Für die Bodenproben ergaben sich Cs-137-Messwerte zwischen 4 Bq/kg TM und 12 Bq/kg TM.

*Tabelle 2: Mittlere, minimale und maximale Aktivitätskonzentration von Cs-137 in den Proben der Jahre 2009 bis 2011. Angaben in Bq/kg FM, Boden in Bq/kg TM, Wasser und Milch in Bq/l. Daten nach [1] [2] [3].*

Probenart	Mittelwert			Minimum			Maximum		
	0-1 km	1-5 km	5-20 km	0-1 km	1-5 km	5-20 km	0-1 km	1-5 km	5-20 km
Gras	0,04	0,04	0,05	<0,01	<0,01	<0,01	0,46	0,71	1,1
Mais	<0,01	<0,01	0,09	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	0,74
Getreide	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
Raps	<0,01	0,03	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	0,06	<0,01
Zuckerrüben	0,22	0,10	0,07	0,03	<0,01	<0,01	0,47	0,27	0,33
Gemüse	n.b.	0,04	0,03	n.b.	<0,01	<0,01	n.b.	0,30	0,22
Obst	n.b.	<0,01	<0,01	n.b.	<0,01	<0,01	n.b.	<0,01	<0,01
Laub/Nadeln	0,5	0,01	n.b.	<0,01	<0,01	n.b.	2,1	1,4	n.b.
Milch	n.b.	n.b.	0,02	n.b.	n.b.	<0,01	n.b.	n.b.	0,45
Wasser	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
Boden	7,3	8,3	6,7	5	5	4	9	12	11

n.b. nicht bestimmt.

*Tabelle 3: Mittlere, minimale und maximale Aktivitätskonzentration von Sr-90 in den Proben der Jahre 2009 bis 2011. Angaben in Bq/kg FM, Boden in Bq/kg TM, Wasser und Milch in Bq/l. Daten nach [1] [2] [3].*

Probenart	Mittelwert			Minimum			Maximum		
	0-1 km	1-5 km	5-20 km	0-1 km	1-5 km	5-20 km	0-1 km	1-5 km	5-20 km
Gras	0,45	0,41	0,44	0,10	0,18	0,13	1,12	1,05	1,58
Mais	0,18	0,16	0,16	0,12	0,08	0,04	0,20	0,31	0,39
Getreide	0,07	0,06	0,10	0,02	0,02	0,02	0,27	0,10	0,27
Raps	0,33	0,30	0,36	0,27	0,19	0,26	0,55	0,46	0,55
Zuckerrüben	0,12	0,06	0,08	0,07	0,04	0,05	0,16	0,11	0,12
Gemüse	n.b.	0,10	0,12	n.b.	0,03	<0,04	n.b.	0,26	0,39
Obst	n.b.	<0,04	<0,04	n.b.	<0,04	<0,04	n.b.	0,01	0,02
Laub / Nadeln	1,95	1,62	n.b.	0,88	0,50	n.b.	5,84	3,70	n.b.
Milch	n.b.	n.b.	<0,01	n.b.	n.b.	<0,01	n.b.	n.b.	0,01
Wasser	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
Boden	0,91	1,48	1,45	0,20	0,28	0,28	2,51	10,00	8,48

n.b. nicht bestimmt.

Beim Radionuklid Sr-90 war die Aktivitätskonzentration in den untersuchten Wasserproben sehr gering. Die Aktivitätskonzentration lag in jeder Probe unterhalb der Nachweisgrenze von 0,01 Bq/l. Sehr niedrige Sr-90-Werte wurden auch in den Obstproben (maximal 0,02 Bq/kg FM) und in den Milchproben (maximal 0,01 Bq/l) gemessen. In den übrigen Proben variierten die Sr-90-Werte zwischen 0,02 und 0,27 Bq/kg (Getreide), 0,04 und 0,16 Bq/kg (Zuckerrüben), <0,04 und 0,39 Bq/kg (Gemüse), 0,04 und 0,39 Bq/kg (Mais), 0,19 und 0,55 Bq/kg (Raps) bzw. 0,10 und 1,6 Bq/kg (Gras). Die Bodenproben ergaben Sr-90-Werte zwischen 0,20 und 10,0 Bq/kg TM.

Die spezifischen Cs-137- und Sr-90-Aktivitäten bzw. Aktivitätskonzentrationen sind in den in den Jahren 2009 bis 2011 untersuchten Proben aus der Umgebung der Schachtanlage Asse II nicht höher als in vergleichbaren Proben aus anderen Regionen Niedersachsens. Die Kontamination des Bodens und der Futter-/Nahrungsmittel mit Cs-137 ist im Wesentlichen auf den Reaktorunfall in Tschernobyl zurückzuführen, während die Sr-90-Kontamination vorrangig ein Relikt der oberirdischen Kernwaffentests ist.

Die Kontamination durch Cs-137 und Sr-90 ist in Proben aus dem Nahbereich der Schachtanlage Asse II nicht höher als in Proben aus dem weiteren Umkreis. Dies zeigt, dass die z.T. messbare Kontamination der landwirtschaftlichen Erzeugnisse mit Cs-137 und Sr-90 nicht durch Radionuklidausträge aus der Schachtanlage Asse II verursacht wurde. Ob die geringfügig höheren Cs-137-Werte in einigen Laub/Nadelproben aus dem Nahbereich der Schachtanlage signifikant sind, werden die weiteren Untersuchungen zeigen.

#### **4 Fazit**

Seit 2009 werden in der Umgebung der Schachtanlage Asse II von einem Institut, das das Vertrauen der Bevölkerung genießt, Überwachungsmaßnahmen an landwirtschaftlichen und gärtnerischen Produkten durchgeführt. Diese Überwachungsmaßnahmen ergänzen die vom Betreiber der Schachtanlage und einer unabhängigen Messstelle durchgeführte punktuelle Überwachungen gemäß REI an ungünstigen Einwirkungsstellen.

Die ergänzenden Untersuchungen haben gezeigt, dass die Kontamination der landwirtschaftlichen und gärtnerischen Produkte aus der Umgebung der Schachtanlage Asse II mit Radionukliden nicht höher ist als bei vergleichbaren Produkten aus anderen Regionen Niedersachsens. Ein Aktivitätseintrag aus der Schachtanlage Asse II war bei den untersuchten Nahrungs- und Futtermitteln nicht nachweisbar.

Mit dem zusätzlichen Überwachungsprogramm konnte das Vertrauen in die lokal erzeugten landwirtschaftlichen und gärtnerischen Produkte gestärkt werden. Die beim Übergang der Zuständigkeit für die Schachtanlage Asse II auf das BfS in der Bevölkerung noch vorhandenen Ängste hinsichtlich der Aufnahme von aus der Schachtanlage freigesetzten Radionukliden mit der Nahrung wurden mit den zusätzlichen Messungen nicht gänzlich beseitigt, aber erheblich reduziert.

## 5 Literatur

- [1] Landwirtschaftskammer Bezirksstelle Braunschweig und LUFA Nord-West, Institut für Futtermittel, Bereich Rückstandsanalytik, Zusätzliche Umgebungsüberwachung im Bereich des Endlagers Asse, Bericht für das Jahr 2011, Oldenburg, 22.05.2012.
- [2] Landwirtschaftskammer Bezirksstelle Braunschweig und LUFA Nord-West, Institut für Futtermittel, Bereich Rückstandsanalytik, Zusätzliche Umgebungsüberwachung im Bereich des Endlagers Asse, Bericht für das Jahr 2010 Oldenburg, 18.04.2011.
- [3] Landwirtschaftskammer Bezirksstelle Braunschweig und LUFA Nord-West, Institut für Futtermittel, Bereich Rückstandsanalytik, Zusätzliche Umgebungsüberwachung im Bereich des Endlagers Asse, Bericht für das Jahr 2009 Oldenburg, 07.04.2010.

## KONTINUIERLICHE MESSUNGEN AUF DEM ERDBODEN DEPONIERTER RADIONUKLIDE MITTELS IN-SITU- GAMMASPEKTROMETRIE

### CONTINUOUS MEASUREMENTS OF DEPOSITED RADIONUCLIDES BY USING IN-SITU-GAMMA RAY SPECTROMETRY

M. Mirsch, J. Barth, A. Dalheimer, T. Steinkopff  
*Deutscher Wetterdienst, Frankfurter Straße 135, 63067 Offenbach, Deutschland*

#### **Zusammenfassung**

Der Deutsche Wetterdienst (DWD) hat gemäß der Allgemeinen Verwaltungsvorschrift zum Integrierten Mess- und Informationssystem zur Überwachung der Radioaktivität in der Umwelt (AVV-IMIS) die Aufgabe an seinen Radioaktivitätsmessstellen die auf dem Erdboden deponierten Radionuklide zu messen. Diese Messungen ergänzen die Messungen durch mobile Messeinheiten des Bundesamtes für Strahlenschutz (BfS) und der Bundesländer. Das Messprogramm wird in ein Routine- und ein Intensivmessprogramm unterschieden.

Die Messungen wurden bislang an 38 Messstellen im Routinemessprogramm monatlich durchgeführt. Im Fall eines kerntechnischen Ereignisses wird das Intensivmessprogramm verwendet. Die Messergebnisse werden dann im Zweistundentakt an das BfS weitergeleitet.

Ein Messeinsatz war bisher erst nach der Installation der Komponenten in der Messhütte und einer Einkühlzeit des Germaniumdetektors von ca. 6 Stunden möglich.

Im Rahmen eines Projekts zur Teilautomatisierung der Radioaktivitätsüberwachung wurden die Komponenten der In-situ-Gammaspektrometrie an den Messstellen fest in den Messhütten installiert. Die Kühlung des Detektors mit flüssigem Stickstoff wurde auf elektrische Kühlung umgestellt. Außerdem wurde die Messhütte klimatisiert, um den Einfluss wechselnder Außentemperaturen zu minimieren.

#### **Summary**

According to regulations within the Integrated Measurement and Information System for the Surveillance of Radioactivity in the Environment (IMIS) the DWD (Deutscher Wetterdienst, German Meteorological Service) has the task to measure deposited radionuclides on the ground. This task is performed at 38 measurement sites. Similar measurements are performed by mobile units of the Federal Office for Radiation Protection (BfS) and the German Federal States. The measurement routines are divided into two modes: the normal mode for the standard operation and the intense mode which is activated in case of a nuclear accident. So far the measurements were done in the normal mode each month. In case of an emergency the data is sent to the BfS every two hours.



Until now the measurements could only be started if all components were installed and the detector was cooled for six hours. Now the components of the In-situ-gamma ray spectrometry are firmly installed in the instrument huts at the measuring sites. Additionally the cooling of the detectors was switched from a cooling by liquid nitrogen to an electric cooling. Further, an air conditioning was installed to minimize the influence of changing ambient temperature.

## **1 Die Ausgangsbedingungen für ein automatisiertes In-situ-Gammaspektrometriesystem**

Der DWD hat gemäß AVV-IMIS [1] an seinen Messstationen In-situ-Gammaspektrometriemessungen durchzuführen. Die Standorte der Messstationen sind in Abbildung 1 dargestellt. Zusätzlich zu diesen Messungen führen mobile Messeinheiten des Bundesamtes für Strahlenschutz (BfS) und der Bundesländer In-situ-Gammaspektrometriemessungen durch.

Die Messeinheiten bestehen aus tragbaren Germaniumdetektoren (15%-relative Effizienz), integrierten Vielkanalanalysatoren und den Auswerteeinheiten. Die Komponenten wurden bei den Messeinsätzen in Messhütten auf den Messfeldern der DWD-Stationen installiert, der Auswerterechner befand sich im Stationsgebäude. Der Auswerterechner war mit der Messhütte verbunden und konnte Messergebnisse direkt an die Zentrale des DWD versenden. Zwischen den Messeinsätzen wurden alle Komponenten in den Stationsgebäuden gelagert. Dadurch waren die Systeme nicht ständig messbereit. Monatliche Funktionstests über viele Jahre ergaben Verfügbarkeiten der In-situ-Messsysteme von bis zu 85 %.

Durch die strategische Maßnahme der Personaleinsparung an den Messstellen des DWD wurde das Personal an einigen Stationen reduziert. Dies hatte zur Folge, dass Stationen nur noch zu bestimmten Zeiten besetzt waren. Die in der AVV-IMIS geforderte ständige Messbereitschaft konnte daher nur durch eine Automatisierung der In-situ-Gammaspektrometrie erfüllt werden. Dies wurde umgesetzt, in dem die Kühlung des Detektors von flüssigem Stickstoff durch ein elektrisches Kühlsystem ersetzt wurde. Außerdem wurden die Messtechnikkomponenten fest in den Messhütten installiert. Das händige Nachfüllen von flüssigem Stickstoff entfällt damit und die Systeme lassen sich ohne manuelle Eingriffe dauerhaft betreiben.

## Insitu Messnetz

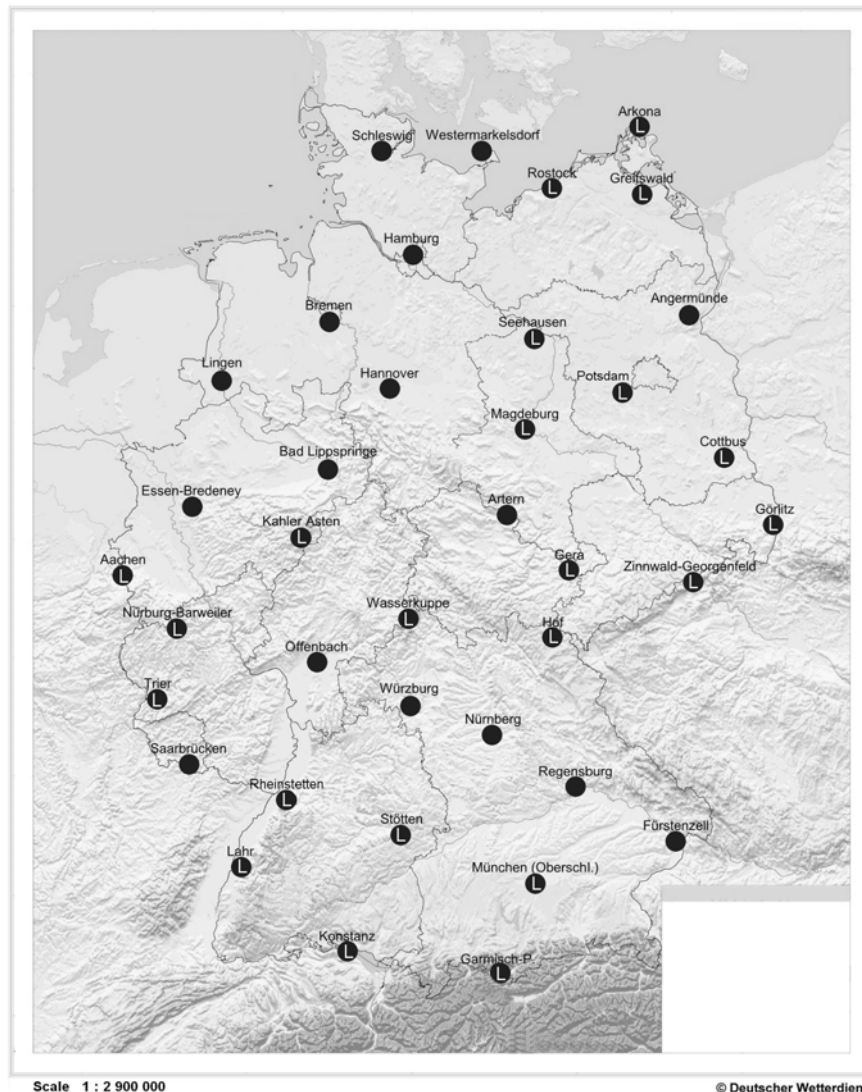


Abbildung 1: In-situ-Gammaspektrometriemessnetz des DWD (L: Systeme mit Vielkanalanalysator Lynx, andere Stationen Inspector2000)

## 2 Die Entwicklung des Systems

Neue Möglichkeiten boten sich an durch die mittlerweile verlässlicheren Systeme zur elektrischen Kühlung von Germaniumdetektoren. Dazu wurden Kühlsysteme der Firma Ortec eingesetzt (X-Cooler). Der DWD kann einheitlich für alle Gammaspektrometrieapplikationen Poptop-Detektoren der Firma Ortec und die Gammaspektrometrie-Software Genie-2k der Firma Canberra Eurisys einsetzen. Das Kühlsystem ist kompatibel mit der Poptop-Produktlinie. Es ist von seinen Abmessungen für den Einsatz in der Messhütte geeignet. Durch die Entkopplung des Kühlsystems vom Detektor werden Mikrophonieeffekte vermieden. Letztendlich ist die Wirtschaftlichkeit des Systems hervorzuheben.

Zur Automatisierung der In-situ-Messungen wurden das elektrische Kühlsystem, der X-Cooler (Ortec, CFG-X-COOL-III-230), der Germaniumdetektor (Ortec, GEM15P4-70-S), ein Vielkanalanalysator (Canberra Eurisys, Inspector 2000 bzw. Lynx) und Komponenten für die Datenübertragung (Ethernet Industrie-Switches, Typ: Hirschmann Managed Industrial Ethernet Rail-Switch: RS20-0400M2T1SDAE; Lichtwellenleiter-Kabel auf einer Spleißbox Serie FIMP, Firma eks Engel GmbH & Co. KG) in die vorhandenen Messhütten eingebaut (Abbildung 2).

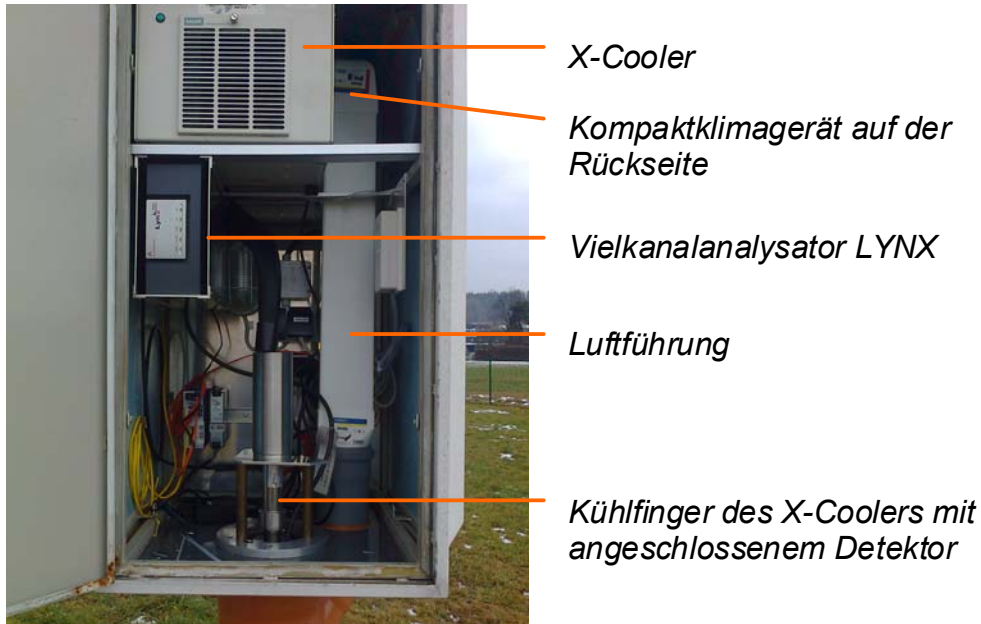


Abbildung 2: Messhütte mit eingebauten Komponenten

Für ganzjährige Messeinsätze ist die Klimatisierung des Hüttenraumes erforderlich. Temperaturunterschiede von  $-20^{\circ}\text{C}$  im Winter bis Temperaturen von über  $+40^{\circ}\text{C}$  bei Sonneneinstrahlung und die Abwärme des Kompressors des X-Coolers führten zu Energieverschiebungen in den Spektren. Mit den üblichen Stabilisierungsfunktionen der Spektrometrie-Software konnten diese nicht mehr abgefangen werden. Ein Temperaturunterschied von  $5^{\circ}\text{C}$  im Bereich der Detektorendkappe ergibt eine Energieverschiebung im Spektrum von ca. 1 keV. Die Messhütten wurden deshalb mit Kompaktklimasplitgeräten ausgestattet, mit getrennten Kreisläufen für Raumluft und Außenluft. Die Abwärme der X-Cooler reichte nicht aus, um in Wintermonaten die Messhütten ausreichend zu beheizen, weshalb Klimaanlage mit der Funktion heizen/kühlen und einer Temperaturregelung gewählt wurden. Ein Temperaturengleich in dem geringen Raumvolumen ist auf Grund des hohen Temperaturgradienten und der geringen Luftzirkulation in der Messhütte nicht möglich. Daher wurde ein PC-Lüfter integriert, der für eine zusätzliche Durchmischung der Luft sorgt. Der Detektor mit seiner Endkappe, der nach unten aus der Messhütte herausragt, ist durch ein doppelwandiges, isoliertes Kunststoffrohr geschützt und über einen Bypass-Luftkanal mit temperierter Luft umströmt (siehe Abbildung 3). Der analoge Vorverstärker in der Detektorendkappe ist das temperaturempfindlichste Glied und muss daher besonders gut temperiert sein.

Das entwickelte System wurde als Prototyp mehrjährigen Tests an den Wetterstationen in Garmisch-Partenkirchen und in Offenbach unterzogen und ist in den Jahren 2011 bis 2013 an allen 38 In-situ-Messstellen des DWD aufgebaut worden. Insbe-

sondere an Stationen mit hohen Temperaturgradienten im Tagesgang konnte das beschriebene System erprobt werden

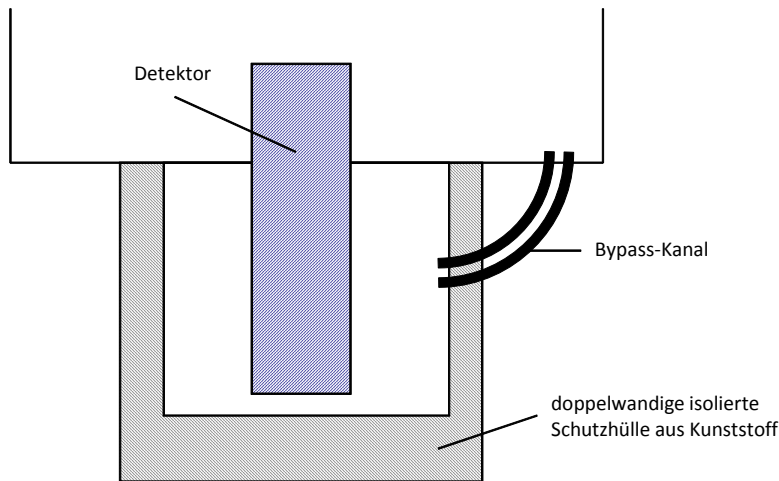


Abbildung 3: Klimatisierter Detektorschutz

### 3 Erfahrungen

Erfahrungen mit dem elektrisch gekühlten Gammaskpektrometriemesssystem im operationellen Betrieb liegen für die Jahre 2007 bis 2012 vor. Die Stromkosten für die elektrische Kühlung liegen in der Größenordnung der Kosten für die Kühlung mit flüssigem Stickstoff. Die Gefährdung durch den Umgang mit flüssigem Stickstoff entfällt. Durch die Automatisierung werden Bedienungsfehler minimiert. Die Einsatzbereitschaft ist direkt gegeben. Vor der Automatisierung war ein Vorlauf von 6 Stunden nötig. Zwischenzeitlich wurden größere Ausfallraten der elektrischen Kühlsysteme beim X-Cooler Typ II festgestellt und Nachbesserungen wurden notwendig. Der inzwischen erhältliche Typ III dieses Gerätes arbeitet nach bisherigen Erfahrungen wieder stabil. Insgesamt liegt die Verfügbarkeit der Systeme momentan bei 95%.

### 4 Ausblick

Zur Plausibilisierung der Messergebnisse sind Zusatzinformationen über Parameter der Messung und der Umgebung notwendig. Deshalb soll eine Systemüberwachung realisiert werden, die die Systemzustände ermittelt und diese an eine zentrale Stelle übermittelt. Die folgenden Zusatzinformationen und Parameter wurden hierfür definiert:

Datenübertragung von Parametern, der Genie-2K-Spektrometriesoftware:

- Nuklidvektor (Prüfung der K-40 Linie auf Vorhandensein)
- Halbwertsbreiten (HWB) von Eu-152-Linien bei 121 keV ( $0,7\text{keV} < \text{HWB} < 1,5\text{keV}$ ) und bei 1408 keV ( $1,7\text{keV} < \text{HWB} < 2,5\text{keV}$ )
- Totzeit der Messung (maximal 3%)

ferner Parameter der Messumgebung des Detektors:

- Temperatur des Detektorkristalls

- Umgebungstemperatur in der Messhütte
- Luftfeuchtigkeit in der Messhütte

Eine Software zur Anzeige der Parameter ist geplant. Die verwendete Spektrometrie-Software Genie-2K der Firma Canberra Eurisys, soll um ein Dienstprogramm erweitert werden mit dem automatisch und kontinuierlich Messungen ausgeführt werden.

## **5 Schlussfolgerungen**

Die elektrisch gekühlten Gammaskpektrometriesysteme sind dauerhaft im Einsatz. Stickstoffnachfüllung oder Auf- und Abbau sind nicht mehr erforderlich. Das System ist ständig sofort messbereit.

Durch den stationären und dauerhaften Aufbau sind Messintervalle ab 15 Minuten möglich. Die Messintervalle können verlängert werden, um niedrigere Nachweisgrenzen zu erreichen.

Die kontinuierliche Messung der auf dem Erdboden deponierten gammastrahlenden Radionuklide mit der In-situ-Gammaskpektrometrie erreicht eine Nachweisgrenze von 200 Bq/m<sup>2</sup> (bezogen auf Co-60), wie in der AVV-IMIS gefordert.

Der Personaleinsparung an den Messstellen stehen ein höherer Wartungsaufwand und der Einsatz von Servicepersonal im Falle von Störungen gegenüber.

## **6 Danksagung**

Der Dank geht an alle Kollegen, die an der Entwicklung und am Aufbau des Systems beteiligt waren.

## **7 Literaturangaben**

- [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

## ÜBERSICHT DER IN IMIS VORHANDENEN DATEN

### OVERVIEW OF DATA AVAILABLE IN IMIS

G. Rösler

*Bundesamt für Strahlenschutz, Oberschleißheim, Deutschland*

#### **Zusammenfassung**

Im Integrierten Mess- und Informationssystem zur Überwachung der Umweltradioaktivität (IMIS) sind Daten, Dokumente und Berichte im Wesentlichen nach dem Strahlenschutzvorsorgegesetz mit der AVV-IMIS und der Richtlinie zur Emissions- und Immissionsüberwachung kerntechnischer Einrichtungen (REI) vorhanden. Darüber hinaus gibt es Daten aus Messprogrammen der Länder, die in IMIS auch zur Verfügung gestellt werden.

#### **Summary**

The Integrated Measuring and Information System (IMIS) contains mainly data, documents and reports according to the Precautionary Radiation Protection Act (StrVG) and the Emission and Immission Monitoring of Nuclear Facilities (REI). There are different mechanism to control and guarantee the quality of the stored data.

#### **Dateninhalte und Zeitzyklen der Datenerhebung**

Neben den Daten gibt es auch Dokumente und Berichte im IMIS-Dokumentensystem. Darunter finden sich u.a. Emissions- und Immissionsberichte (REI-Berichtsarchiv) als pdf-Dateien und DWD-Ausbreitungsprognosen sowie viele weitere Dokumente. Die Abbildung zeigt eine Zusammenfassung der Dateninhalte (IMIS-Datenbank) und die Zeitzyklen der Datenerfassung.

#### **Maßnahmen zur Qualitätssicherung**

In IMIS greifen verschiedene Mechanismen zur Qualitätssicherung der Daten, Dokumente und Berichte wie z.B. Konsistenzprüfungen im IT-System oder Plausibilitätsprüfungen durch verschiedene Stellen („Vier-Augen-Prinzip“).

nach StrVG		
<b>online-Messungen</b>		
<b>RB d IB 2h</b>	<b>BfS</b>	ODL
	<b>DWD</b>	Aerosole nuklidspezifisch $\gamma$ ges. $\alpha$ ges. $\beta$
		gasförmige Komponenten gasförmiges Iod Niederschlag in-situ
	<b>BfG</b>	Wasser in Fließgewässern (Gesamtbeta, Gesamtgamma)
<b>BSH</b>	Meerwasser (Gesamtgamma)	
<b>Probenahmen</b>		
<b>BfG (§2)</b>	Schwebstoffe Sediment Wasser in Fließgewässern (Gammaskpektr., ges. $\alpha$ , H-3, Sr-90)	
<b>DWD</b>	Spurenmessungen in Luft	
<b>PTB</b>	Spurenmessungen in Luft -Aerosole (Gammaskpektr., Iod)	
<b>BSH</b>	Meerwasser (Sr-90, nuklidspez. $\alpha$ , H-3, Gammaskpektr.)	
	Meeressediment (nuklidspez. $\alpha$ , Gammaskpektr.)	
<b>Länder (§3)</b>	Nahrungsmittel pflanzl. und tier. Herkunft	
	Futtermittel	
	Indikatormedien	
	Boden	
	Wasser	
	Schwebstoffe und Sedimente	
	Trinkwasser	
	Abwässer und Abfälle aus Kläranlagen, Deponien und Verbrennungsanlagen	
	Importierte Nahrungsmittel und Futtermittelrohstoffe	
<b>Weitmaschiges Messprogramm (sparse-net)</b>		
<b>Leitstellen und Länder</b>	Luftgetragene Teilchen	
	Gamma-Ortsdosisleistung	
	Oberflächenwasser	
	Trinkwasser	
	Milch	
	Gesamtnahrung	
<b>Umgebungsüberwachung nach der REI:</b>		
<b>Betreiber + unabh. MST</b>	Dosimeter	
	online-Messungen	
	Probenahmen	
<b>ausländische Daten</b>		
<b>Proben nach Landesmessprogrammen</b>		

Abb. 1: Zusammenfassung der Dateninhalte (IMIS-Datenbank) und die Zeitzyklen der Datenerfassung

## LANGLEBIGE $\alpha$ -AKTIVITÄT AN AEROSOLEN IN EINER DURCH BRAUNKOHLETAGEBAUE GEPRÄGTEN UMGEBUNG

M. Möllmann-Coers<sup>1</sup>, E. Kümmerle<sup>1</sup>, E. Pomplun<sup>1</sup>, D. Klemp<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Forschungszentrum Jülich, Geschäftsbereich Sicherheit und Strahlenschutz, Jülich, Deutschland

<sup>2</sup>Forschungszentrum Jülich, Institut für Energie- und Klimaforschung, Jülich, Deutschland

### Kurzfassung

Großflächige Tagebaue zur Braunkohlegewinnung befinden sich in der Nachbarschaft des Forschungszentrums Jülich. In der Öffentlichkeit wurden Fragen nach den gesundheitlichen Konsequenzen der Einatmung von Feinstaub diskutiert, der durch Abwehungen aus den Tagebauaktivitäten in die Atemluft gelangt. Insbesondere wurde vermutet, dass die Staubfraktion PM<sub>2,5</sub> mit dem langlebigen <sup>222</sup>Rn-Zerfallsprodukt <sup>210</sup>Pb und dessen Tochternuklid <sup>210</sup>Po angereichert ist. Da es sich bei <sup>210</sup>Po um einen  $\alpha$ -Emitter handelt, würde dies zu einer erhöhten Lungenexposition mit der potentiellen Folge einer erhöhten Lungenkrebsrate in der Region Jülich führen.

Um dieser Frage nachzugehen, wurden in den Jahren 2009 und 2010 am meteorologischen Turm des Forschungszentrums Jülich in den Höhen 120m und 30m zwei Messstellen eingerichtet, an denen kontinuierlich auf Filtern mit einer Standzeit von jeweils 7 Tagen Proben der lungengängigen Fraktion PM<sub>2,5</sub> genommen werden. Seit 2011 werden auf der 30m-Plattform zusätzlich windrichtungsselektiv Filter bestaubt, um den Tagebaueinfluss auf die luftgetragene Aktivität näher bestimmen zu können.

Die  $\alpha$ -Aktivität der Filter wird eine Woche nach Ende der Exposition sowie anschließend halbjährlich gemessen. Aus der Zunahme der  $\alpha$ -Aktivität, die aus dem Zerfall von <sup>210</sup>Pb resultiert, kann die anfängliche <sup>210</sup>Pb-Aktivität in der Staubfraktion berechnet werden. Diese Aktivität bildet die Grundlage für Dosisabschätzungen. Aufgrund ihrer kurzen Halbwertszeiten sind die Nuklide der Zerfallsreihe zwischen <sup>222</sup>Rn und <sup>210</sup>Pb nicht berücksichtigt.

In der Präsentation werden vorläufige Ergebnisse präsentiert und hinsichtlich der resultierenden Dosis für die Bevölkerung diskutiert.



## DeGen MESSFAHRZEUG FÜR RADIOAKTIVE UND NUKLEARE STOFFE

M. Risse, W. Berky, T. Köble, O. Schumann, W. Rosenstock  
*Fraunhofer INT, Euskirchen, NRW*

### Kurzfassung

Die vorhandene Umweltradioaktivität wird durch verschiedene Faktoren beeinflusst. So hängt sie z.B. sehr stark von verbauten Materialien oder geologischen Gegebenheiten ab. Für den Nachweis und die Dokumentation von Strahlung sowie die Erkennung von Anomalien bei der Vorbeifahrt ist ein konventioneller PKW mit einem Messsystem ausgestattet worden. Es besteht aus Gammaszintillations- und großvolumigen Neutronendetektoren. Die Position des Fahrzeugs wird mithilfe eines GPS Signals aufgezeichnet und mit den Messdaten synchronisiert. Die Analyse der Messdaten kann direkt erfolgen aber auch im Nachhinein. Die Daten können als Diagramme oder farbcodiert in Kartenmaterial dargestellt werden.

Eine umfassende Kenntnis der natürlichen Umgebungsstrahlung ist besonders wichtig um nach einem Ereignis (Unfall) mit radioaktivem oder nuklearem Material den zusätzlichen Eintrag an Radioaktivität feststellen zu können und so frühzeitig Aussagen über Ausbreitung und Gefährdung zu gewinnen.

Die Variation der Umweltradioaktivität wird im Beitrag anhand von Messfahrten gezeigt. Deutlich werden die Einflüsse durch unterschiedlichen Straßenbelag sowie verschiedene verwendete Baumaterialien. Z.B. liefern Backsteingebäude deutlich erhöhte Messwerte. Das Grundmaterial aller Backsteine ist Ton oder Lehm in dem ein hoher Anteil von  $^{40}\text{K}$  vorliegen kann. Die typische spezifische Aktivität liegt zwischen 300 und 2000 Bq pro kg Trockenmasse. Auch der Einsatz unterschiedlicher Bodenbeläge macht sich signifikant bemerkbar. Beispielhaft wird die Variation der Messdaten bei einer Fahrt quer durch Deutschland gezeigt.

Das Messfahrzeug setzt zur Gammamessung zwei NBR-Sonden ein welche das NBR-Verfahren (Nuclear Background Rejection) nutzen. Hierdurch ist es möglich zwischen künstlicher und natürlicher Strahlung zu unterscheiden und somit bei Messwerterhöhungen das Vorliegen von künstlichen Strahlenquellen auszuschließen. Des Weiteren befindet sich ein elektrisch gekühlter Germaniumdetektor zur hochauflösenden Gammaskopie im Fahrzeug. Er kann im Fahrzeug sowie außerhalb zur Identifikation eingesetzt werden.

**PLUTONIUM UND AMERICIUM IN ACKERBODEN IN DEUTSCHLAND****PLUTONIUM AND AMERICIUM IN TILLED SOILS IN GERMANY**

D.Tait und B. Kock

*Max Rubner-Institut, Bundesforschungsanstalt für Ernährung und Lebensmittel,  
Hermann-Weigmann-Str. 1, D-24103 Kiel.*

**Zusammenfassung**

Pu-239+240 und Am-241 wurden in 103 Ackerbodenproben, entnommen im Jahr 2008 von Orten in ganz Deutschland, mit Hilfe einer neu-entwickelten Schnellverfahren bestimmt. Die 8 Stunden dauernde radiochemische Abtrennung der Nuklide erwies sich bei allen Bodenarten als zuverlässig und lieferte bei fast allen Proben hohe chemische Ausbeuten: Im Mittel ca. 87 % für Pu und 72 % für Am.

Die mittlere spezifische Aktivität des Pu-239+240 beträgt 115 mBq / kg Boden TM (Standardabweichung 25 mBq /kg TM). Dieser Wert stimmt mit dem Mittelwert einer früheren Untersuchung von Pu-239+240 in 87 im Jahr 1996 entnommenen Ackerbodenproben (Mittelwert und Standardabweichung 123 bzw. 66 mBq / kg TM) überein. In 37 Fällen waren die Proben von den Jahren 1996 und 2008 mit den gleichen Probenahmeorten bezeichnet. Unter Berücksichtigung der Unsicherheiten bei der Probenahme und chemischen Ausbeutebestimmung sind die Pu-239+240-Werte der Proben aus denselben Entnahmeorten in fast allen Fällen praktisch unverändert.

Der Mittelwert für das Am-241 beträgt 52 mBq / kg TM (Standardabweichung 11 mBq / kg TM). Das Verhältnis der spezifischen Aktivitäten des Am-241 und des Pu-239+240 ist bei allen Proben relativ konstant bei 0,44 (Standardabweichung 0,015). Dieser Wert ist für den Fallout der atmosphärischen Kernwaffenversuchen typisch. Ein Beitrag als Ergebnis des Tschernobylunfalles im Jahr 1986 ist nicht erkennbar.

**Summary**

Pu-239+240 and Am-241 were determined in samples of tilled soils taken from 103 different locations in Germany in the year 2008. A recently developed fast method was used for the analyses. The radiochemical separation which requires about 8 hours provided reliably good chemical yields for almost all samples with mean values of 87 % and 72 % for Pu und Am, respectively.

The mean specific activity of Pu-239+240 was 115 mBq / kg soil (dry mass, dm) with a standard deviation of 25 mBq / kg dm. This value agrees with that found in a previous study with 87 tilled soil samples taken in the year 1996 (mean and standard deviation 123 mBq / kg dm and 66 mBq / kg dm). In 37 cases the sampling locations were the same in 1996 as in 2008. Accounting for the uncertainties involved in sampling and in determining the chemical yields, most of the Pu-239+240 values for samples from the same location are similar.

The mean value for Am-241 is 52 mBq / kg dm (standard deviation 11 mBq / kg dm). The activity of Am-241 relative to that of Pu-239+240 is nearly constant for all samples with a mean value of 0,44 (standard deviation 0,015). This value is typical for fallout from the atmospheric nuclear bomb tests. There is no indication of a contribution from the Chernobyl nuclear accident.

## 1. Einleitung

Die Nuklide des Plutoniums Pu-238, Pu-239, Pu-240 und Pu-241 wurden hauptsächlich global als Fallout nach den atmosphärischen Kernwaffenversuche der 1950er und 60er Jahre aber auch lokal nach Unfällen in Plutoniumproduktionsanlagen und anderen kerntechnischen Anlagen in die Umwelt freigesetzt [1 – 5]. Zusätzliches Pu-238 wurde nach dem Verglühen eines Satellits in der Stratosphäre im Jahr 1964 weltweit verteilt. Auch natürliche Prozesse führen zur Bildung von Plutoniumisotopen, allerdings in geringer Ausmaß, in der Umwelt. Das langlebige Nuklid des Americiums, Am-241 (HWZ 430 Jahre), entsteht aus dem Zerfall des Mutternuklids Pu-241 (HWZ 14,4 Jahre). Das Verhältnis der Halbwertszeiten der Nuklide lässt eine Zunahme der Am-241-Aktivität über die letzten Jahrzehnte und zur Zeit etwa gleiche spezifische Aktivitäten dieser Nuklide erwarten. Tabelle 1 fasst die wichtigsten kernphysikalischen Eigenschaften [6, 7] und die globalen Freisetzungen der relevanten Nuklide zusammen.

*Tabelle 1: Quellen und kernphysikalische Eigenschaften relevanter Nuklide*

Nuklid	Quelle	$t_{1/2}$ (Jahre)	Emission	Energie (MeV)	Globaler atmosph. Fallout (PBq)
Pu-238	Neutronen- bestrahlung des U-238	$8,8 \cdot 10^1$	$\alpha$	5,5	$0,33^1 + 0,63^2$
Pu-239		$2,4 \cdot 10^4$	$\alpha$	5,1	$6,52^1$
Pu-240		$6,5 \cdot 10^3$	$\alpha$	5,1	$4,35^1$
Pu-241		$1,4 \cdot 10^1$	$\beta$	0,02	$142^1$
Am-241	$\beta$ -Zerfall des Pu-241	$4,3 \cdot 10^2$	$\alpha, \gamma$	5,5 ( $\alpha$ ) 0,06 ( $\gamma$ )	--
Pu-242	Tracer	$3,7 \cdot 10^5$	$\alpha$	4,9	--
Am-243	Tracer	$7,4 \cdot 10^3$	$\alpha$	5,2	--

<sup>1</sup> Freisetzungen von atmosphärischen Kernwaffenversuchen 1950 – 1963.

<sup>2</sup> Freisetzung nach Absturz des Satelliten SNAP-9A in 1964. (Siehe Ref. 2 – 4).

Bei der Beurteilung von Plutoniumwerten, die z.B. bei der Überwachung der Umgebung kerntechnischer Anlagen oder die nach einem Ereignis an einer fernen kerntechnischen Anlage gemessen werden, sind zuverlässige und aktuelle Vergleichswerte wichtig. Ohne solche Vergleichswerte ist es praktisch unmöglich, einen zusätzlichen Beitrag einer Plutoniumkontamination des Bodens durch eine kerntechnische Anlage zu erkennen bzw. auszuschließen. In der Literatur sind Werte, die für die Verhältnisse in der gesamten Bundesrepublik Deutschland repräsentativ wären, nur spärlich vorhanden.

Im Jahr 1996 wurde erstmalig eine bundesweite Studie zur spezifischen Aktivität von Pu-239+240 in Ackerboden von der Leitstelle in Kiel durchgeführt [8, 9]. Für diese Studie wurde Acker als Probenart ausgewählt, weil die landwirtschaftliche Bearbei-

tung des Ackerbodens zu einer größeren Durchmischung und Homogenität der einzelnen Proben führt, und daher die Vergleichbarkeit der Analysewerte verbessert. Die Plutoniumanalysen wurden mit einer Vorschrift aus der Messanleitungen des BMU für die Überwachung der Radioaktivität in der Umwelt [10] mit der Kurzbezeichnung F- $\alpha$ -SPEKT-BODEN durchgeführt. Diese Vorschrift jedoch erfasst die Am-241-Aktivität in den Proben nicht. Die Erfassung der spezifischen Aktivität des Am-241 zusammen mit der des Pu-239+240 ist besonders wichtig, weil das Verhältnis der beiden Aktivitäten Hinweise über die Herkunft einer Kontamination geben kann.

Wie bei praktisch allen gängigen Pu-Analyseverfahren sind die Schwierigkeit der Durchführung, der Zeit- und Arbeitsaufwand weitere Nachteile der Vorschrift. Zur Wiederholung der Studie um nach möglichen Änderungen in den vergangenen 12 Jahren zu prüfen und um Am-241 mit zu erfassen, war es daher erforderlich eine schnellere Methode, die auch beide Elemente erfasst, zu nutzen. Die sichere  $\alpha$ -spektrometrischen Bestimmung der geringen spezifischen Nuklidaktivitäten in einer akzeptablen Messdauer (1 Woche) erfordert Probeneinwaagen von ca. 100 g.

Eine vielversprechende Methode für die Analyse von „non-refractory“ (d.h. nicht schwerlösliches) Pu und Am in großen Bodenproben wurde von Horwitz et al. [11] bereits beschrieben. Mit der Bezeichnung „non-refractory“ weisen die Autoren darauf hin, dass die Methode zur Extraktion der Radionuklide aus der Probe, nämlich stundenlanges Rühren der Bodenasche mit siedender Salzsäurelösung im offenen System, zur Lösung möglicherweise vorhandenen schwerlösliche Metalloxide oder in silikathaltigen Strukturen eingeschlossenen Nuklidanteile nicht ausreicht.

Die Leitstelle hat dieses Verfahren für die Analyse einer Vielzahl verschiedener Bodenarten geprüft, modifiziert und validiert. Das Prinzip des Verfahrens, die Einzelheiten der Durchführung, die Validierung und die ersten Analyseergebnisse für einen Teil der Ackerbodenproben vom Jahr 2008 aus ganz Deutschland sind bereits beschrieben [12]. Hier werden die Ergebnisse der vollständigen, bundesweiten Studie zur Bestimmung von Pu-239+240 und Am-241 in Ackerboden aus 103 Probenahmeorten zusammengefasst. 37 der Probenahmeorten waren gemäß Bezeichnung die gleichen wie bei der Studie im Jahr 1996. Daher ergibt sich die Möglichkeiten mögliche Änderungen der spezifischen Aktivität des Pu-239+241 am Ort direkt zu erkennen. Durch die große Zahl der unterschiedlichen Böden in der Studie ergab sich gleichzeitig die Gelegenheit einer allgemeinen Prüfung der Anwendbarkeit des Verfahrens.

Eine von der Leitstelle eingeführten Modifikationen dieses Verfahrens betrifft die mikrowellenunterstützte Säureextraktion der Probenasche bei 10 bar, statt der konventionellen Extraktion im offenen System auf einer Heizplatte. Die Wirksamkeit der neuen Extraktionsbedingungen wurden mit unterschiedlicher Bodenarten geprüft.

## 2. Methoden

Die Ackerbodenproben wurden im Auftrag der amtlichen Messstellen der Länder im Rahmen des Routinemessprogramms gemäß AVV-IMIS [13] im Jahr 2008 entnommen. Die vorgeschriebene Einstichtiefe für solche Proben beträgt 30 cm. Die Proben wurden in luftgetrockneter und gesiebter Form (Teilchengröße < 2 mm) mit Angaben zum Probenahmeort und Bodenbeschreibung zur Verfügung gestellt. Diese wurden in

der Leitstelle in Keramikschalen verascht wobei sie 18 Stunden bei 600 °C dann weitere 10 Stunden bei 700 °C gehalten wurden. Der Aschegehalt sämtlicher Proben war größer als 93 % mit der Ausnahme der Probe aus Reinsfeld, Rheinland-Pfalz . Der Aschegehalt in diesem Fall war nur 87 %.

Danach wurden die Aschen gemäß folgendem Schema behandelt:

1. Säureextraktion: 100 g Asche + 450 ml 8 mol/l Salzsäure + Pu-242 und Am-243 als Ausbeutetracer (100 mBq bzw. 50 mBq) im Mikrowellenofen für 1 Stunde bei 100 °C, max. 10 bar.
2. Vorreinigung des Säureextraktes: Zentrifugieren, dann Filtration des Überstandes durch 3 Glasfaser- (GF6) und einen Membranfilter (Nitrocellulose, 0,45µm).
3. Radiochemische Abtrennung: Trennung des Pu und Am mit Hilfe nuklidspezifischer, vorgepackter DGA- und TEVA-Säulen von Triskem International.
4. Vorbereitung der  $\alpha$ -Messpräparate: Mikrofällung des Pu bzw. des Am mit Cerfluorid, Sammlung auf speziellen Filtern (Resolve™, Triskem International).
5. Durchführung der  $\alpha$ -Spektrometrie: Mit dem Alpha-Analyst der Fa. Canberra (Dreieich), mit 12  $\alpha$ -Messkammer und PIPS-Detektoren (Auflösung 17 keV) in Low-level-Ausführung. Die Filterplättchen mit dem Pu- oder Am-Niederschlag auf Edelstahlplättchen wurden geklebt und direkt unterhalb des Detektors in der evakuierten Kammer gestellt. Messzeiten ca. 7 Tagen. Da die Alpha-Peaks des Pu-239 und des Pu-240 voneinander nicht aufgelöst werden (siehe Tabelle 2), wird die Summe der beiden zur Berechnung von Pu-239+240-Aktivitäten angegeben.

Es wurden mindestens Doppelbestimmungen der Pu- und Am-Aktivitäten jeder Asche durchgeführt. Die mikrowellenunterstützte Säureextraktionen der Ascheproben wurden mit Hilfe des Mikrowellengerätes Ethos 2 oder Ethos Plus von der Fa. MLS (Leutkirch) ausgestattet mit 1-Liter-Probenbehältern und bei 10 bar automatisch öffnenden Sicherheitsventilen.

Prüfung der Wirksamkeit der mikrowellenunterstützte Säureextraktion: Für diese Untersuchungen wurden einige Proben verschiedener Bodenarten und mit relativ großen spezifischen Aktivitäten der Nuklide ausgewählt. Die Probenasche nach der mikrowellenunterstützte Säureextraktion wurde gesammelt und nach der Zugabe der Ausbeutetracer Pu-242 und Am-243 (jeweils ca. 50 und 25 mBq) mit konzentrierter Flusssäure zur Trockne eingedampft. Die Behandlung mit Flusssäure wurde bis zur Gewichtskonstanz des Rückstandes mehrmals wiederholt. Diese Prozedur zerstört die Silikatstrukturen, entfernt Silizium vom Rückstand und erhöht die Säurelöslichkeit der Nuklide. Danach würde dieser Rückstand wie der ursprüngliche Probenasche behandelt und der spezifischen Aktivitäten des Pu-239+240 sowie Am-241 bestimmt. Die Einzelheiten dieser Prozedur wurde ebenfalls in [12] beschrieben.

### 3. Ergebnisse

Die Ergebnisse für die mittlere spezifische Aktivitäten des Pu-239+240 und Am-241, das Aktivitätsverhältnis Am-241 / Pu-239+240, sowie die Pu-239+240-Werte in der Studie von 1996 sind in Tabelle 2 zusammengestellt.

Tabelle 2: Pu und Am in Ackerböden - Zusammenfassung der Ergebnisse der Studien in den Jahren 1996 und 2008 für ganz Deutschland.

Probenahme		Mittlere spezifische Aktivität ± Standardabweichung (mBq / kg TM)		Aktivitätsverhältnis Am-241/Pu-239+240 ± Standardabweichung
Jahr	Orte	Pu-239+240	Am-241	
1996	87	123 ± 66	Nicht bestimmt	Nicht bestimmt.
2008	103	115 ± 25	52 ± 11	0,44 ± 0,015

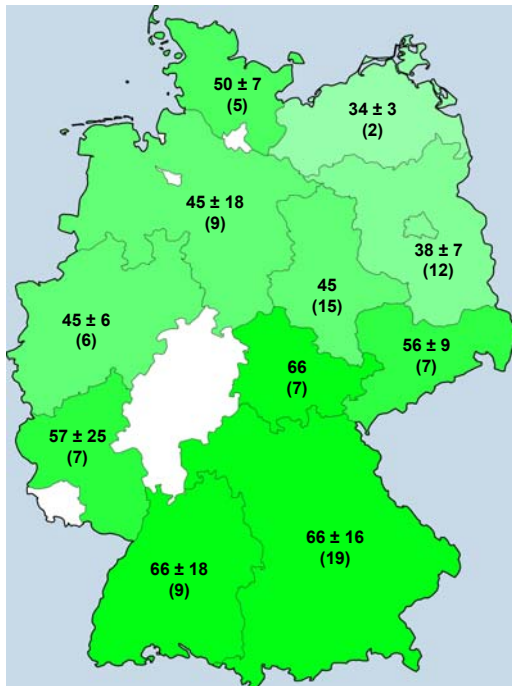


Abbildung 1: mBq / kg TM Pu-239+240.

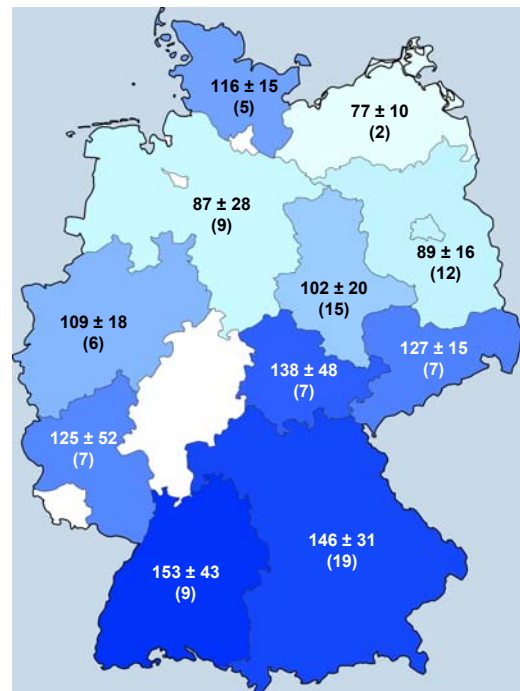


Abbildung 2: mBq / kg TM Am-241.

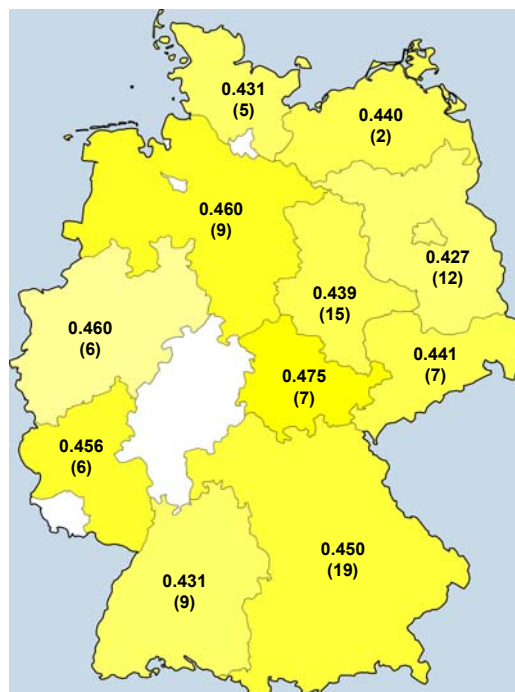


Abbildung 3: Aktivitätsverhältnis Am-241 / Pu-239+240.

*Tabelle 3: Vergleich der Pu-239/240-Aktivitäten in Ackerbodenproben entnommen von den selben Orten in den Jahren 1996 und 2008.*

Probeentnahmeort	mBq Pu-239+240 / kg TM		Abweichung vom Wert im Jahr 1996 (%)
	im Jahr 1996	im Jahr 2008	
Hornburg (NS)	120 ± 2	91 ± 1	- 24,2
Kakerbeck (SAH)	99 ± 1	83 ± 5	- 16,2
Karstädt (BRA)	92 ± 2	78 ± 1	- 15,2
Neuensalz (SAS)	155 ± 6	136 ± 9	- 12,3
Abensberg (BAY)	116 ± 5	106 ± 5	- 8,6
Geiselwind (BAY)	141 ± 26	131 ± 1	- 7,1
Dellfeld (RLP)	132 ± 4	124 ± 1	- 6,1
Schifferstadt (RLP)	91 ± 3	86 ± 1	- 5,5
Alersheim (BAY)	175 ± 8	166 ± 7	- 5,1
Poppenhausen (BAY)	105 ± 9	100 ± 11	- 4,8
Pfolfeld-Gundelshalm (BAY)	131 ± 13	125 ± 1	- 4,6
Holzhausen (RLP)	131 ± 4	125 ± 1	- 4,6
Klipphausen (SAS)	112 ± 1	108 ± 4	- 3,6
Elsenfeld (BAY)	126 ± 7	125 ± 1	- 0,8
Weißdorf-Beuk (BAY)	183 ± 4	185 ± 16	1,1
Hemau-Wollmansdorf (BAY)	153 ± 4	155 ± 6	1,3
Haufeld-Teichröda (THÜ)	235 ± 10	248 ± 9	5,5
Fürfeld (RLP)	71 ± 4	75 ± 2	5,6
Kükels (SLH)	108 ± 3	119 ± 10	10,2
Neustadt a. W. (RLP)	86 ± 1	95 ± 1	10,5
Sulzemoos (BAY)	140 ± 1	155 ± 9	10,7
Mariental (NS)	83 ± 10	92 ± 2	10,8
Schillingsfürst (BAY)	141 ± 18	161 ± 1	14,2
Ganderkesee (NS)	98 ± 4	113 ± 3	15,3
Schondra-Schönderling (BAY)	113 ± 8	134 ± 5	18,6
Plech (BAY)	142 ± 3	169 ± 14	19,0
Guthmannshausen THÜ)	98 ± 1	119 ± 3	21,4
Haldewang (BAY)	104 ± 6	128 ± 1	23,0
Markersdorf (SAS)	114 ± 2	141 ± 22	23,7
Schleißlitz-Wiesengiech (BAY)	128 ± 10	161 ± 11	27,3
Traunitz-Söllitz (BAY)	153 ± 9	196 ± 22	28,1
Schwandorf-Neukirchen (BAY)	101 ± 9	135 ± 1	33,7
Salzgitter, Drütte (NS)	76 ± 3	111 ± 2	46,1
Brunsbek (SLH)	69 ± 5	107 ± 4	55,1
Altlüdersdorf (BRA)	57 ± 2	101 ± 4	77,2
Leck (SLH)	76 ± 3	136 ± 1	78,9
Reinsfeld (RLP)	72 ± 15	252 ± 13	250

Die Karten in Abbildung 1 und 2 zeigen die Mittelwerte der spezifischen Aktivitäten des Pu-239+240 bzw. des Am-241 für jedes Bundesland außer Hessen und Saarland. Bei diesen zwei Ländern standen keine Restprobenmaterial aus dem Jahr 2008 zur Verfügung. Die Werte für die Städte Hamburg, Bremen und Berlin sind jeweils in den Mittelwerten von den Ländern Schleswig-Holstein, Niedersachsen bzw. Brandenburg berücksichtigt. Eine vollständige Auflistung der Ergebnisse für jeden Probenahmeort mit geographischen Koordinaten, Bodenbeschreibung und Nuklidausbeuten ist in der Tabelle 5 im Anhang gegeben.

Das Verhältnis der Aktivitäten des Am-241 und des Pu-239+240 in den einzelnen Bundesländern ist in der Karte in Abbildung 3 zusammengefasst. Die Werte für das Verhältnis sind überall ähnlich.

Die Tabelle 3 stellt die Werte für das Pu-239+240 in Ackerbodenproben von den gleichen Probeentnahmeorten im Jahr 1996 und 2008 gegenüber. Die prozentuelle Abweichung der in dieser Studie bestimmten Werte ( $A_{2008}$ ) von den im Jahr 1996 bestimmten Werten ( $A_{1996}$ ) in der letzten Spalte rechts wurde gemäß der Gleichung  $[(A_{2008} - A_{1996}) / A_{1996}] \cdot 100$  berechnet.

Die Ergebnisse der Prüfung der Wirksamkeit der mikrowellenunterstützten Säureextraktion der Asche verschiedener Bodenarten sind in Tabelle 4 zusammengefasst.

*Tabelle 4: Wirksamkeit der mikrowellenunterstützten Säureextraktion: Durch mikrowellenunterstützte Säureextraktion gelöste Aktivität aus der Asche verschiedener Böden (A1) / Aktivität extrahiert aus dem Rückstand dieser Säureextraktion nach der wiederholten Flusssäure-Behandlung des Rückstandes (A2).*

Probenentnahmeort	Bodenbeschreibung	A1 / A2	
		Pu-239/240	Am-241
Hauchfeld (Thüringen)	Ton	7	10
Hüde (Niedersachsen)	Moor	16	17
Bornheim (Nordrhein-Westphalen)	Schluff, sandig	16	>12
Karstädt (Brandenburg)	Sand	21	>14
Hemau-Wollmannsdorf (Bayern)	Lehm, schluffig	10	>52

#### 4. Diskussion

Das Schnellverfahren erwies sich bei allen Proben als zuverlässig und lieferte reproduzierbar hohe chemische Ausbeuten der Nuklide (siehe Tabelle 5 im Anhang). Die Mittelwerte der Ausbeuten betragen für Pu 87 % (Standardabweichung 11 %) und für Am 72 % (Standardabweichung 14 %). Bei der gleichzeitigen Analyse von vier 100 g Aschen erfordern die radiochemische Abtrennung der Nuklide aus der Asche und die Herstellung eines Messpräparates etwa 8 Stunden. Dies ist deutlich schneller als alle herkömmlichen Verfahren. Die alphaspektrometrische Messung der geringen Aktivitäten in aktuellen Proben jedoch erfordert lange Messzeiten von mindestens 5 bis 7 Tagen.



Die Werte für die spezifische Aktivität des Pu-239+240 in Ackerböden schwanken in einem relativ engen Bereich (siehe Tabelle 5 im Anhang). Der Mittelwert für ganz Deutschland in dieser Studie beträgt 115 mBq / kg TM Boden mit einer Standardabweichung von 25 mBq / kg TM (siehe Tabelle 2). Dieser Wert stimmt mit dem Ergebnis der Untersuchung von 87 Ackerbodenproben aus dem Jahr 1996 (Gesamtmittelwert und Standardabweichung 123 bzw. 66 mBq / kg TM Boden) [8,9].

Insgesamt waren 37 Proben in 1996 und 2008 mit der gleichen Ortsbezeichnung angegeben. Die Gegenüberstellung der Werte in Tabelle 3 zeigt, dass sich 31 Wertepaare um weniger als 30 % unterscheiden. Bei weiteren 5 Paaren liegen die Werte vom Jahr 2008 im Bereich 34 % bis 80 % größer als in 1996. Bei einer dieser Proben, die Probe aus Altflüdersdorf (BRA), wurde als Bodenbeschreibung „Weide“ angegeben, d.h., es handelt sich hier entweder um eine Verwechslung oder die Bodenbenutzung wurde in der Zwischenzeit geändert. Das auffälligste Wertepaar ist für den Probenahmeort „Reinsfeld“ in Rheinland-Pfalz mit Werten im 2008 fast 3-fach größer als in 1996. Die relativ kleine Ascheausbeute von 87 % für diese Probe ist für Ackerboden untypisch, und passt zu der angegebenen Probenbeschreibung „Sand/Ackerboden“ nicht. Die Diskrepanzen könnten daher entweder an einer Verwechslung oder an dem Vorkommen von Böden unterschiedlicher Art und Dichte an diesem Probenahmeort begründet sein. Unter Berücksichtigung der Unsicherheiten bei der Bodenprobenahme und der Ausbeutebestimmungen sind die

Unterschiede bei fast allen Proben nicht signifikant.

Auch die Werte für das Am-241 liegen in einem engen Bereich (siehe Tabelle 5 im Anhang) mit einem Mittelwert von 52 mBq / kg TM und Standardabweichung 11 mBq / kg TM Boden (siehe Tabelle 2). Dieses Nuklid wurde bei der Studie im Jahr 1996 nicht bestimmt. Das Verhältnis der spezifischen Aktivitäten des Am-241 und des Pu-239+240 ist für alle Proben relativ konstant bei ca. 0,44 mit einer Standardabweichung von 0,015 (Tabelle 2 und Abbildung 3). Der Wert entspricht dem durch den Kernwaffenfallout zu erwartenden Aktivitätsverhältnis überein. Ein möglicher Beitrag als Ergebnis des Unfalls in Tschernobyl im Jahr 1986 ist aus diesen Werten nicht erkennbar.

In den Kartendarstellungen der Pu-239+240- und Am-241-Werte für die einzelnen Bundesländer in den Abbildungen 1 und 2 ist eine Abnahme der spezifischen Aktivitäten der Nuklide von Süden nach Norden ersichtlich. Zum Beispiel sind die Werte in Baden-Württemberg und Bayern fast zweifach größer als in Mecklenburg-Vorpommern oder Niedersachsen. Ein ähnlicher Trend wurde auch in der Studie von 1996 beobachtet [10].

Die Untersuchung der Wirksamkeit der mikrowellenunterstützten Säureextraktion der Probenaschen zeigen, dass je nach Bodenart unterschiedliche, jedoch relative kleine Anteile der Nuklide nicht extrahiert werden (Tabelle 5). Nach der mehrmals wiederholten Behandlung mit Flusssäure verringert sich die Masse des Rückstandes von ursprünglich 100 g Asche auf ca. 10 g. Es ist zu erwarten, dass sich die zugegebenen Ausbeutetracer, Pu-242 und Am-243 mit dem Pu-239+240 und Am-241 der Restprobe nach dieser Prozedur im Gleichgewicht befinden, und daher einen zuverlässigen Wert für die Ausbeutebestimmung bei der nachfolgenden Analyse liefern. Der größte mit der mikrowellenunterstützte Säureextraktion allein nicht extrahierbare Anteil (ca. 16 %) wurde für Pu-239+240 in der Asche eines Tonbodens festgestellt. In den anderen Fällen liegen die nicht extrahierbare Anteile bei weniger als 10 %.

Der Wert der spezifischen Aktivität des Pu-238 für fast allen Proben war kleiner als die Nachweisgrenze von ca. 12 mBq / kg TM. Jedoch bei 5 Proben mit überdurchschnittlichen spezifischen Aktivitäten von Pu-239+240 (146 mBq / kg bis 240 mBq / kg) konnten Pu-238-Werte im Bereich von 3,8 bis 6,3 mBq / kg TM bestimmt werden. Die Aktivitätsverhältnisse Pu-239+240 / Pu-238 lagen im Bereich 37,4 bis 43,5 mit einem Mittelwert von 40,9. Dieser Wert ist etwas geringer als der aus dem Kernwaffenfallout in der nördlichen Hemispäre (nördliche, gemäßigte Zone, 40° bis 50° nördlicher Breite) zu erwartenden Verhältnis von ca. 50,1. Möglicherweise trägt Pu-238 vom Fallout des SNAP-Satellitens vom 1964 dazu bei, das Verhältnis zu verringern. Weitere Untersuchungen mit genaueren Pu-238-Bestimmungen sind erforderlich, um einen zuverlässigeren Wert für das Pu-239+240 / Pu-238-Verhältnis zu berechnen.

## 5. Literatur

- [1] A. Kudo (Ed.) Plutonium in the Environment, Elsevier, Amsterdam (2001).
- [2] WHO, Environmental Health Criteria 25, Selected Radionuclides (Plutonium), world Health Organization, Geneva (1983) p. 169-196.
- [3] United Nations. Sources and Effects of Ionizing Radiation. United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation, 1993 Report to the General Assembly, with scientific annexes. United Nations sales publication E.94.IX.2. United Nations, New York, 1993.
- [4] United Nations. Ionizing Radiation: Sources and Biological Effects. United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation, 1982 Report to the General Assembly, with annexes. United Nations sales publication E.82.IX.8. United Nations, New York, 1982.
- [5] UNSCEAR 2000 Report Volume 1. Sources and Effects of Ionizing Radiation, Volume I: Sources, Annex C: Exposures from man-made sources of radiation. [http://www.unscear.org/unscear/en/publications/2000\\_1.html](http://www.unscear.org/unscear/en/publications/2000_1.html)
- [6] G. Kromphorn, U. Kocak, H. Wershofen und D. Arnold, Bestimmung der Plutoniumisotope Pu-238, Pu-239 und Pu-240 in Umweltproben mittels Alpha-Spektrometrie, in PTB-Bericht PTB-Ra-38, Hrsg. Physikalisch-Technische Bundesanstalt, Braunschweig (1995) p. 3.
- [7] G. Kanisch, Kapitel IV.6 Kernphysikalische Daten, in: Messanleitungen für die Überwachung der Radioaktivität in der Umwelt und zur Erfassung radioaktiver Emissionen aus kerntechnischen Anlagen, Hrsg. Der Bundesminister für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit, Elsevier Verlag GmbH, München (2006) p. ERKLÄR/KERNDAT-01bis 08.
- [8] A. Wiechen, Plutoniumbestimmungen in Bodenproben aus der Bundesrepublik Deutschland, Kieler Milchwirtschaftliche Forschungsberichte 50 (1998) 147-152.
- [9] A. Wiechen, D. Tait, G. Haase, Die alphaspektrometrische Bestimmung von Plutoniumisotopen in Böden aus Deutschland, Kieler Milchwirtschaftliche Forschungsberichte 51 (1999) 225-236.
- [10] Messanleitungen für die Überwachung der Radioaktivität in der Umwelt und zur Erfassung radioaktiver Emissionen aus kerntechnischen Anlagen, Hrsg. Der Bundesminister für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit, Elsevier Verlag

GmbH, München (2006), Kapitel F- $\alpha$ -SPEKT-BODEN. Kurzlink: <http://www.bmu.de/P384>

- [11] E. P. Horwitz, A. H. Thakkar, D. R. McAlister, A rapid method for the preconcentration of non-refractory Am and Pu from 100 g soil samples, in: P. Warwick (Ed.) Environmental Radiochemical Analysis III, Royal Society of Chemistry (RSC Publishing), Cambridge (UK) 2007 p. 77 – 85.
- [12] D. Tait, M. Jelinski, R. Hartmann, B. Kock, Entwicklung eines Schnellverfahrens zur Bestimmung des Plutoniums und des Americiums im Boden, 14. Fachgespräch zur Überwachung der Umweltradioaktivität, 24. - 26. März 2009, Freiburg.
- [13] Allgemeine Verwaltungsvorschrift zum Integrierten Mess- und Informationssystem zur Überwachung der Radioaktivität in der Umwelt (IMIS) nach dem Strahlenschutzvorsorgegesetz (AVV-IMIS) vom 13. Dezember 2006. Bundesanzeiger 2006, Nr. 244a.

## Anhang

*Tabelle 5: Mittelwerte der Doppelbestimmungen der spezifischen Aktivitäten von jeweils Pu-239+240 und Am-241 mit den entsprechenden chemischen Ausbeuten für die Proben von den einzelnen Probenahmeorten mit Angaben zu den geographischen Koordinaten und Bodenarten.*

Land	Probenahmeort	Koordinaten		Bodenart	mBq / kg TM		Ausbeuten %	
		Länge	Breite		Pu-239+240	Am-241	Pu	Am
BAW	Bad Schussenried	+09°39'	+48°00'	keine Angaben	220 ± 10	100 ± 1	95/77	64/40
BAW	Buchholz	+07°56'	+48°05'	Lehm, schluffig	135 ± 6	63 ± 1	73/80	14/56
BAW	Haigerloch	+08°48'	+48°21'	Lehm, schluffig	153 ± 1	66 ± 4	92/81	56/39
BAW	Laufenburg	+08°04'	+47°35'	Lehm, schluffig	202 ± 5	84 ± 1	82/75	27/43
BAW	Leingarten	+09°06'	+49°08'	Lehm, schluffig	108 ± 1	45 ± 1	86/83	57/55
BAW	Leopoldshafen	+08°23'	+49°04'	Lehm, schluffig	178 ± 5	72 ± 2	86/88	68/66
BAW	Löffingen	+08°21'	+47°53'	Keine Angaben	282 ± 7	117 ± 5	98/96	67/76
BAW	Münsingen	+09°30'	+48°21'	Lehm, schluffig	85 ± 2	42 ± 2	90/78	59/29
BAW	Ostrach	+09°21'	+47°56'	Lehm, schluffig	180 ± 2	73 ± 2	94/95	79/54
BAW	Distelhausen	+09°41'	+49°35'	Lehm, schluffig	116 ± 21	47 ± 2	84/72	49/55
BAY	Abensberg	+11°50'	+48°49'	Sand, lehmig	106 ± 5	45 ± 3	97/96	87/79
BAY	Alerheim	+10°39'	+48°50'	Sand, anlehmig	166 ± 7	77 ± 1	95/95	89/89
BAY	Eisenfeld	+09°12'	+49°49'	Sand, anlehmig	125 ± 1	48 ± 1	97/99	22/86
BAY	Falkenberg-Seidlersreuth	+12°12'	+49°52'	Sand, lehmig	159 ± 8	93 ----	98/94	70/--
BAY	Geiselwind	+10°27'	+49°46'	Sand, lehmig	131 ± 1	61 ± 2	90/95	64/80
BAY	Haldenwang	+10°27'	+48°26'	Schluff, tonig	128 ± 1	55 ± 5	89/96	28/46
BAY	Hemau	+11°45'	+49°02'	Lehm, schluffig	155 ± 6	70 ± 2	95/95	60/61
BAY	Ochsenfurt	+10°03'	+49°39'	Lehm, tonig	80 ± 13	37 ± 1	93/93	59/60
BAY	Pföfeld	+10°49'	+49°06'	Sand, anlehmig	125 ± 1	51 ± 3	93/85	78/68
BAY	Plech	+11°27'	+49°39'	Sand, lehmig	169 ± 14	76 ± 2	77/82	38/42
BAY	Poppenhausen	+10°08'	+50°05'	Lehm, tonig	100 ± 11	51 ± 1	68/81	46/57
BAY	Schillingsfürst	+10°16'	+49°17'	Lehm, tonig	161 ± 1	70 ± 1	93/89	54/33

BAY	Schleißlitz- Wiesengiech	+10°59'	+49°57'	Lehm, tonig	161 ± 11	73 ± 3	71/63	42/21
BAY	Schondra	+09°51'	+50°15'	Sand, anlehmig	134 ± 5	58 ± 6	79/77	37/32
BAY	Schwandorf	+12°05'	+49°18'	Sand, anlehmig	135 ± 1	53 ± 7	95/95	67/81
BAY	Sulzemoos	+11°15'	+48°17'	Lehm, sandig	155 ± 8	70 ± 5	85/85	69/69
BAY	Trausnitz	+12°15'	+49°31'	Sand, anlehmig	197 ± 22	91 ± 10	73/85	79/83
BAY	Ursensollen	+11°47'	+49°21'	Lehm	198 ± 7	90 ± 7	80/89	13/55
BAY	Weißdorf	+11°51'	+50°11'	Sand, anlehmig	185 ± 16	83 ± 2	81/80	79/76
BRA	Altlüdersdorf	+13°09'	+53°00'	Weide	101 ± 4	46 ± 2	92/92	91/84
BRA	Gransee	+13°11'	+53°01'	Sand	102 ± 2	41 ± 1	90/90	69/79
BRA	Karstädt	+11°43'	+53°10'	Sand	78 ± 1	38 ± 2	99/99	98/93
BRA	Küstriner Vorland	+14°34'	+52°33'	Lehm, sandig	75 ± 1	34 ± 1	75/93	50/39
BRA	Kyritz	+12°23'	+52°56'	Sand	101 ± 6	45 ± 3	96/78	75/44
BRA	Märkische Heide	+14°01'	+52°02'	Sand	60 ± 1	24 ± 1	95/95	85/85
BRA	Mühlenfließ	+12°48'	+52°07'	Sand	81 ± 2	31 ± 5	96/94	70/58
BRA	Rathenow	+12°19'	+52°37'	Keine Angaben	71 ± 2	31 ± 1	99/89	73/72
BRA	Trebbin	+13°15'	+52°12'	Sand	110 ± 3	44 ± 1	90/90	90/90
BRA	Werben	+14°10'	+51°48'	Sand	84 ± 2	35 ± 1	90/86	85/80
BER	Gatow	+13°10'	+52°29'	Sand	89 ± 4	42 ± 1	90/90	77/73
BER	Lübars	+13°22'	+52°36'	Sand	112 ± 4	49 ----	90/90	92/--
BRE	Bremen	+08°46'	+53°07'	Sand	161 ± 6	64 ± 6	90/85	90/89
HAM	Hamburg	+09°58'	+53°30'	Lehm, sandig	136 ± 2	62 ± 6	90/90	81/29
MVP	Friedland	+13°33'	+53°39'	Lehm, sandig	87 ± 5	37 ± 1	95/95	89/84
MVP	Banzkow	+11°30'	+53°30'	Sand, anlehmig	66 ± 1	31 ± 1	95/95	81/93
MVP	Kavelstorf	+12°11'	+54°00'	Lehm, sandig	41 ± 1	17 ± 1	94/92	81/57
NDS	Dalumer Moor	+07°13'	+52°35'	Sand	21 ± 2	8 ± 1	99/99	95/92
NDS	Ganderkesee	+08°31'	+53°02'	Sand, schluffig	113 ± 3	80 ± 24	99/68	81/71
NDS	Grabhorn	+08°01'	+53°23'	Sand	120 ± 9	51 ± 5	95/95	2/43
NDS	Hornburg	+10°36'	+52°01'	Schluff, tonig	91 ± 1	44 ± 2	85/84	4/53
NDS	Hüde	+08°20'	+52°29'	Torf	1044 ± 74	433 ± 30	95/95	91/90
NDS	Lüder	+10°39'	+52°47'	Sand, anlehmig	66 ± 3	49 ± 16	97/91	88/88
NDS	Mariental	+10°59'	+52°16'	Sand, lehmig	92 ± 2	38 ± 2	97/90	89/57
NDS	Meinersen	+10°20'	+52°28'	Sand	85 ± 3	38 ± 3	83/75	98/80
NDS	Neuhäuserfelde	+09°02'	+53°48'	Schluff, tonig	---	---	93/87	71/63
NDS	Reinshof	+09°55'	+51°29'	Schluff, tonig	80 ± 2	41 ± 3	98/87	69/63
NDS	Salzgitter	+10°21'	+52°07'	Schluff, tonig	111 ± 2	52 ± 1	93/89	66/62
NRW	A1 Lauenförde	+09°23'	+51°36'	Keine Angaben	105 ± 1	43 ± 3	93/87	68/68
NRW	Bornheim	+06°57'	+50°46'	Schluff, sandig	84 ± 2	35 ± 1	90/90	46/59
NRW	Düsseldorf	+06°48'	+51°13'	Schluff	131 ± 4	53 ± 5	90/??	84/54
NRW	Essen	+07°01'	+51°25'	Schluff	129 ± 3	52 ± 2	90/94	83/84
NRW	Lauenförde	+09°23'	+51°36'	Keine Angaben	113 ± 3	44 ± 2	87/90	72/73
NRW	Titz	+06°24'	+50°59'	Schluff, sandig	90 ± 1	40 ± 1	90/90	69/77
SAH	Altenroda	+11°34'	+51°14'	Lehm, schluffig	109 ± 2	43 ± 4	95/90	59/54
SAH	Arendsee (Altmark)	+11°24'	+52°49'	Lehm, schluffig	107 ± 3	48 ± 1	99/97	85/85
SAH	Cobbelsdorf	+12°32'	+51°57'	Lehm, schluffig	122 ± 4	58 ± 7	95/91	85/27

SAH	Ermsleben	+11°20'	+51°43'	Lehm, schluffig	89 ± 1	39 ± 4	84/84	63/52
SAH	Großalsleben	+11°13'	+51°58'	Lehm, schluffig	146 ± 4	63 ± 1	90/90	59/72
SAH	Hadmersleben	+11°15'	+51°51'	Lehm, schluffig	119 ± 3	53 ± 2	93/90	72/63
SAH	Hobeck	+12°02'	+52°04'	Lehm, schluffig	65 ± 3	31 ± 1	96/94	77/66
SAH	Kakerbeck	+11°16'	+52°40'	Lehm, schluffig	83 ± 5	36 ± 2	99/98	69/60
SAH	Kelbra (Kyffhäuser)	+11°08'	+51°25'	Lehm, schluffig	99 ± 10	45 ± 1	87/85	57/56
SAH	Oschersleben	+11°15'	+52°02'	Lehm, schluffig	80 ± 5	30 ± 1	87/83	51/50
SAH	Redekin	+12°04'	+52°28'	Lehm, schluffig	89 ± 1	37 ± 1	95/83	95/90
SAH	Rottmersleben	+11°24'	+52°12'	Lehm, schluffig	112 ± 4	50--	89/86	57/---
SAH	Sandau (Elbe)	+12°03'	+52°47'	Lehm, schluffig	107 ± 10	45 ± 4	95/90	74/31
SAH	Schollene	+12°11'	+52°39'	Lehm, schluffig	88 ± 6	41 ± 1	97/97	92/91
SAH	Vockerode	+12°20'	+51°50'	Lehm, schluffig	119 ± 2	53 ± 1	98/98	84/55
SAS	Dennheritz	+12°27'	+50°48'	Sand, tonig	122 ± 2	52 ± 4	85/64	60/46
SAS	Flöha	+13°05'	+50°51'	Ton, sandig	146 ± 2	62 ± 2	93/85	62/55
SAS	Frohburg	+12°35'	+51°05'	Sand, tonig	130 ± 8	52 ± 1	46/98	65/73
SAS	Klipphausen	+13°32'	+51°05'	Lehm, sandig	108 ± 4	47 ± 1	90/81	75/71
SAS	Krostitz	+12°27'	+51°27'	Sand, tonig	106 ± 2	43 ± 3	97/69	69/65
SAS	Markersdorf	+14°52'	+51°06'	Lehm, sandig	141 ± 22	67 ± 4	94/99	76/85
SAS	Neuensalz	+12°14'	+50°30'	Sand, tonig	136 ± 9	69 ± 2	90/58	74/68
SLH	Blekendorf	+10°40'	+54°17'	Sand, lehmig	92 ± 1	38 ± 1	85/85	52/63
SLH	Brunsbek	+10°16'	+53°35'	Sand, lehmig	107 ± 4	47 ± 5	95/60	96/86
SLH	Kükels	+10°13'	+53°53'	Sand, lehmig	119 ± 10	53 ± 7	99/88	96/86
SLH	Leck	+08°57'	+54°46'	Sand	136 ± 11	57 ± 7	95/90	78/71
SLH	Oersberg	+09°50'	+54°40'	Sand, lehmig	124	57--	82/---	67/---
RLP	Dellfeld	+07°28'	+49°14'	Keine Angaben	124 ± 1	59 ± 3	96/88	51/42
RLP	Fürfeld	+07°52'	+49°46'	Sand	75 ± 2	30 ± 2	85/84	55/30
RLP	Holzhausen an der Haide	+07°54'	+50°13'	Sand	125 ± 1	64 ± 5	83/80	29/27
RLP	Neuhemsbach	+07°55'	+49°31'	Keine Angaben	130 ± 7	55 ± 1	90/90	59/59
RLP	Neustadt an der Weinstraße	+08°08'	+49°20'	Sand	95 ± 1	45 ± 3	90/90	69/69
RLP	Reinsfeld	+06°52'	+49°40'	Sand	243 ± 14	111 ± 3	75/85	68/62
RLP	Schifferstadt	+08°22'	+49°22'	Sand	86 ± 1	36 ± 1	90/85	63/52
THÜ	Deuna	+10°28'	+51°21'	Lehm, sandig	136 ± 11	61 ± 1	90/75	69/60
THÜ	Großobringen	+11°20'	+51°02'	Lehm	107 ± 10	63 ± 14	92/85	56/31
THÜ	Guthmannshausen	+11°21'	+51°08'	Lehm	119 ± 3	56 ± 5	84/80	70/66
THÜ	Harth-Pöllnitz	+11°58'	+50°46'	Lehm, sandig	110 ± 2	49 ± 1	85/90	80/76
THÜ	Haufeld-Teichröda	+11°16'	+50°48'	Ton	248 ± 9	111 ± 1	80/80	56/51
THÜ	Hochheim	+10°39'	+51°01'	Lehm	95 ± 4	43 ± 2	84/90	58/60
THÜ	Hildburghausen	+10°43'	+50°26'	Ton	152 ± 18	76 ± 2	72/83	50/58

## Abkürzungen:

BAW: Baden-Württemberg; BAY: Bayern; BER: Berlin; BRA: Brandenburg; MVP: Mecklenburg-Vorpommern; NRW: Nordrhein Westfalen; NDS: Niedersachsen; SLH: Schleswig-Holstein; SAH: Sachsen-Anhalt; SAS: Sachsen; RLP: Rheinland Pfalz; THÜ: Thüringen.

## NACHWEIS VON FUKUSHIMA-EMISSIONEN IN DER IMMISSIONSÜBERWACHUNG DES FORSCHUNGSSTANDORTES ROSSENDORF

### DETECTION OF FUKUSHIMA-EMISSIONS IN THE IMMISSION-MONITORING OF THE FORSCHUNGSSTANDORT ROSSENDORF

M. Kaden<sup>1</sup>, D. Degering<sup>1</sup>, S. Bartel<sup>1</sup>

<sup>1</sup> *Verein für Kernverfahrenstechnik und Analytik Rossendorf e.V.,  
Dresden-Rossendorf, Deutschland*

#### Zusammenfassung

Am Forschungsstandort Rossendorf werden im Rahmen der Strahlenschutz-Umgebungsüberwachung zwei Immissionsmessstationen betrieben. Neben dem Monitoring der Ortsdosisleistung und der natürlichen/künstlichen Aktivitätskonzentration der bodennahen Luft erfolgt auch eine Beaufschlagung von Aerosol-Filtern und Iod-Sorptionsmaterialien. Im Poster werden die Messergebnisse von Proben der routinemäßigen Probeentnahme während der Zeit nach den Fukushima-Emissionen zusammengefasst. Über die üblichen Routinemessungen hinaus wurde zum Nachweis kurzlebiger Spaltprodukte mit sehr geringen Aktivitätskonzentrationen (z. B. Te-132) bei beschränktem Sammler-Luftdurchsatz das Niederniveau-Messlabor des VKTA im Felsenkeller mit einbezogen. Hinsichtlich des nachgewiesenen Radio-Iods werden der Einfluss eigener Emissionen und die Anteile von schwebstoffgetragenen sowie organisch gebundenem und elementarem Iod gegenübergestellt.

#### Summary

At the Forschungsstandort Rossendorf two immission measuring stations are operated as part of the environmental monitoring. Beyond monitoring the dose rate and the natural/artificial activity concentration of surface air there is also an impact of aerosol filters and iodine sorption material. The poster summarizes the measurement results of routine sampling during the time after the Fukushima emissions. In addition to the routine measurements the low background laboratory Felsenkeller of VKTA is involved in detecting short-lived fission products with very low activity concentration (e.g. Te-132) and limited airflow. In terms of the detected radio-iodine the influence of our own emissions and the share of suspended matter carried, organically bound and elementary iodine are compared.

#### 1 Dresden-Rossendorf – keine Spurenmessstelle, trotzdem Spuren

Im März 2011 erschütterte das Tohoku Erdbeben der Magnitude >9 die japanische Hauptinsel Honshu. Der nachfolgende Tsunami überschwemmte dabei weite Teile

der Ostküste. Eine Folge dieser Naturkatastrophe war der Unfall des Kernkraftwerkes Fukushima Daiichi mit den betroffenen Blöcken 1 ... 4. Unter anderem kam es dabei zur Emission von radioaktiven Isotopen in die Atmosphäre, die weltweit nachgewiesen werden konnten, so auch im Raum Dresden.

Mit den beiden Immissions-Messstationen des Messsystems zur Strahlenschutz-Umgebungsüberwachung am Forschungsstandort Rossendorf waren geringe, aber messbare Einflüsse auf die Umweltmedien Luft (Abb. 1, 2) und Niederschlag (Abb. 3) nachweisbar, während bei Boden, Bewuchs und Wasser keine Spaltprodukte nachgewiesen werden konnten.

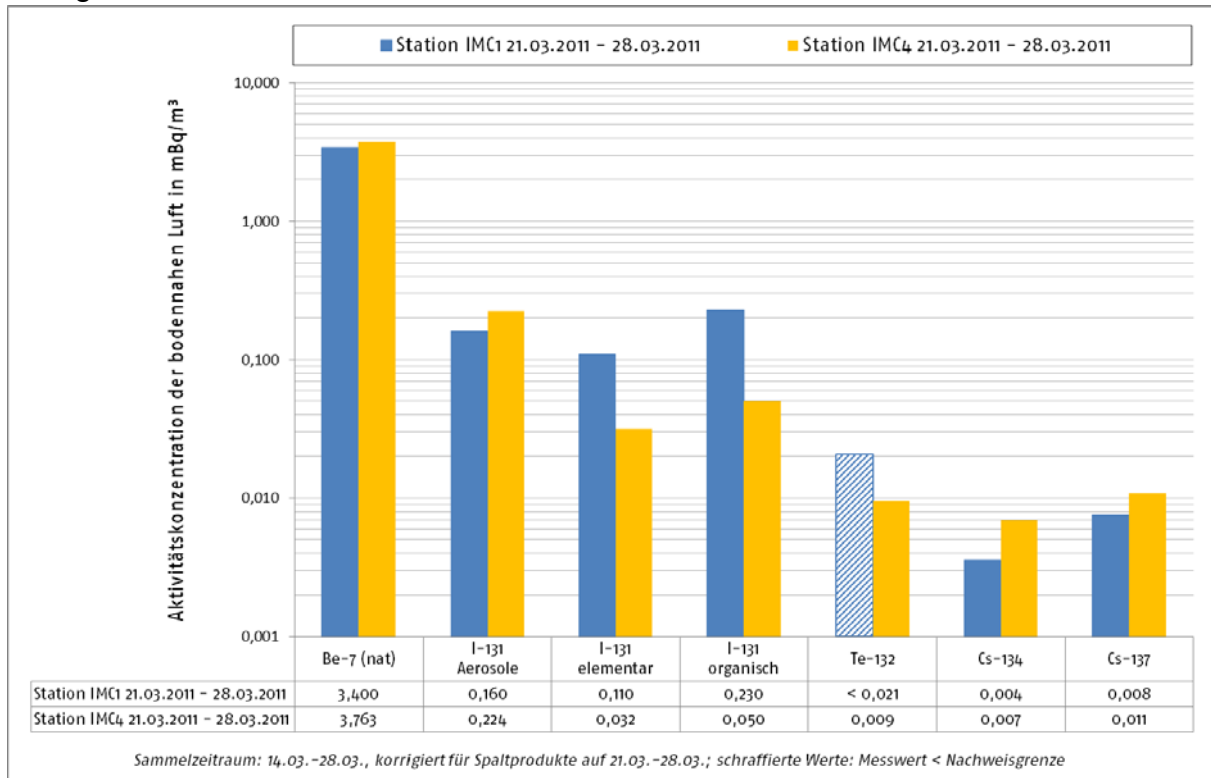


Abb. 1: Forschungsstandort Rossendorf – Spaltprodukte sowie natürliches Be-7 in der bodennahen Luft

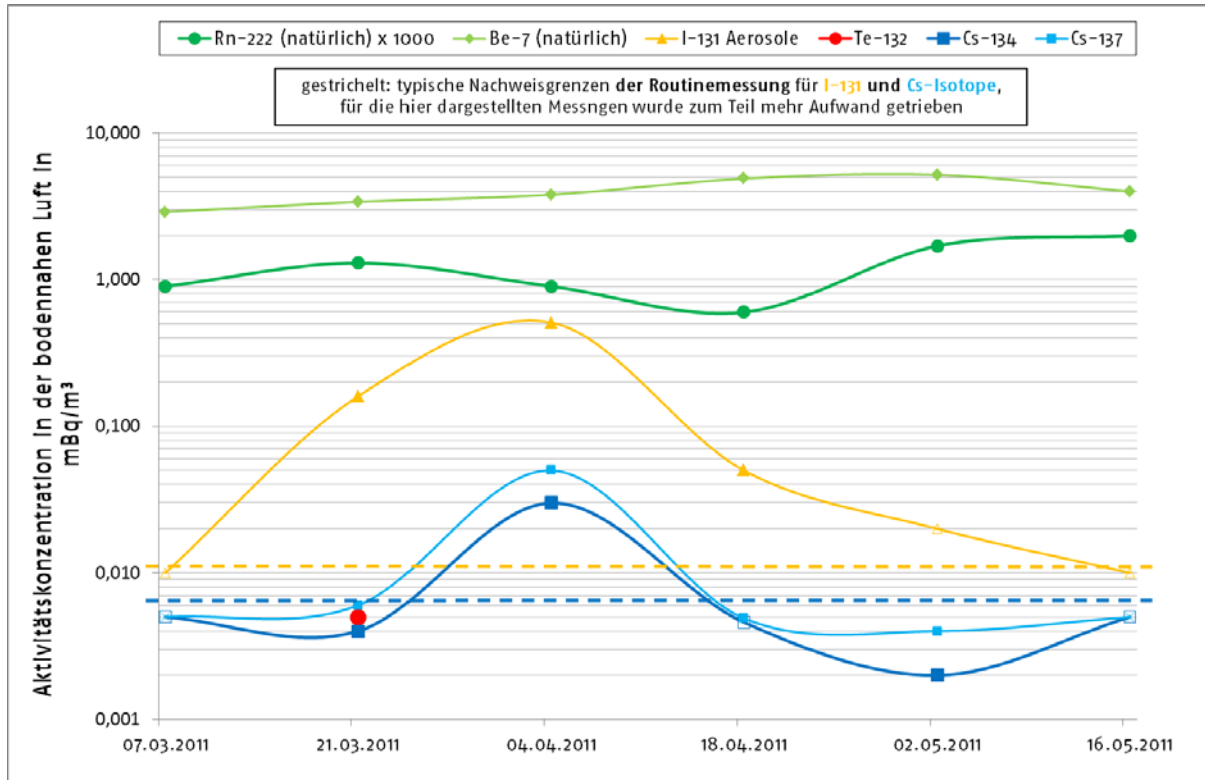


Abb. 2: Forschungsstandort Rossendorf – Zeitverlauf von Spaltprodukten sowie natürlichem Be-7 und Rn-222 in der bodennahen Luft

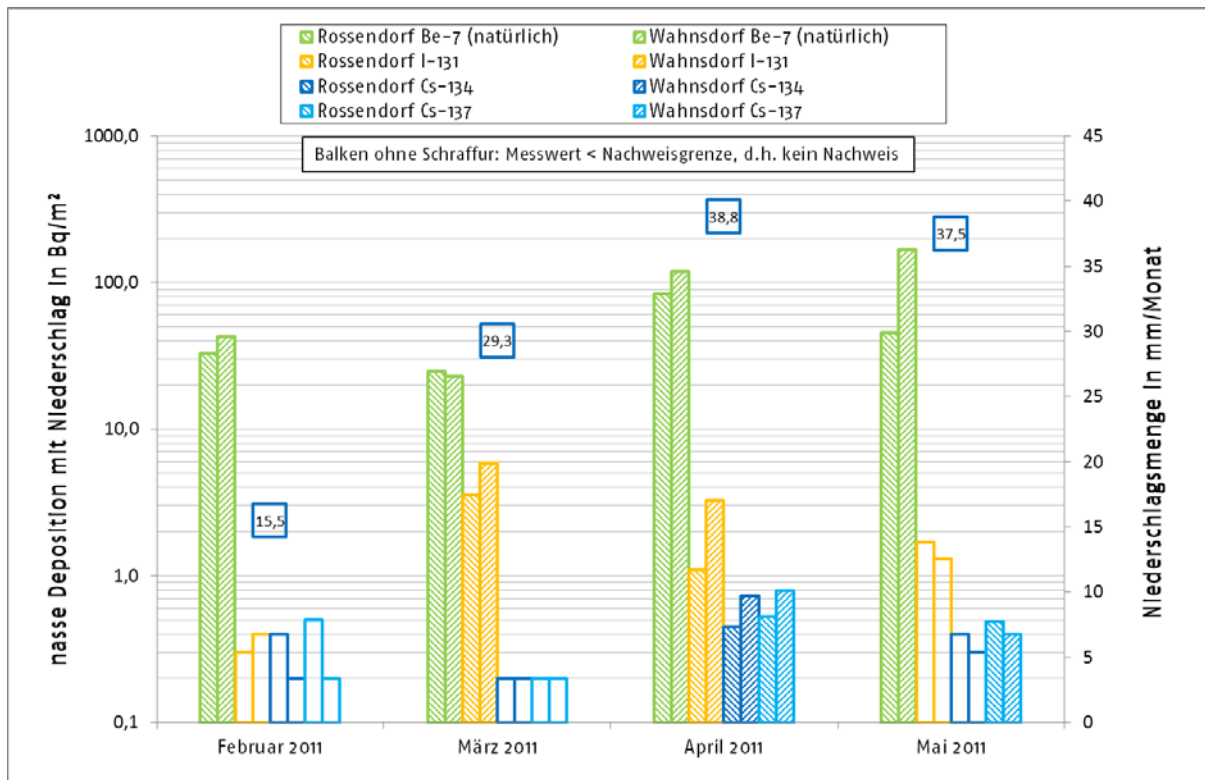


Abb. 3: Forschungsstandort Rossendorf und Referenzpunkt Radebeul-Wahnsdorf – durch Niederschlag deponierte Radionuklide



Ein Nachweis der Herkunft ist erst durch die Isotope Tellur-132 und Cäsium-134 erbracht, Cäsium-137 hingegen kann auch aus dem Boden - wo es infolge Kernwaffentest-Fallout und Tschernobyl-Unfall vorhanden ist - in die Luft mobilisiert werden.

Dieses für die Emissionen aus Fukushima Daiichi typische Nuklidspektrum wurde auch mit einer Messung von Utensilien eines deutschen Rückkehrers aus der Region Sendai bestätigt (vgl. Tabelle 1). Dabei erfolgte die Kontamination des Gepäckstückes auf der Fahrt von Sendai nach Tokio vom 14.03. bis 16.03.2011. Die Beprobung des Gepäckstücks erfolgte mittels Wischtests. Die ermittelte Nuklidzusammensetzung ist symptomatisch für die in der Luft messbaren Spaltprodukte in der Unglücksregion.

*Tabelle 1: Kontamination eines Gepäckstücks*

Nuklid	Kr-85	Mo-99	Te-132	I-131	I-132	I-133	Cs-134	Cs-136	Cs-137
Messwert in Bq/cm <sup>2</sup>	0,0120	qual.	0,0130	0,0140	0,0110	0,0027	0,0022	0,0005	0,0025

## 2 Probenahme und Messung

Für die Strahlenschutz-Umgebungsüberwachung werden am Forschungsstandort Rossendorf (FSR) zwei Immissionsmessstationen betrieben. Eine dieser Immissionsmessstationen befindet sich im meteorologischen Messfeld des FSR (Abb. 4).



*Abb. 4: Meteorologisches Messfeld mit Immissionsmessstation IMC4*

## 2.1 Probenahme: Immissionsüberwachung am Forschungsstandort Rossendorf

Die Probenahme erfolgt über die Beaufschlagung von Aerosol-Filtern und Iod-Sorptionsmaterialien (Abb. 5). Dabei lagern sich auf dem Filtermaterial das schwebstoffgetragene Iod ab und in den Sorptionsmaterialien elementares und organisches Iod. Damit wird die separate Bestimmung der verschiedenen Bindungsformen von Radioiod ermöglicht.

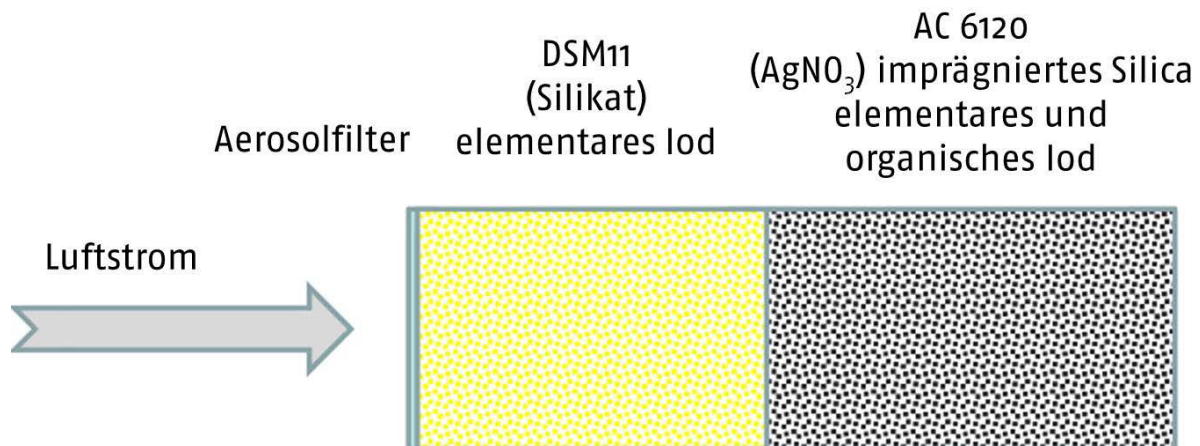


Abb. 5: Probenahmeanordnung in der Immissionsmessstation zur separaten Bestimmung der verschiedenen Bindungsformen von Radioiod

Die einzelnen Überwachungsmethoden, Luftdurchsätze und erreichbaren Nachweisgrenzen der Immissionsmessstationen sind in der folgenden Tabelle 2 aufgezeigt.

Tabelle 2: Überwachung der bodennahen Luft durch Immissionsmessstationen am Forschungsstandort Rossendorf

	IMC1 Wiese Werkfeuerwehr	IMC4 meteorologisches Messfeld
Aerosol-Monitor	Beta künstlich / 24 h verzögert sowie Alpha natürlich, 5 m <sup>3</sup> /h, NWG 1...2 Bq/m <sup>3</sup> (Gesamt-β künstl.)	Alpha und Beta künstlich sowie Rn-222, 7,5 m <sup>3</sup> /h, NWG 1...2 Bq/m <sup>3</sup> (Gesamt-β künstl.)
Aerosol-Sammler	Beaufschlagung 50 mm-Glasfaser-Aerosolfilter, ca. 1000 m <sup>3</sup> in 14 d, γ-Spektrometrie im Labor, NWG ca. 20 μBq/m <sup>3</sup> (Cs-137)	Beaufschlagung 200 mm-Glasfaser-Aerosolfilter, ca. 9000 m <sup>3</sup> in 14 d, γ-Spektrometrie im Labor, NWG ca. 5 μBq/m <sup>3</sup> (Cs-137)
Iod-Sammler	Beaufschlagung von Iod-Sorptionsmaterial DSM11/AC6120, ca. 1000 m <sup>3</sup> in 14 d, γ-Spektrometrie im Labor, NWG ca. 40 μBq/m <sup>3</sup> (I-131)	Beaufschlagung von Iod-Sorptionsmaterial DSM11/AC6120, ca. 2000 m <sup>3</sup> in 14 d, γ-Spektrometrie im Labor, NWG ca. 20 μBq/m <sup>3</sup> (I-131)

## 2.2 Messung: Niederniveau-Labor Felsenkeller

Für den Nachweis kurzlebiger Spaltprodukte mit sehr geringen Aktivitätskonzentrationen (z. B. Te-132) bei beschränktem Sammler-Luftdurchsatz wurde, über die üblichen Routinemessungen hinaus, das Niederniveau-Messlabor des VKTA im Fel-

senkeller mit einbezogen. Das Niederniveau-Messlabor befindet sich in den alten Stollen der Felsenkeller-Brauerei in Dresden unter einer massiven Granitschicht von ca. 47 m (Abb. 6) und hat somit den Vorteil des verringerten kosmischen Strahlungseinflusses.

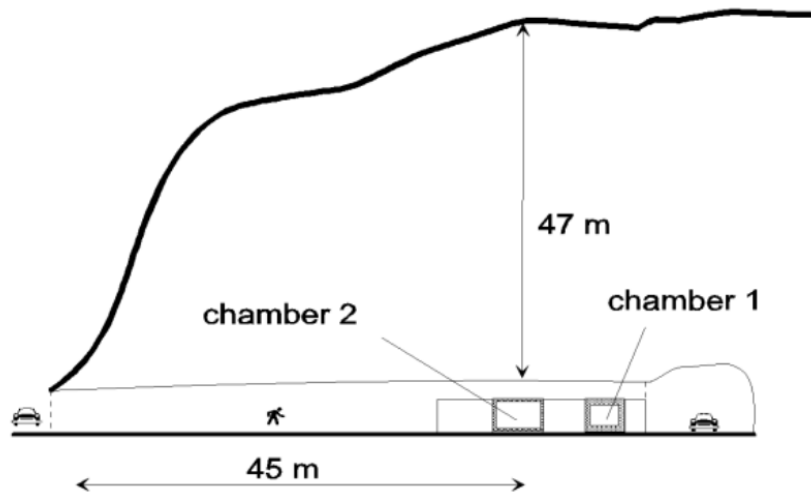


Abb. 6: Niederniveau-Messlabor Felsenkeller Dresden

Der verwendete Detektor Xtra-HPGe (Abb. 7) der Firma Canberra hat eine relative Efficiency von 92 % mit einem 1,9 kg schweren und 358 cm<sup>3</sup> umfassenden Germanium-Kristall. Der erreichbare Untergrund liegt bei 0,03 lps/kg im Energiebereich von 40 keV bis 2700 keV. Das verwendete Detektormaterial wurde durch CELLAR-Labors ausgewählt. Die Abschirmung besteht aus 5 cm „Untergrundkupfer“, 5 cm aktivitätsarmes Blei (2,7 Bq/kg) und 10 cm Normalblei (33 Bq/kg).

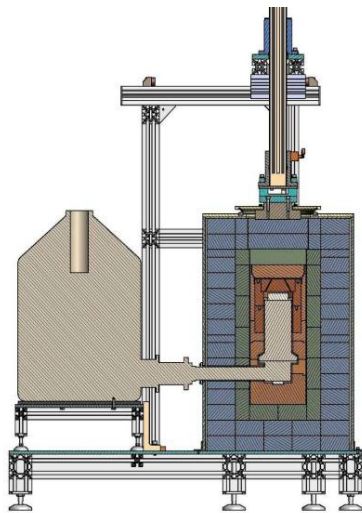


Abb. 7: Xtra-Detektoraufbau und -standort im Felsenkeller

# Fortentwicklungen im Notfallschutz und in der Umweltüberwachung

## Vorträge

### Sitzungsleitung: Hr. Stapel, Hr. Neumann

Stand und weiteres Vorgehen der IMIS/KOALA-Entwicklungen des BfS <i>C. Höbler, B. Gerich, M. Stanko, W. Harms</i> .....	99
Geographische Informationsverarbeitung im Integrierten Mess- und Informationssystem (IMIS) – ein Überblick - <i>S. Burbeck</i> .....	107
RFÜ-WebGIS Rheinland-Pfalz   Saarland Geografisches Informationssystem (GIS) für den kerntechnischen Notfallschutz - Modulares Monitoring in statu nascendi <i>Christian Lindenbeck, J. Kaiser, R. Amthauer, Y. Ren, Thomas Wilbois, B. Müller, C. Seewald, H. Fenn, R. Hentzschel, M. Maurer</i> .....	115
Die Einsatzdokumentation des Landesamtes für Umweltschutz Sachsen-Anhalt zum IMIS-Intensivmessprogramm - Anspruch und Wirklichkeit <i>Dr. F. Hänsel</i> .....	123
Herausforderungen für den anlagenexternen Notfallschutz bei lang andauernden Freisetzungen <i>F. Gering</i> .....	128

### Workshop C2:

### Fortentwicklungen im Notfallschutz und in der Umweltüberwachung (z. B. KOALA)

### Moderation: Hr. Neumann, Hr. Härtel, Hr. Höbler

<i>Zusammenfassung des Workshops C2</i> .....	129
Labordatenverarbeitung in IMIS und Laborinformationssystemen <i>M. Neumann, M. Stanko, R. Kraus</i> .....	131

## **STAND UND WEITERES VORGEHEN DER IMIS/KOALA- ENTWICKLUNGEN DES BFS**

### **CURRENT STATE AND FURTHER DEVELOPMENTS IN IMIS/KOALA OF BFS**

C. Höbler, B. Gerich, M.Stanko, W.Harms  
*Bundesamt für Strahlenschutz, Salzgitter, Deutschland*

#### **Zusammenfassung**

Vor einigen Jahren begann die Planung, das „Integrierte Mess- und Informationssystem“ IMIS im BfS von Grund auf zu überarbeiten. Ziel dieser als KOALA bezeichneten Entwicklung ist es, ein neues IMIS schrittweise in einer modularen 4-Schichten Software-Architektur aus möglichst einfachen, austauschbaren und quelloffenen Modulen aufzubauen, die über standardisierte Schnittstellen miteinander verbunden sind. Eine hohe Verfügbarkeit sowie intuitive, web-basierte Bedienbarkeit sollen durch eine robuste IT-Implementierung sichergestellt werden. Durch die Mehrfachverwendung von Komponenten sollen symbiotisch alle Notfallschutz-Systeme im BfS in dieser Architektur zusammengeführt werden. Der derzeitige Stand sowie die Planung für das weitere Vorgehen bei dieser Entwicklung wird beschrieben und erste Ergebnisse werden vorgestellt.

#### **Summary**

Several years ago the planning started to completely rework the „Integrated Measuring and Information System“ IMIS in the BfS entirely. Aim of this as KOALA called development is to build up a new IMIS gradually in modular 4-layers software architecture from very simple, interchangeable and open-source modules. These are connected by standardised interfaces with each other. A high availability as well as intuitive, web-based operability should be guaranteed by a robust IT implementation. All emergency response systems should be brought together symbiotically by the multiple use of components in the BfS in this architecture. The present state as well as the planning for the other action by this development is described and the first results are shown.

#### **Das aktuelle IMIS System**

Das BfS betreibt seit vielen Jahren gemäß den Aufgaben des StrVG das Integrierte Mess- und Informationssystem (IMIS) für radiologische Umweltüberwachung sowie zur Zusammenfassung und Aufbereitung von Ergebnissen aller national und international verfügbaren behördlichen Ergebnisse von Mess- und Modellsystemen. Ziel ist es, für den Fall einer signifikanten Kontamination der Umwelt schnelle, übersichtliche und kohärente Lagedarstellungen zu erstellen und das Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (BMU) mit Empfehlungen für Maßnahmen zum Schutz von Mensch und Umwelt zu unterstützen.

Die fachlichen Anforderungen für eine Lagedarstellung und damit die Lageermittlung bei einem möglichen radiologischen Notfall werden im Rahmen von regelmäßig durchzuführenden nationalen und internationalen Übungen verifiziert und kontinuierlich verbessert. Sie wurden in Deutschland grundsätzlich mit der Entwicklung der unterschiedlichen Teile des IMIS-Gesamtsystems in IT-Workflows und damit in Funktionen der derzeitigen operationellen Software umgesetzt.

IMIS wird beim BfS, Abteilung Notfallschutz (SW2), operationell betrieben. Es beginnt bei den Systemen des ODL-Messnetzes sowie den Systemen der Spurenmessstelle des BfS, setzt sich fort bei dem von Landes- und Bundes-Behörden für die Zusammenfassung und Aufbereitung der Daten gemäß StrVG und REI genutzten IMIS-Kernsystem, den bei SW2 betriebenen internationalen Datenaustauschsystemen, dem für federführende Landesbehörden zur Verfügung stehenden entscheidungsunterstützenden Diagnose- und Prognose-System RODOS sowie dem Lagedarstellungssystem ELAN des Bundes. Insgesamt arbeiten ca. 1000 Nutzer in mehr als 100 Behörden mit dem System. Außerdem gibt es einen technischen Workflow zur Veröffentlichung der Umweltmessdaten im Internet.

Die Funktionen der Systeme wurden in den letzten Jahren ständig verbessert. Jedes hat eine eigene, spezifische technologische Basis, sehr individuelle Bedienoberflächen und Nutzerkonzepte. So sind gleichartige Funktionen z.B. zur Speicherung und Darstellung der Daten mehrfach sehr unterschiedlich realisiert. Natürlich müssen alle Systeme separat operationell betrieben werden. Änderungen sind äußerst aufwendig. So kann das proprietäre IMIS-Kernsystem gemäß den inzwischen ca. 13 Jahre alten IT-Konzepten auf Grund der monolithischen Architektur und einer hohen Komplexität nur noch äußerst aufwendig von genau einer Software-Firma gewartet und modifiziert werden.

### **Neue organisatorische und technischen Anforderungen**

Einige Anforderungen für eine technische Neugestaltung der Notfallschutzsysteme wurden bereits vor ca. 6 Jahren mit dem KOALA (Komponenten orientierte Architektur mit langfristiger Ausrichtung) -Konzept formuliert.

Dies sind insbesondere:

- der modulare, kleinteilige Komponentenaufbau mit jeweils standardisierten Schnittstellen für eine flexible und dem technischen Entwicklungsstand entsprechende Austauschbarkeit von Modulen,
- die Mehrfachverwendung und Interoperabilität von Modulen in unterschiedlichen Workflow-Konfigurationen statt dem bisherigen Betrieb unterschiedlicher Produkte für technisch gleichartige Aufgabenstellungen,
- die laufende „weiche“ Migration von Modulen entsprechend dem fachlichen und technischen Entwicklungsfortschritt.

Hinzu gekommen sind Anforderungen, die eine Entwicklung auf Basis freier Software-Lizenzmodelle als Open-Source (OS) -Software bedingen, wie

- die Vermeidung von Abhängigkeiten von einzelnen kommerziellen Anbietern,

- die firmenunabhängige Verfügbarkeit von Erfahrungen einer möglichst breiten Entwickler- und Anwender-Community,
- unproblematische und kostenfreie Weitergabe von Modulen ohne lizenzrechtliche Einschränkungen an in- und ausländische Behörden. Hierzu gibt es Unterstützungersuchen der IAEA, so wird ELAN inzwischen in Rumänien betrieben und eine Anfrage aus Bulgarien liegt vor.

### **Weiterentwickelte fachliche Anforderungen**

Im Praxisbetrieb haben sich im Laufe der Zeit die Schwerpunkte fachlicher Anforderungen weiterentwickelt wie z.B.

- so wenig wie möglich Sichtbarkeitsbeschränkungen von Daten und Auswertungen statt komplex ausdifferenzierter Rollen gemäß behördlichen Zuständigkeiten,
- unkomplizierter, mobiler Zugriff und hohe Verfügbarkeit sind wichtiger als hochsichere Zugriffsbarrieren,
- schnelle Information durch ungeprüfte Messdaten sind wichtiger als Verzögerungen durch manuelle Verifikationsverfahren,
- einfachere, intuitive Bedienbarkeit ohne Schulungsbarrieren statt eines komplexen „Feature-System“, welches für vermeintlichen Komfort Funktionen für alle Eventualitäten vorhält,
- robuste, standardisierte Web-Software mit Download-Links zur Bearbeitung der Daten in lokaler, vertrauter Umgebung (Textprogramm, Tabellenkalkulation) statt Neu-Implementation bereits existierender komplexer Auswertefunktionalität.

### **Veränderte Migrations-Bedingungen**

Im Vergleich zur letzten Migration vom IMIS-Kernsystem, welche vor ca. 8 Jahren abgeschlossen wurde, haben sich die Bedingungen stark verändert:

- es stehen zu wenig Personal und Mittel für eine „harte“ Migration nach Masterplan zur Verfügung,
- inzwischen gibt es eine Vielfalt professioneller, standardisierter und quelloffener IT-Werkzeuge für viele IMIS-Funktionalitäten, z.B. Datenbanken, GIS (Geographical-Information-Systeme), Datenanalyse-Tools, CMS (Content-Management-Systeme), Stapelverarbeitungs-Software,
- insbesondere für verbreitete OS-Produkte gibt es hervorragend organisierte, hoch motivierte und z.T. große Entwickler-Communities, viele Anwender sowie ein breites, professionelles Support-Angebot.

### **Defizit-Erfahrungen im Einsatz**

Als Erfahrung aus dem Ereignis von Fukushima hat sich gezeigt, dass mit den vorhandenen IMIS-Systemen viele Aufgaben erfüllt werden können, jedoch die notwendige fachliche und technische Flexibilität für eine schnelle und interoperable Aufgabenerledigung bei sich unmittelbar abzeichnenden neuen Anforderungen nicht gegeben ist. Die Systeme wurden insbesondere für bisher erwartete Szenarien inner-

halb Deutschlands und dem Europäischen Ausland aufgebaut. Eine Menge zeit-  
aufwendiger Handarbeit zur Daten-Zusammenstellung, Speicherung, Aufbereitung  
und Darstellung wurde wegen der inhomogenen Datenverfügbarkeit und der unerwar-  
teten geographischen Region für die zuständigen Spezialisten notwendig, die nur  
wenig mit vorhandenen System-Workflows unterstützt werden konnten. Dies war per-  
sonell eine Herausforderung und wäre bei einem geographisch naheliegenden Sze-  
nario, welches für das im Schichtdienst arbeitende Fachpersonal noch sehr viele  
umfangreichere Aufgaben über einen größeren Zeitraum mit sich bringen würde, so  
nicht leistbar. Zudem zeigten sich insbesondere wegen des unerwartet langen Frei-  
setzungszeitraumes Defizite bisherige Notfallschutz-Planungen, die ggf. Modifika-  
tionen an den Funktionalitäten der Systeme erfordern.

Derartige neue Anforderungen müssen nach der heutigen Erfahrungslage selbstver-  
ständlich in einem möglichen Ereignisfall äußerst kurzfristig technisch realisiert wer-  
den können.

### **Migrations-Strategien**

Aus dieser Erfahrung heraus und wegen den neuen fachlichen, organisatorischen und  
technischen Rahmenbedingungen wurden spezielle Migrations-Strategien für den  
KOALA Prozess festgelegt:

- Das bisherige operationelle IMIS-Kernsystem wird technisch derart gekapselt  
betrieben, dass alle Entwicklungen eingefroren werden können.
- Grundlage der KOALA Neuentwicklung ist das KISS- (keep it small and simple)  
Prinzip, sowohl für die Definition der funktionalen Anforderungen wie auch für  
die IT-Umsetzung.
- Der Aufbau von BfS internen IT-Fachwissen ist für eine hohe Flexibilität bzgl.  
schnell notwendigen Änderungen bzw. geringfügigen Weiterentwicklungen  
essentiell.
- In Anbetracht knapper Personalressourcen sind die Prioritäten auf Anpassung  
und Integration vorhandener OS-Standard-Produkte bei möglichst wenig  
zusätzlichen Neuentwicklungen zu legen.
- Professionelle Unterstützung für Weiterbildung, Modul-(Weiter-)Entwicklung und  
Integration wird über IT-Dienstleistungsverträgen mit abrufbaren  
Stundenkontingenten sichergestellt.
- Alle Entwicklung sollen agil in kleinen, evolutionären Schritten durchgeführt  
werden, wenn nötig immer wieder mit vorangestellter prototypischer Evaluierung  
von neuen Funktionen.
- Module können immer im Entwicklungsprozess verworfen bzw. ausgetauscht  
werden.

### **Zielarchitektur**

Für die praktische Umsetzung wurden in der Abteilung SW2 im Rahmen von  
abteilungsweiten Workshops mit den fachlich und technisch am meisten aktiven Nut-  
zern der bisherigen IMIS-Systeme Ziele und Wege von KOALA sowie die zukünftig  
notwendigen funktionalen Module diskutiert und umrissen.



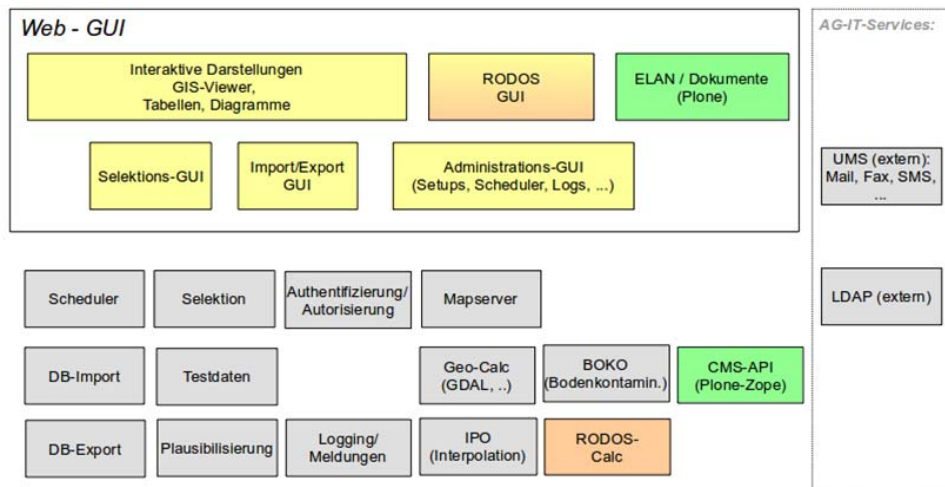
Als wesentliche Kernapplikationen werden einerseits die interaktive (karto-) graphische Visualisierung von Daten sowie andererseits die strukturierte Ablage von Notfallschutz-relevanten (bisher ELAN) und sonstigen radiologischen Informationen (bisher IMIS-Doksys) in einem Content-Management-System (CMS) dienen.

Der operationelle technische Betrieb der IMIS-Systeme wird durch die Arbeitsgruppe IT (AG-IT) des BfS sichergestellt. Die netz- sowie systemtechnischen Umsetzungen für KOALA obliegen der AG-IT, mit deren Beratung eine 4 Schichten Architektur (s. Abb. 1) sowie ein Redundanzkonzept über mehrere BfS Standorte festgelegt wurde.

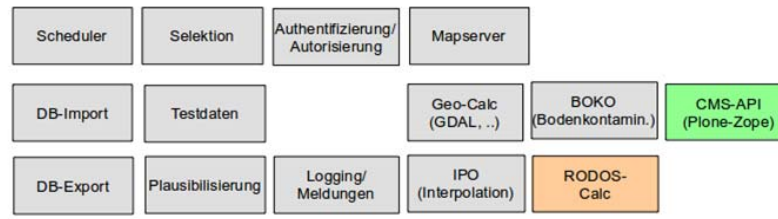
#### 4. Web-Client



#### 3. Web-Server



#### 2. Applikation-Server



#### 1. Daten-Server

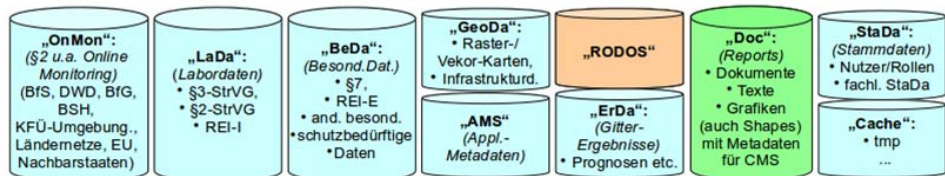


Abb. 1: KOALA grobe Zielarchitektur ohne Schnittstellen, Stand 25.01.2013

Alle Daten werden je nach optimaler Modellierung in unterschiedliche Datenbanken auf Basis von PostgreSQL/Postgis in der untersten Schicht abgelegt.

Die so genannte Geschäftslogik in Schicht 2 sowie die Web-Module in Schicht 3 sollen möglichst in JavaEE Technologie realisiert werden. Eigenständige Funktions-Module sollen mit standardisierten Schnittstellen als Services universell nutzbar, kombinierbar und austauschbar gemacht werden.

Das inzwischen in wesentlichen Teilen realisierte Graphische-Nutzer-Interface (GUI) für die interaktive Visualisierung in Schicht 4 ist eine komplett gekapselte Java-Script (JS) Applikation, die per HTTP ausgeliefert wird und über Web-Services mit der Schicht 3 kommuniziert.

Als CMS ist für „Dokpool“, die 2. Kernanwendung IMIS, wegen des vorhandenen Know-Hows bei der Entwicklung und Weiterentwicklung von ELAN das OS-Produkt „Plone“ in der neusten Version im Einsatz.

## Organisatorische Umsetzung

Mit Unterstützung der AG-IT wurden technologische Grundlagen diskutiert, z.T. geschult und gemeinsam Qualitäts-Sicherungs(QS)-Schritte des Entwicklungsverfahrens definiert:

1. Vom KOALA-Team werden die Software-Entwicklungen eigenverantwortlich in einer Entwicklungsumgebung durchgeführt.
2. Bei Erreichen eines getesteten, betriebsfähigen Entwicklungsstandes ist dieser mit vollständiger Installations- und Betriebs-Dokumentation sowie mit Freigabevermerk bzgl. IT-Sicherheit als Software-Release an die AG-IT als zukünftigem Betreiber zu übergeben. Von AG-IT wird gemäß Dokumentation die Installation auf einem der zukünftigen Produktivumgebung entsprechenden Referenz-System ausgeführt.
3. Nach erfolgreichem Verlauf von Funktions- und Betriebstests wird von AG-IT das Release in der Produktivumgebung in Betrieb genommen und der IT-Betrieb gesichert. Der fachliche Betrieb obliegt dem Betriebs-Team bei SW2.

Derzeitig sind in einer Matrixstruktur ca. 15 für IT-Entwicklungen geeignete und interessierte Mitarbeiter aus allen Fachgebieten von SW2 unterschiedlich umfangreich, meist nur mit einigen Stunden monatlich, im engeren Entwicklerkreis tätig. Für die jeweiligen Entwicklungsschritte wurden kleine AGs mit speziellem Technologie-Schwerpunkt wie z.B. Kartographie und Grafik, Datenbanken, Dokumentenverwaltung, RODOS, Interpolation, Java-Services und Datentransfer gebildet, die bisher weitgehend selbstorganisiert die Entwicklungsschritte planen und umsetzen. Die Arbeiten werden inhaltlich und organisatorisch von der KOALA Koordinierungs-AG (KoAG) bestehend aus 5 Personen gelenkt sowie die Zusammenarbeit mit AG-IT organisiert.

Das Anlaufen dieser Umsetzungspraxis hat relativ viel Zeit benötigt, da innerhalb SW2 sehr verschiedene Vorstellungen zum Entwicklungs-Vorgehen sowie zum angestrebten Funktionsumfang und den fachlichen Prioritäten bestehen, die immer wieder diskutiert wurden und zu sich entwickelnden Kompromisslösungen geführt haben. Hier zeigte sich, dass die vom Abteilungsleiter vorgegebene Forderung nach wesentlicher Vereinfachung der Systeme nur durch eine allmähliche Entwicklung und Annäherung der Standpunkte zum funktionalen Umfang der zukünftigen Applikation mit allen fachlich Verantwortlichen umsetzbar ist.

Zur Verbesserung der Effizienz schwerpunktmäßiger Aufgabenerledigung wurde vom Abteilungsleiter in Zusammenarbeit mit den Fachgebietsleitern in SW2 Änderungen der organisatorischen Struktur vorgeschlagen, die zur Zeit umgesetzt werden.

## Aktueller Entwicklungsstand

### 1. Meilenstein „ODL-Info“

Die erste Realisierung einer modernen, interaktiven Web-Applikation zur Visualisierung beinhaltet die zeitnahe Darstellung der gemessenen ODL-Messdaten für die Öffentlichkeit. Dieses „ODL-Info“ (Abb. 2) wurde als erster KOALA-Meilenstein umgesetzt und ist mit der parallel seit einigen Jahren verfügbaren statischen Web-

Anwendung des ODL-Messnetzes (SW2.4) unter <http://www.imis.bfs.de/odlinfo> operationell nutzbar.

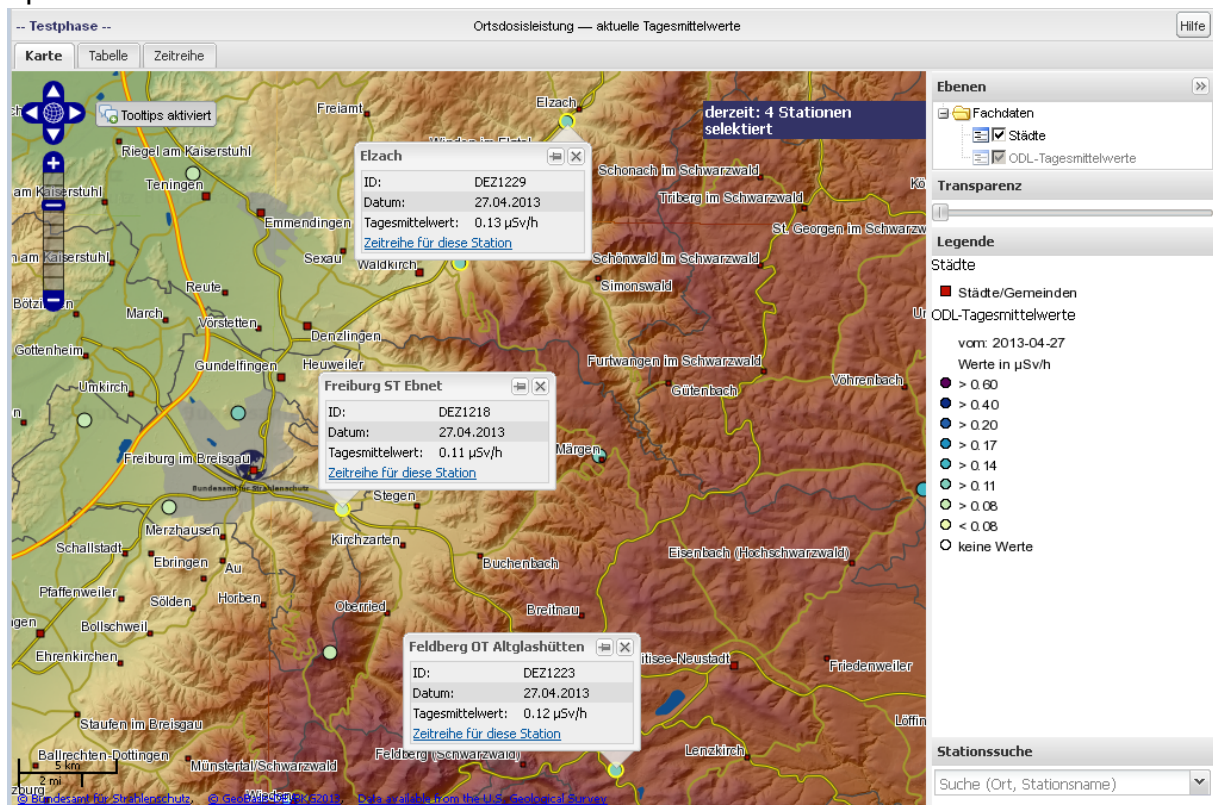


Abb. 2: ODL-Info

Diese Applikation ist die ausbaubare technologische Kernanwendung für die interaktive Karten-, Tabellen- sowie Zeitreihen-Darstellung in einer ersten Version. Der Klient wurde als eigenständige Java-Script Anwendung mit der funktional sehr mächtige GIS-Bibliothek „Open-Layers“ sowie i.w. dem Framework „ExtJS“ erstellt.

## 2. Meilenstein „Geo-ZG“

Die Module zur Realisierung der gesetzlichen Anforderungen des Geo-Daten-Zugangsgesetzes „Geo-ZG“ als Umsetzung der EU Richtlinie INSPIRE haben einen schon wesentlich komplexeren Umfang. Im BfS wurde hierfür Anfang 2010 eigens eine Projektgruppe (PG-Geo) verfügt, die im Rahmen von KOALA die Umsetzung realisiert. „Geo-ZG“ steht kurz vor der Inbetriebnahme im Juli 2013. Für diese Anwendung wurde u.a. in die JS-GUI ein so genannter Layer-Baum, diverse Daten-Filter, die Suche über alle im BfS verfügbaren Daten-Layer mittels Katalog-Service, ein Download-Dienst sowie diverse Funktionen zum Überlagern von Layern aufgenommen. Die verfügbaren Layer und ihre Eigenschaften werden in einer Metadatenbank spezifiziert. Die Daten werden für diesen Meilenstein bereits KOALA-konform von der neuen Online-Monitoring („OnMon“)-Datenbank sowie aus anderen im BfS betriebenen Datenbanken, auch vom IMIS-Kernsystem, abgerufen.

### 3. Meilenstein „Prototyp IMIS-V1“

Im Februar 2013 wurden als „Prototyp IMIS-V1“ diverse Funktionen zur Darstellung von Prognosen und Diagnosen sowie neuartig zur Berechnung und Darstellung von Bodenkontaminations-Layern zusammengestellt.

Im 2. Halbjahr 2012 wurde mit Unterstützung externer Spezialisten die bisher in Rumänien betriebene englischsprachige „ELAN-E“ Applikation auf die neuste Plone 4 Technologie migriert. Diese Anwendung stellt neben der grundsätzlichen Modernisierung unter anderem ein gleichzeitiges Management mehrerer Ereignisse, Mehrsprachigkeit sowie eine Teil-Implementierung des internationalen IRIX-Standards für die Kommunikation der Notfallschutzsysteme über Web-Services bereit.

Mit dem Prototyp zur Darstellung sowie dem neuen „ELAN-E“ in der Entwicklungsumgebung wurde dem Abteilungsleiter die zukünftige Handhabung demonstriert und über das weitere Vorgehen diskutiert.

#### Weiteres Vorgehen

Die Applikation „Geo-ZG“ soll als nächstes in einer 2. Version als „NukInfo“ im Internet den ersten Meilenstein „ODL-Info“ voraussichtlich Ende 2013 operationell ablösen.

Seit April 2013 wird in einem Teilprojekt „Prototyp Labordaten-Erfassung“ mit Unterstützung externer Experten die Funktionalität zur Erfassung und Speicherung von Labordaten in einem neuen im BfS erzeugten Datenmodell „LaDa“ erstellt. Nach Beendigung im Herbst 2013 soll das Ergebnis in einem neuen Teilprojekt zur Bearbeitung dieser Daten erweitert werden.

Parallel dazu wird es voraussichtlich bis Mitte 2014 eine erste vollständige Version der auf Plone 4 Technologie erstellten „Dokpool“-Applikation geben, die anschließend unabhängig vom Entwicklungsstand der anderen Komponenten in den operationellen Betrieb zur Ablösung des derzeitigen ELAN und IMIS-Doksys gehen soll.

Die Ergebnisse „Labordaten-Erfassung“ und „Dokpool“ sollen anschließend mit der weiterentwickelten Applikation „NukInfo“ zu einem „Prototyp IMIS V2“ zusammenfließen. An Hand dieses Prototyps soll der im wesentlichen komplette Workflow der bisherigen IMIS-Datenverarbeitung demonstriert und diskutiert werden.

Geplant ist, ab Ende 2014 aus dem Prototyp V2 heraus mit Integration des RODOS-Workflows eine operationelle Gesamt-Version zu erstellen, die in 2015 in Betrieb gehen soll.

Nach diversen funktionalen Verbesserungen und Ergänzungen dieser Entwicklung wird angestrebt, 2016/2017 das derzeitige IMIS-Kernsystem ablösen zu können.

Die kontinuierliche technologische Weiterentwicklung von IMIS bleibt eine Daueraufgabe des BfS.

## **GEOGRAPHISCHE INFORMATIONSVERARBEITUNG IM INTEGRIERTEN MESS- UND INFORMATIONSSYSTEM (IMIS) - EIN ÜBERBLICK -**

### **GEOGRAPHIC INFORMATION PROCESSING IN THE INTEGRATED MEASURING AND INFORMATION SYSTEM (IMIS) - AN OVERVIEW -**

S. Burbeck

*Bundesamt für Strahlenschutz (BfS), Freiburg, Deutschland*

#### **Zusammenfassung**

Im Bundesamt für Strahlenschutz gibt es - wie in den meisten Behörden – unterschiedlichste Aufgaben und Anforderungen, bei denen geographische Informationen eine wichtige Rolle spielen. Dies gilt umso mehr für die Abteilung Notfallschutz mit dem Integrierten Mess- und Informationssystem IMIS sowie den Aufgaben der Informationsbereitstellung für die Öffentlichkeit. Den zentralen Baustein bei der räumlichen Informationsgewinnung und –bereitstellung bilden kartographische Darstellungen.

Im BfS sollen die unterschiedlichen Anforderungen durch eine gemeinsame – auf Web-Services basierenden – Softwarearchitektur erfüllt werden.

#### **Summary**

As most public administrations the Federal Office for Radiation Protection faces various tasks and requirements with geographic information playing an important role. All the more this is true for the Department of Emergency Protection with its Integrated Measuring and Information System (IMIS) and the tasks of information provision for the public. Crucial part in geographic information extraction and provision is cartographic representation.

In BfS the different requirements shall be met by a common software architecture, based on web services.

#### **1. Einleitung**

Das 15. Fachgespräch Umweltradioaktivität beschäftigt sich mit dem Thema "Daten, Modellen, Information". Ein Großteil der Daten und Modelle aus denen die Information gewonnen wird besitzt dabei eine räumliche Komponente im Sinne einer geographischen Information. Dieser Beitrag geht dabei auf die Besonderheit des räumlichen Aspektes bei der Informationsgewinnung und -bereitstellung ein. Insbesondere bei der Informationsbereitstellung geht die Betrachtung über das Integrierte Mess- und Informationssystem IMIS hinaus und es wird aufgezeigt, dass letztlich das gesamte Amt von den aktuellen Entwicklungen betroffen ist.

Wenn es - in unterschiedlichsten Zusammenhängen - um die Wahl geeigneter Mittel zur Erreichung eines Ziels geht, hört man häufig den Satz "viele Wege führen nach Rom". So sehr diese Aussage ihre Berechtigung hat, so soll anhand der spezifischen Situation in der Abteilung Notfallschutz des BfS aufgezeigt werden, dass auch eine entgegengesetzte Betrachtung sinnvoll sein kann und zwar die Frage, ob nicht auch ein gemeinsamer Weg zum Erreichen mehrerer Ziele führen kann?

Anhand von Beispielen sollen mehrere, durchaus unterschiedliche Anforderungen an die Informationsbereitstellung aufgezeigt werden. Es wird dargelegt, wie diese Anforderungen durch die Entwicklung einer gemeinsamen Software-Architektur und die Verwendung gemeinsamer Software-Tools erfüllt werden.

## 1.1 Voraussetzungen

Die Aufgaben, denen sich das BfS und insbesondere die Abteilung Notfallschutz im hier betrachteten Bereich der Informationsbereitstellung gegenüber sieht, sind vielfältig.

So ergeben sich einerseits Forderungen aus den Informationsbedürfnissen der Öffentlichkeit, ein Themenfeld, das insbesondere durch die Ereignisse in Fukushima stark an Bedeutung gewonnen hat. Daneben gibt es zahlreiche fachliche Bedarfe, die sich bei der Migration des IMIS auf eine neue Softwarearchitektur ergeben. Zusätzlich sind immer auch die Anforderungen aus den gesetzlichen Grundlagen wie z.B. dem Umweltinformationsgesetz oder dem Geodatenzugangsgesetz (GeoZG) / INSPIRE zu beachten. Gerade die zuletzt genannte Kombination macht auch auf der technologischen Seite sehr weitreichende Vorgaben.

Relativ unabhängig von den genannten Anforderungen muss es stets das Ziel sein, die Information prägnant, aktuell und integer, dokumentiert sowie standardisiert an den Anwender zu geben.

Zu beachten ist dabei, dass die unterschiedlichen Anwendergruppen und ihre Bedarfe bereits bei der Entwicklung des Architekturmodells berücksichtigt werden. Beispiele hierfür wären eingeschränkte bzw. erweiterte Sichten auf Daten, Administrationsrechte etc..

## 2. Der räumliche Aspekt

Dieser Beitrag konzentriert sich auf die Informationsgewinnung und die Besonderheit des räumlichen Aspektes bei der Informationsbereitstellung.

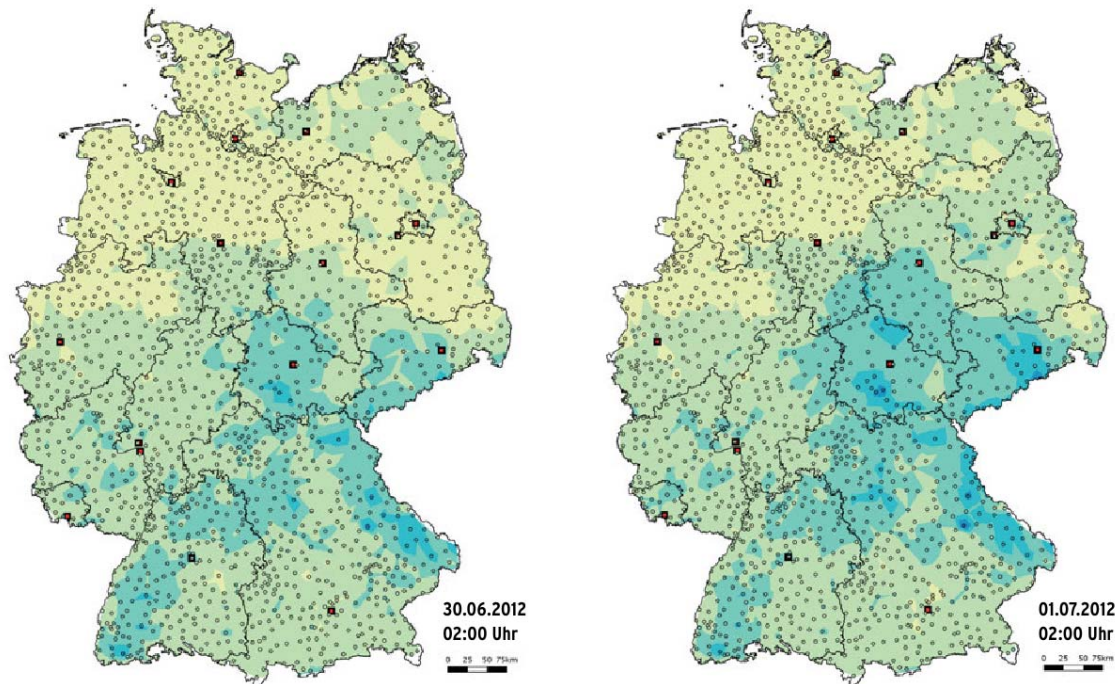
Daten, insbesondere Messdaten, enthalten häufig eine Vielzahl von Informationen. Gerade Informationen, welche den räumlichen Aspekt untersuchen, sind jedoch oftmals tief in den Daten verborgen und können erst durch die graphische / kartographische Darstellung gewonnen werden.

Häufig fallen räumliche Zusammenhänge in einer kartographischen Darstellung direkt ins Auge während sie bei einer rein tabellarischen Aufbereitung kaum – manchmal sogar überhaupt nicht – auffallen würden. Deshalb sind insbesondere Kartendarstellungen für die Vermittlung von Informationen aus Daten mit räumlichen Bezügen

das Mittel der Wahl. Durch sie können Informationen anschaulich und prägnant transportiert werden.

In gleicher Weise sind Karten zum Verständnis räumlicher Abhängigkeiten unerlässlich.

Ein Beispiel hierfür sind die beiden nachfolgenden kartographischen Darstellungen der Ortsdosisleistung in der Bundesrepublik Deutschland.

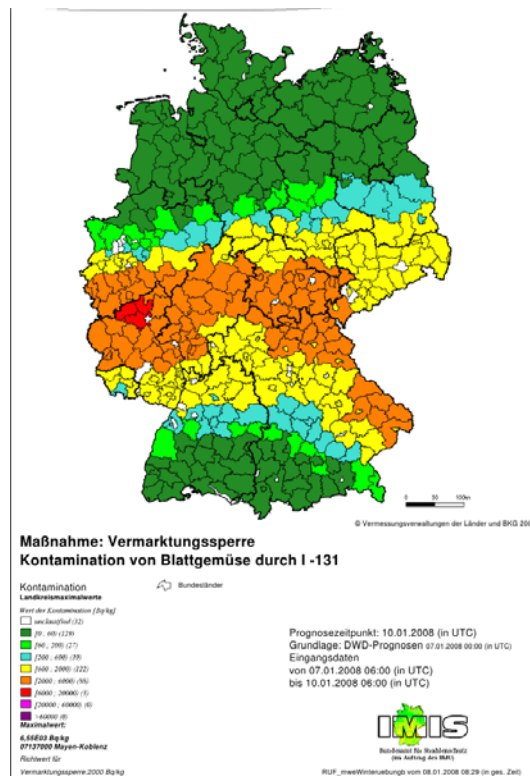


### *Routinemessdaten des ODL-Messnetzes*

Während die linke Darstellung eine typische Situation im Routinebetrieb abbildet, sind in der rechten Darstellung Erhöhungen der Ortsdosisleistung (ODL) hervorgerufen durch ein Regenereignis dargestellt. Auch wenn die Karten an sich nichts anderes als die Messungen der ca. 1800 ODL-Sonden einmal als Punktdarstellung und zusätzlich als flächige, interpolierte Darstellung zeigen, so werden dennoch räumliche Abhängigkeiten mehr als deutlich. Ohne die fachlichen Hintergründe zu kennen ist auch für den Laien die "normale" Korrelation zwischen Topographie und gemessener Ortsdosisleistung deutlich erkennbar. In der Norddeutschen Tiefebene werden offensichtlich geringere Werte gemessen, als dies in den Mittelgebirgen wie Schwarzwald, Thüringer Wald und insbesondere Bayerischen Wald der Fall ist. Diese Information ist erst durch die graphische Darstellung so schnell und deutlich ersichtlich.

Das Beispiel verdeutlicht, warum insbesondere für Entscheidungen im Notfallschutz Karten als Lagedarstellungen die entscheidende Grundlage darstellen. Zu beachten ist dabei jedoch zusätzlich, dass dabei der Art der kartographischen Aufbereitung große Bedeutung zukommt.

Als ein solches Beispiel soll an dieser Stelle die nachstehende Abbildung dienen. Hier wurde im Rahmen einer IMIS-Übung eine maßnahmenbezogene Karte der (simulierten) Kontamination von Blattgemüse erstellt. Ziel der Darstellung ist die Unterstützung einer fundierten und schnellen Entscheidungsfindung..





### 3.2 Öffentlichkeitsarbeit

Im Bereich der Öffentlichkeitsarbeit müssen Informationen entsprechend der Bedürfnisse der Anwender bereitgestellt werden. So wurde im vergangenen Jahr der Internetauftritt <http://odlinfo.bfs.de> erweitert, auf dem die Daten des ODL-Messnetzes der Bevölkerung zur Verfügung gestellt werden.

Der Anwender kann sich nun interaktiv in einer Karte "bewegen", nach bestimmten Sonden oder auch Orten suchen und sich Daten nach eigenen Filter-Kriterien tabellarisch oder als Zeitreihen zusammenstellen. Insbesondere der Download bestimmter Daten (z.B. der Daten des ODL-Messnetzes) für die Einbindung in eigene Applikationen des Anwenders wird immer häufiger nachgefragt und gewinnt entsprechend an Bedeutung.

Beispiele für – teils auch kommerzielle – bereits verfügbare Applikationen, welche auf Daten des BfS aufbauen, sind zahlreiche sogenannte "Apps" für mobile Endgeräte. Insgesamt kann festgestellt werden, dass sich gerade durch die Möglichkeiten GPS-basierter Positionsbestimmung bei der Informationsbereitstellung auf mobilen Endgeräten einerseits neue Möglichkeiten ergeben werden, dadurch gleichzeitig jedoch auch neue Anforderungen für die Öffentlichkeitsarbeit entstehen.

### 3.3 INSPIRE (Infrastructure for Spatial Information in the European Community)

Was genau ist INSPIRE?

INSPIRE ist die Richtlinie 2007/2/EG des Europäischen Parlaments und des Rates zur Schaffung einer Geodateninfrastruktur in der Gemeinschaft v. 15. Mai 2007.

Diese Richtlinie fand seine nationale Umsetzung durch das Geodatenzugangsgesetz (GeoZG) v. 14. Februar 2009 zul. geändert am 7. November 2012 sowie durch 16 separate Gesetze der Bundesländer.

Durch die Änderung des Geodatenzugangsgesetzes (GeoZG) stehen die Geodaten und Geodatendienste des Bundes, einschließlich der zugehörigen Metadaten, zukünftig grundsätzlich geldleistungsfrei für die kommerzielle und nicht kommerzielle Nutzung und Weiterverwendung zur Verfügung.

Ziel der INSPIRE Richtlinie ist es, die grenzübergreifende Nutzung von Daten in Europa zu erleichtern. Das Geodatenzugangsgesetz dient dabei dem Aufbau einer nationalen Geodateninfrastruktur.

Welche Daten sind betroffen?

Die Richtlinie und das Geodatenzugangsgesetz beziehen sich auf sogenannte "Geodaten". Dies sind "Daten mit direktem oder indirektem Bezug zu einem Standort oder geographischem Gebiet". Die betroffenen Daten müssen mehrere Kriterien erfüllen. U.a. sind sie auf 34 Themenfelder begrenzt, die in drei Anhängen zur INSPIRE Richtlinie definiert sind. Für das BfS von besonderer Bedeutung und im Rahmen des 15. Fachgesprächs Umweltradioaktivität besonders interessant ist dabei ist der Themenbereich Umweltüberwachung. Dieser umfasst gemäß GeoZG "Standort und

Betrieb von Umweltüberwachungseinrichtungen einschließlich Beobachtung und Messung von Schadstoffen, des Zustands von Umweltmedien und anderen Parametern des Ökosystems [...] durch oder im Auftrag von öffentlichen Behörden”.

Was wird gefordert?

INSPIRE fordert webbasierte Online-Dienste für die Suche, die Visualisierung und den Download der Daten.

Zu beachten ist, dass zu der INSPIRE-Richtlinie auch sogenannte “Durchführungsbestimmungen” erarbeitet wurden. Diese konkretisieren die Inhalte der Richtlinie und sie enthalten genaue fachliche Vorgaben hinsichtlich der Frage, wie der Aufbau einer GDI (Geodateninfrastruktur) mit ihren Online-Diensten auszusehen hat. Die Durchführungsbestimmungen besitzen die Form von Verordnungen und sind damit automatisch für alle Staaten der europäischen Union rechtlich bindend.

Welche Dienste sind gefordert?

Im Wesentlichen geht es um Such-, Darstellungs- und Downloaddienste.

- Der Suchdienst ist als CSW (Catalogue Service for the Web) zu implementieren. Er greift auf eine Datenbank mit Metadaten zu und ist quasi die Suchmaschine für Geodaten.
- Der Darstellungsdienst ist als WMS (WebMapService) zu implementieren. Er erstellt für jeden Client individuell eine Karte für den definierten Bereich, die angefragten Daten, den gewünschten Maßstab etc. ...
- Der Downloaddienst ist als WFS (WebFeatureService) zu implementieren. Er bietet die angefragten Daten in einer definierten XML-Struktur zum Download an.
- Für alle INSPIRE-relevanten Dienste gibt es Standards des OGC (Open Geospatial Consortium) und der ISO (International Organization for Standardization).

Die genannten Dienste:

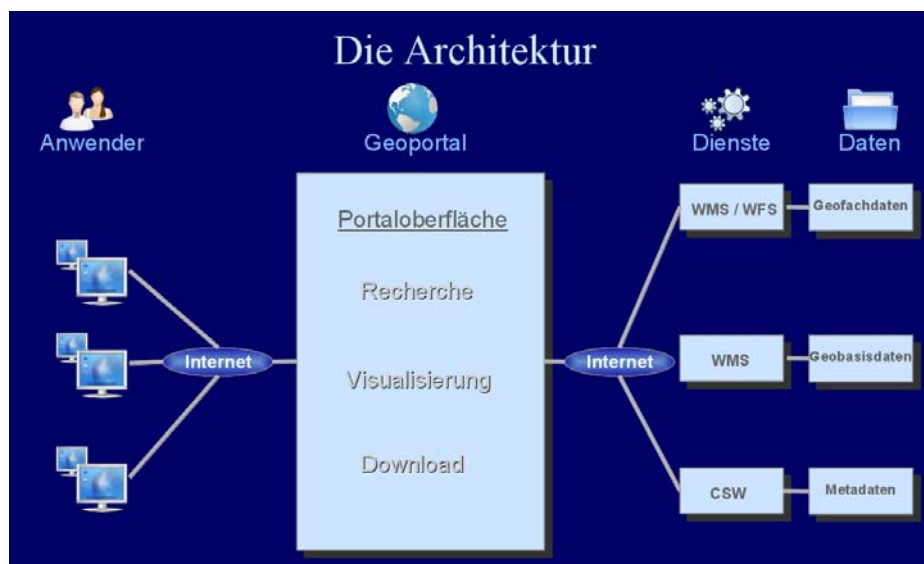
- geben Auskunft über sich selbst (Was kann ich ... für welchen Bereich ... für welche Daten ... mit welchem Koordinatensystem...etc...),
- verhalten sich in Abhängigkeit von den Rechten des Nutzers (Was darf der Nutzer wissen? Welche Daten darf er generell sehen? Gibt es einen räumlichen Einschränkungsbereich?),
- können nach den individuellen Bedürfnissen des Nutzers angefragt werden (Inhalt, Maßstab, räumlicher Ausschnitt, Größe, ggf. graphische Gestaltung...),
- können in beliebige andere Applikationen eingebunden werden (Online-Systeme, Desktop-GIS etc.).

#### **4. Umsetzung**

Wie sieht nun eine solche webbasierte Architektur – schematisch dargestellt – aus?

Prinzipiell ist es möglich als Anwender allein durch die Eingabe einer korrekten URL mit den geforderten Parametern in der Adresszeile des Webbrowsers einen Webservice aufzurufen. Technisch gesehen erfolgt daraufhin ein normaler HTTP-Request (als Get-Request oder Post-Request) an den Server. In den meisten Fällen wird die Antwort als ein XML-Dokument oder in einem Bildformat an den Browser zurückgeschickt und dann (je nach individueller Browsereinstellung) im Browser selbst angezeigt oder lokal abgespeichert.

Ein solcher direkter Aufruf der Dienste ist zwar möglich, aber selbstverständlich nicht der „normale“ Kommunikationsweg. Zwischen dem Anwender und den Diensten / Daten liegt das Geoportal, eine Anwendung im Webbrowser. Das Geoportal hat die Aufgabe, dem Nutzer eine intuitive Oberfläche zu bieten, die hinsichtlich der Kommunikation zwischen Client und Server nichts anderes macht als das technische „Frage-Antwort-Spiel“ (Was kannst Du?... -> Ich kann ... -> gib mir Daten von...-> Hier sind die Daten...etc.) zwischen dem Client und dem Server zu automatisieren und dabei sowohl die Auswahl, als auch die Ergebnisse in verständlicher und nutzerfreundlicher Art und Weise aufzubereiten.



Bei der beschriebenen Architektur mit seinen Einzelbausteinen handelt es sich jetzt um den „gemeinsamen Weg“, über den im BfS mehrere Ziele erreicht werden sollen, um bei dem Bild vom Beginn des Vortrags zu bleiben.

Umsetzungen des Konzeptes gab es bereits im Bereich der Öffentlichkeitsarbeit mit dem oben angesprochenen Internetauftritt <http://odlinfo.bfs.de>.

Als nächstes wird ein Geoportal des BfS folgen in dem man sich über die verfügbaren Daten des BfS informieren und diese Daten auch erhalten kann.

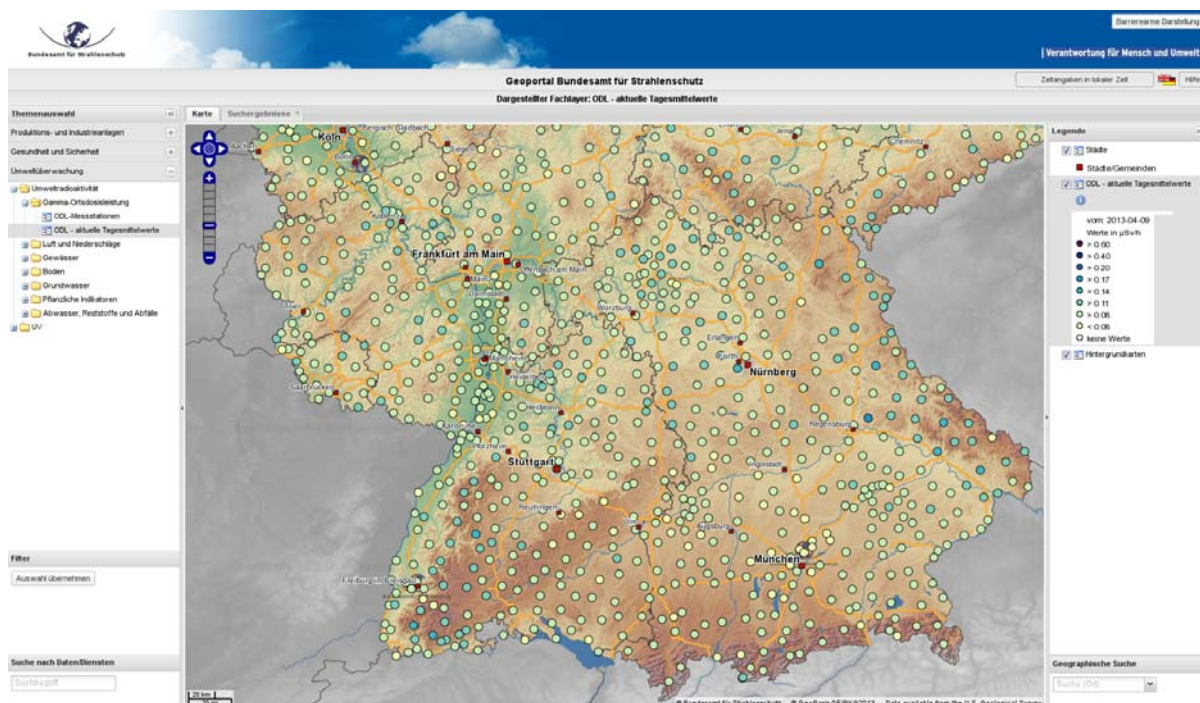
Die Datenrecherche erfolgt dabei durch die Eingabe eines Suchbegriffs. Daraufhin wird über einen Katalogdienst (CSW) in einer Datenbank nach Übereinstimmungen dieses Suchbegriffs mit den Metadaten der Daten / Dienste des BfS gesucht. Sofern es eine Übereinstimmung gibt, wird dem Nutzer zunächst eine Auswahl der wichtigsten Metadaten bereitgestellt. Sofern dies dem Anwender nicht ausreicht, kann er

selbstverständlich alle verfügbaren Informationen zu einem Datensatz / Dienst abfragen.

Für die Datensätze besteht die Möglichkeit sich diese direkt in der Karte anzeigen zu lassen.

Darüber können alle verfügbaren Daten auch direkt über ein thematisch sortiertes Auswahlelement (ähnlich einer Dateistruktur) in die Karte übernommen werden. Hier besteht – abhängig vom jeweiligen Datensatz – zusätzlich die Möglichkeit individuelle Filtereinstellungen (Zeitauswahl) vorzunehmen.

Über die Legende der Karte kann sich der Anwender zusätzliche Informationen anzeigen lassen oder auch die Daten mit den entsprechenden Filtereinstellungen herunterladen. Durch Klick auf einzelne Objekte in der Karte können zu den einzelnen Objekten Informationen abgefragt werden.



Das Geoportal des BfS wird noch in diesem Jahr online gehen und in einem ersten Schritt zumindest alle INSPIRE-relevanten Daten bereitstellen. Diese werden dann sukzessive um weitere Daten erweitert werden.

Für den Teil der graphischen Visualisierung werden die Komponenten des Geoportals auch die Basis für die Weiterentwicklung des IMIS bilden

Eine wichtige Leitlinie bei der Entwicklung der genannten Applikationen ist stets die Verwendung von OpenSource Softwarebibliotheken sowie das Bereitstellen des eigenen entwickelten Codes unter einer entsprechend freien Softwarelizenz.

# RFÜ-WEBGIS RHEINLAND-PFALZ | SAARLAND GEOGRAFISCHES INFORMATIONSSYSTEM (GIS) FÜR DEN KERNTÉCHNISCHEN NOTFALLSCHUTZ - MODULARES MONITORING IN STATU NASCENDI

## GEOGRAPHICALLY APPLICATION RFUE-WEBGIS RHINELAND-PALATINATE | SAARLAND

Christian Lindenbeck<sup>1</sup>, J. Kaiser<sup>1</sup>,  
R. Amthauer<sup>2</sup>, Y. Ren<sup>2</sup>, Thomas Wilbois<sup>2</sup>,  
B. Müller<sup>3</sup>, C. Seewald<sup>3</sup>,  
H. Fenn<sup>4</sup>, R. Hentzschel<sup>4</sup>, M. Maurer<sup>4</sup>

<sup>1</sup>*Firma in medias res, Freiburg/Breisgau, Deutschland*

<sup>2</sup>*Firma T-Systems GEI, Ulm, Deutschland*

<sup>3</sup>*Firma EES GmbH, Berlin, Deutschland*

<sup>4</sup>*Ministerium für Wirtschaft, Klimaschutz, Energie und Landesplanung, Mainz, Deutschland*

### Zusammenfassung

Die geografische Fachanwendung RFÜ-WebGIS integriert verschiedene FOSS (Free und Open Source Software) Technologien, um die relevanten Datenquellen der Reaktor-Fernüberwachung (RFÜ) in Rheinland-Pfalz und dem Saarland für die Belange des kerntechnischen Notfallschutzes grenzüberschreitend zusammenzuführen.

### Summary

The geographically application RFUE-WebGIS integrates various FOSS (Free and Open Source Software) technologies to bring together the relevant data sources of the reactor remote monitoring (RFUE) in Rhineland-Palatinate and Saarland for the interests of the nuclear emergency response across national borders.

### 1 Beschreibung der Software

Das Ministerium für Wirtschaft, Klimaschutz, Energie und Landesplanung (MWKEL) hat gemeinsam mit dem saarländischen Ministerium für Umwelt und Verbraucherschutz (MUV) i.S. der bestehenden Vewaltungsvereinbarung [1] ein webbasiertes geografisches Informationssystem (WebGIS) etabliert, in dem die Daten des Reaktorfernüberwachungssystems (RFÜ) mit einer grenzüberschreitenden Kartographie und externen Datenquellen integriert werden.

Das RFÜ-WebGIS Betriebssystem, der WebGIS-Server und die lokalen Datendienste sind mit einer lizenzkostenfreien, quelloffenen Software-Architektur (Free Open Source Software, FOSS) umgesetzt worden. Die Kartographie wurde aus der freien,

lizenzkostenfreien Weltkarte OpenStreetMap (OSM) mit den FOSS-Software Komponenten: imposm, GeoServer, MapServer und MapCache hergeleitet und bereitgestellt. Eine einheitliche grenzüberschreitende Kartographie ist die Datengrundlage des Projekts, auf der Kraftwerke und Messsonden in Frankreich, Luxemburg (geplant) und den angrenzenden deutschen Bundesländern integriert werden.

Die Datenquellen sind in einzelne Ebenen (Layer) gegliedert, die im RFÜ-WebGIS-Client aktiviert werden können: Die Messsonden-Netze der Länder Rheinland-Pfalz und des Saarlands, deren mobile Sonden, das komplette ODL-Netz des Bundesamtes für Strahlenschutz (BfS) mit rd. 1.800 Messgeräten, sowie die Sonden der französischen Betreiber werden ergänzt um Ebenen mit den Sektor-Geometrien, den Standorten von ABC-Erkundungsfahrzeugen, den Standorten der Iod-Ausgabestellen und den KKW-Standorten weltweit. Diese Ebenen werden auf dem RFÜ-WebGIS Server in Form von OGC-konformen (Open Geospatial Consortium) Diensten lokal bereit gestellt. Dazu ist eine GIS-fähige relationalen Datenbank (PostgreSQL/PostGIS) als Datenquelle mit MapserverSoftware (UMN-Mapserver und GeoServer) verbunden. Aus externen Diensten sind die aktuellen Pegelstände des Messnetzes der Wasser- und Schifffahrtsverwaltung des Bundes (WSV) und der Geoserver des Deutschen Wetterdienstes (DWD) angebunden. Die Daten werden in unterschiedlichen Zeitinkrementen in die Datenbank importiert. Weitere Schwerpunkte des Projekts sind die Darstellung von ODL-Messwerten als Zeitreihen und spezifische Lösungen zur Visualisierung meteorologischer Informationen.

Die Bereitstellung der Geodaten ist mit UMN-MapServer, MapCache und Geoserver auf der Basis von PostgreSQL und PostGIS realisiert. OpenLayers- im zentralen Teil des GIS-Frontend - ist mit dem Pyramid Web Application Development Framework integriert. Der Python-Code im Pyramid-Webframework übernimmt grundlegende Dienste wie die Authentifizierung und Autorisierung, die nicht von OpenLayers abgedeckt werden. Mit dem Pyramid Webframework sind auch spezifische Kartenviewer-Funktionalitäten als Modulerweiterungen um den Kern von OpenLayers organisiert. Der Kartenviewer bedient sich damit einer Persistenzschicht, die via SQLAlchemy an verschiedene Backends gekoppelt werden kann. RFÜ-WebGIS nutzt dazu PostgreSQL, das auch zur Geodatenhaltung eingesetzt wird. Der gesamte Quellcode, der ausserhalb der unveränderten Basissoftware das Gerüst und die Module des RFÜ-WebGIS bilden, wird in GIT-Repositories verwaltet und gesichert. Die Development-Versionen werden in eigenen Branches von verschiedenen Teams parallel entwickelt und durchlaufen als Webapplikation ausgearbeitete Test-Fahrplänen, die mit der Methodik des Selenium-Toolkits aufgebaut sind, bevor Branches wieder in die Live-Version gemerged werden.

## **2 Module der Software**

Das RFÜ-WebGIS System integriert verschiedene FOSS (Free and Open Source Software) Technologien, um die relevanten Datenquellen der Reaktor-Fernüberwachung in Rheinland-Pfalz grenzüberschreitend zusammenzuführen. Mehrere relationale Datenbanken sind dazu mit dem System PostgreSQL aufgebaut worden, die auch GIS-Funktionalitäten (mit PostGIS-Erweiterung) auf Datenbankebene bieten, bezeichnet als 'spatial enabled'. Für das Rechte- und Rollenmanagement der Datenbankschicht steht mit der Software phppgadmin ein graphisches Webtoolkit zur Verfügung, mit dem auch gängige Datenbank Operationen unterstützt werden.

Eine spezifische - in der quelloffenen Sprache Python implementierte - Processing-Schicht umgibt diese Datenbanken und sorgt für die z.T. in 10 Minuten Inkrementen ablaufende Aktualisierung, die von UNIX Gran Mechanismen getriggert wird. Eine ganze Reihe spezialisierter Import-Tools bereitet Daten unterschiedlicher Formate und Referenzsysteme auf, um Sie in OGC Simple Feature konformer Weise in die Datenhaltung zu integrieren oder für Übungen im Rahmen des Katastrophenmanagements zu simulieren.

Die Bereitstellung der aufbereiteten Daten geschieht OGC-konform als WMS (WebMappingService) oder WFS (WebFeatureService) Dienst. Dazu wird die eine weitere Zwischenschicht in der Architektur eingesetzt: Der hochintegrierte Geoserver konnektiert die Datenbanken und transformiert mit zum Teil parametrisierten SQL-Views Datenbankinhalte in OGC-konforme Dienste. Die Verwaltung der Metadaten, sowie des darstellungsrelevanten Regelwerks in Form der SLDs (Styled Layer Descriptoren), geschieht innerhalb der graphischen Oberfläche des Geoserver. Mit den im Geoserver validierten SLDs werden die Attribute zur Darstellung der WMS-Dienste definiert. Dieser Ansatz entspricht ebenfalls einer OGC-standardisierten Vorgehensweise.

Ein Seitenzweig der RFÜ-WebGIS Datenbereitstellung ist die eigene, grenzüberschreitende Kartographie. Auf der Basis der OpenStreetMap Daten verschiedener europäischer Länder, wird diese Kartographie mit dem UMN-Mapserver entsprechend einer umfangreichen, Maßstabs-abhängigen Mapping-Vorschrift gerendert und in ein Kachelschema abgelegt. Dazu werden die OSM-Daten mit der Software imposm als räumliche Objekte in die PostgreSQL/PostGIS Datenbank importiert.

Mit der Software MapCache wird die Kacheldatenhaltung persistent angelegt, so dass Anfragen aus einem sog. Map-Cache bedient werden können, ohne dass der MapServer die vektoruell gespeicherten OSM Informationen aus der Datenbank für jede Kachel neu interpretieren müsste. Ein Seeding-Verfahren des MapCache erlaubt den strukturierten, vom Mapping Betrieb abgekoppelten, Aufbau des Caches.

Als Webmapping-Client kommt Openlayers zum Einsatz. Hier werden alle externen und intern aufgebauten Dienste mit der Kartographie zusammengeführt. Das User-Interface ist mit Javascript, jQuery/UI und HTML DIV-Elementen umgesetzt. Die Openlayers Funktionalität wird durch spezielle Module, wie zum Beispiel Mapfish-Print, erweitert.

Als Webframework wird Pyramid eingesetzt, um spezifische Funktionalitäten im Webmapping-Client zu ergänzen und eine Datenbank Persistenzschicht anzubinden. Alle Module in dem Pyramid Webframework werden in Python implementiert. So wurde die Authentifizierung und Autorisierung und das KMZ-Upload-Modul in RFÜ-WebGIS mit dieser Technologie umgesetzt.

Das Workspace|View-Modul dient zur strukturierten Verwaltung von Szenarien (Lagen), denen spezifische Sichten (Views) zugeordnet werden können. Ein Sicht (View) definiert die Kartenansicht und eine ausgewählte Einstellung aller im Kartenausschnitt sichtbaren Daten-Ebenen (Layer). Rollenbasiert können diese Szenarien 3-sprachig (englisch, französisch, deutsch) dargestellt werden.

Das zurzeit im Aufbau befindliche KMZ-Upload-Modul stellt rollenabhängig Dialoge bereit, um KMZ-Dateien als eigene Layer ins RFÜ-WebGIS zu laden. Die Entwicklung orientierte sich an den Maßgaben der ABRRechnungs-Exporte aus dem KFÜ-Clients (64bit-Fachanwendung) und der ABR-Software Pluto. Die im KMZ enthaltenen Grafiken werden als Binary Large Objects (BLOBs) in der PostgreSQL-Datenbank gehalten. Die Integration diskreter Uploads ins RFÜ-WebGIS ist vollständig, d.h. die dynamischen Ebenen (Layer) können mit dem Workspace|View-Modell gehandhabt werden.

Als Backend der Pyramid-Module wird in der Live-Version eine PostgreSQL-Datenbank verwendet. Die Entwicklungsversionen nutzen SQLite. Zwischen Datenbanken und Pyramid-Modulen wird SQLAlchemy als Abstraktions-Layer eingesetzt, womit das Backend in weiten Grenzen variieren kann. Strukturänderungen und Updates werden mit Alembic verwaltet.

Der gesamte Quellcode-Baum des RFÜ-WebGIS wird mit der Versionierungs-Software GIT gemanaged. GIT ist ebenso wie alle anderen beteiligten Software-Technologien, inklusive des Betriebssystems, Open Source Software (FOSS).

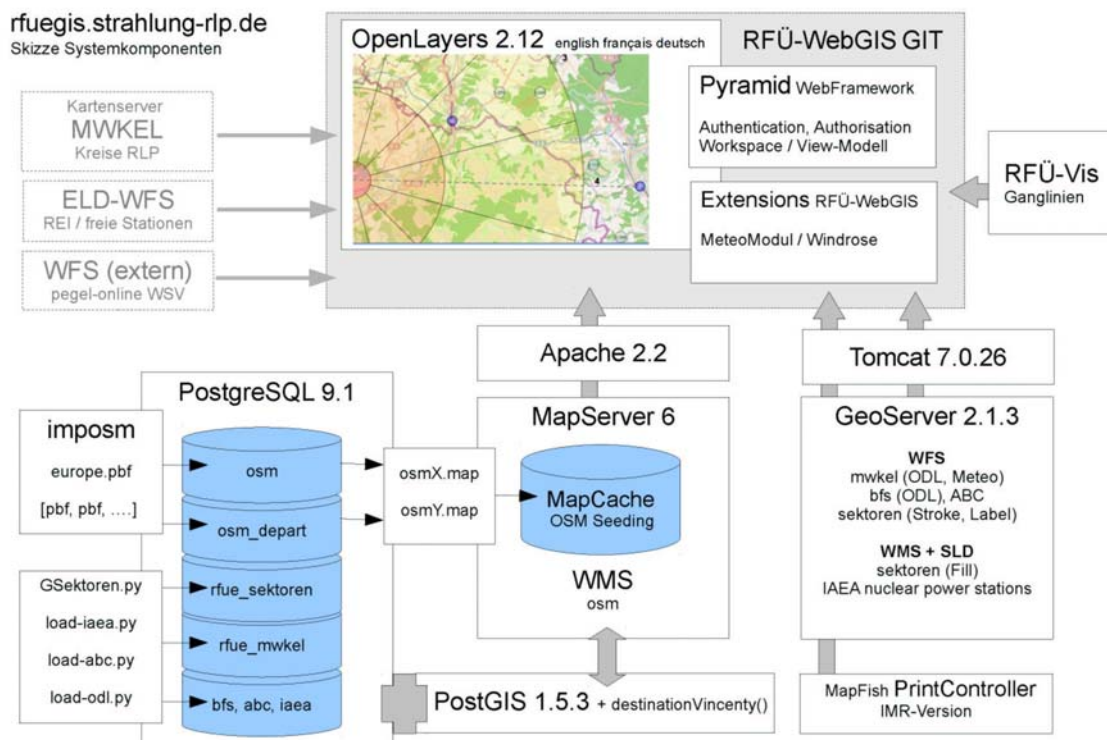


Abb. 1: Skizze Systemkomponenten rfuegis.strahlung-rlp.de

## 2.1 Ebene Sektoren

Für die Bereich Biblis (D), Cattenom (F), Fessenheim (F) Mülheim-Karlich (D), Philippsburg (D) und Tihange (B) können die Sektor-Geometrien (Zentral-, Mittel-, Außen- und Fernzone) mit Sektorenbeschriftung und unterschiedlichen Farben visualisiert werden.



## 2.2 Ebene Ortsdosisleistung

Die 10-Minuten-Mittelwerte der Ortsdosisleistung (ODL) von den Messnetzbetreibern: ASN (F), IRSN (F), Bundesamt für Strahlenschutz (BfS), Landesanstalt für Umwelt, Messungen und Naturschutz Baden-Württemberg (LUBW Karlsruhe), Hessisches Landesamt für Umwelt und Geologie (HLUG Darmstadt), Landesamt für Umwelt, Wasserwirtschaft und Gewerbeaufsicht (LUWG Mainz) und Landesamt für Umwelt und Arbeitsschutz (LUA Saarbrücken) können als jeweils eigene Ebene im Rahmen der zugewiesenen Zugriffsrechte visualisiert werden. Die Daten werden im 10-Minuten-Takt aktualisiert.

## 2.3 Ebene Wetter

Niederschlag, Windrichtung und Windgeschwindigkeit der synoptischen Messstationen des Deutschen Wetterdienstes (DWD) sowie der 24h-Niederschlag als aufsummiertes Endergebnis der Aneicherung nach Durchführung der gewichteten Mittelung von Differenzen- und Faktorenverfahren für Deutschland in 1km-Auflösung und stündlicher Aktualisierung als WFS-Dienst können visualisiert werden. Die synoptischen Daten werden im 10-Minuten-Takt aktualisiert. Einzelinformationen können mit Mausclick vom Geoserver des DWD angefragt und in einer Oneklick-Box angezeigt werden. Ebenso können Niederschlag, Windrichtung und Windgeschwindigkeit der drei LUA/LUWG-Wetterstationen in Berus, Biringen und Perl - ausgestattet mit 2D-Anemometern - dargestellt werden. Die Daten werden im 10-Minuten-Takt aktualisiert.



Abb. 2: WFS- DWD Niederschlag 24h | Legende Niederschlag | Onklick-Box

## 2.4 Ebene ABC-Erkunder

Das Fahrzeug – ABC-ErkKW – ist zum Messen, Spüren und Melden radioaktiver und chemischer Kontaminationen und Quellen sowie dem Kennzeichnen und Überwachen kontaminierter Bereiche geeignet. Die bei einer Messfahrt gewonnenen ODL-Messwerte im 1-Sekunden-Takt können ins die Fachanwendung RFUE-WebGIS hochgeladen und dort visualisiert werden.

## 2.5 Ebene Keyhole Markup Language (KML/KMZ)

Keyhole Markup Language (KML) ist eine Auszeichnungssprache zur Beschreibung von Geodaten für die Client-Komponenten der Programme Google Earth und Google Maps [2]. Im RFUE-WebGIS können von privilegierten Benutzer KMZ-Dateien über die Benutzeroberfläche hochgeladen werden einschließlich der dreisprachigen Namensvergabe/-zuordnung.

## 2.6 Ebene ODL Zeitreihe

Im Rahmen der zweiten Ausbaustufe 2012 des Geografischen Informationssystems für die Fernüberwachung kerntechnischer Anlagen (RFÜ) von Rheinland-Pfalz und des Saarlands, wurde eine Darstellung von ODL-Messwerten ähnlich zu der in PEGELONLINE <http://pegelonline.wsv.de/webservice/dokuInteraktivVis> entwickelt. Die Darstellung ist innerhalb des RFÜ WebGIS-Clients über einen Link aufrufbar und im Webbrowser darstellbar. Die Visualisierung umfasst sowohl eine grafische als auch eine tabellarische Darstellung der Messwerte. Weiterhin können die Daten auch vom Anwender im Browser als CSV und XML exportiert werden. Der Abruf der Messwerte erfolgt direkt aus der zentralen Datenquelle des ODL-Messnetzes Rheinland-Pfalz/Saarland (Oracle 10g ohne Spatial Erweiterung). Für die Entwicklung des Visualisierungsmoduls wurden die Open Source Software Komponenten: Apache Tomcat, JFreeChart und GWT zum Einsatz gebracht.

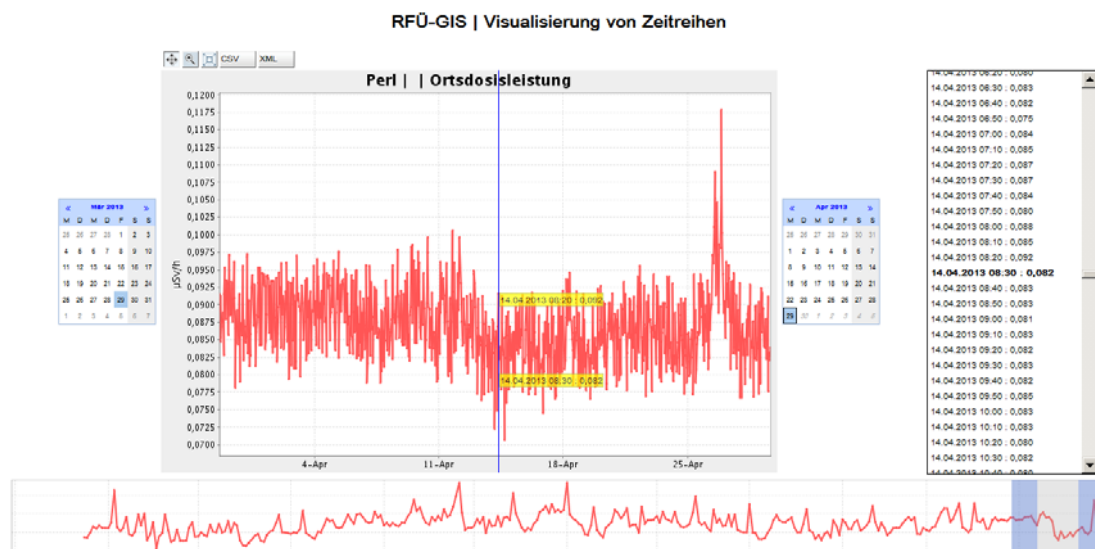


Abb. 3: Grafische und tabellarische Darstellung einer ODL-Zeitreihe | Messgerät Perl

## 2.7 Funktion Location | Views

Das Workspace|View-Modul dient zur strukturierten Verwaltung von Szenarien (Lagen), denen spezifische Sichten (Views) zugeordnet werden können. Ein View definiert die Kartenansicht und eine ausgewählte Einstellung aller im Kartenausschnitt sichtbaren Daten-Ebenen. Rollenbasiert können diese Szenarien mit einem Tool dreisprachig administriert werden. Einem Workspace können n-Views zugeordnet werden. Eine Standard-Sicht (default) ist vom Administrator festlegbar.

## 2.8 Funktion Drucken

Direkt aus RFUE-WebGIS können Karten im Format A4 | A0 mit einer Auflösung von 72-288 dpi im Maßstab ab 1:15.000 mit einer individuellen Kopf- und Fußzeile gedruckt werden. Der Ausdruck erfolgt mit Ebeneninhalten in das Format PDF. Außerdem wird die Navigation über PDF-Ebenen in diesen Inhalten unterstützt.

## 2.9 Ebene Wasser- Schifffahrtsverwaltung Deutschland (WSV)

PEGELONLINE stellt kostenfrei tagesaktuelle Rohwerte verschiedener gewässerkundlicher Parameter (z.B. Wasserstand) der Binnen- und Küstenpegel der Wasserstraßen des Bundes bis maximal 30 Tage rückwirkend zur Ansicht und zum Download bereit. RFUE-WebGIS bindet PEGELONLINE als WFS-Dienst ein.

## 2.10 Ebene Elektronische Lagedarstellung Rheinland-Pfalz | Saarland (ELD)

Zur Darstellung von radiologischen Lagen wird die Fachanwendung ELD (Elektronische Lagedarstellung) auf der Basis des CMS-Systems WebGenesis<sup>®</sup> des Fraunhofer Institutes in Rheinland-Pfalz/Saarland eingesetzt.

Innerhalb der Webanwendung ELD werden auch die ODL-Einzelmessungen der fachkundigen Feuerwehrspürtrupps erfasst und in der Webgenesis-Datenbank abgelegt. Zur Darstellung dieser ODL-Messwerte wurde ein eigener WFS-Dienst innerhalb der ELD entwickelt.

## 2.11 Ebene IOD-Ausgabestelle und REI-Messpunkte

Im RFUE-WebGIS werden die Standorte der Iod-Ausgabestellen und die Messpunkte nach REI georeferenziert dargestellt; Details können über OneKlickboxen abgerufen werden.

## 3 Nutzungsrechte

Gemäß den abgeschlossenen EVB-IT-Verträgen ist das MWKEL Rheinland-Pfalz und das MUV Saarland berechtigt, Dienststellen und Einrichtungen außerhalb unseres Bereiches einfache, nicht übertragbare Nutzungsrechte kostenfrei einzuräumen.

## 4 Schlussfolgerungen

Für die Fachanwendung RFUE-WebGIS wird ausschließlich FOSS (Free and Open Source Software) eingesetzt. Die GIS-Anwendung kommt sowohl im täglichen Messwerte-Monitoring, aber insbesondere bei den routinemäßigen Stabsrahmenübungen zum Einsatz und unterstützt dabei die Fachberater Strahlenschutz bei der radiologischen Lagebeurteilung. Die Konzeption und Umsetzung im Rahmen einer Dienstebasierten Architektur für das Katastrophenmanagement hat sich dabei als sehr flexibel herausgestellt. Der konsequente Einsatz **quelloffener Software** ist ein wesentlicher Aspekt der **Zukunftssicherheit** der Gesamt-Lösung.

## 5 Danksagung

Besonderen Dank gilt dem Ministerium für Umwelt, Klima und Energiewirtschaft Baden-Württemberg für die kostenfreie Bereitstellung der Programme: KFÜ-Client, Ausbreitungsrechnung des Institutes für Kernenergetik und Energiesysteme der Universität Stuttgart und dem WebGenesis<sup>©</sup>-KFÜ-Portal im Rahmen der bestehenden Kooperationsvereinbarung mit dem Land Rheinland-Pfalz [3].

## 6 Literatur

- [1] Verwaltungsvereinbarung zwischen dem Saarland, vertreten durch den Minister für Umwelt, Raumordnung und Bauwesen und dem Land Rheinland-Pfalz, vertreten durch den Minister für Soziales, Gesundheit und Umwelt, über die Umgebungsüberwachung des Kernkraftwerkes Cattenom vom 27. September 1983 (GMBI. Saar 1983, S. 281)
- [2] [http://de.wikipedia.org/wiki/Keyhole\\_Markup\\_Language](http://de.wikipedia.org/wiki/Keyhole_Markup_Language)
- [3] Kooperationsvereinbarung auf dem Gebiet der Kernreaktor-Fernüberwachung mit dem Ministerium für Umwelt und Verkehr Baden-Württemberg vom 28.06.2001

## **DIE EINSATZDOKUMENTATION DES LANDESAMTES FÜR UMWELTSCHUTZ SACHSEN-ANHALT ZUM IMIS- INTENSIVMESSPROGRAMM - ANSPRUCH UND WIRKLICHKEIT**

THE DOCUMENTATION OF READINESS OF THE LANDESAMT OF ENVIRONMENTAL PROTECTION OF SAXONY-ANHALT IN CASE OF INTENSIVE MEASURING PROGRAM OF IMIS – PRETENSION AND REALITY

Dr. F. Hänsel

*Landesamt für Umweltschutz Sachsen-Anhalt, Halle/S., Deutschland*

### **Zusammenfassung**

Zur Vorbereitung nationaler und internationaler Übungen bzw. als praktische Handlungsanweisung für den IMIS- Intensivfall wurde im Landesamt für Umweltschutz Sachsen-Anhalt seit 2001 eine Einsatzdokumentation für das IMIS- Intensivmessprogramm erarbeitet.

Diese Dokumentation, die einer ständigen Aktualisierung unterliegt, beinhaltet praktische und organisatorische Hinweise zur Alarmierung, Probenahme, Probenvorbereitung und Schnellmethoden im IMIS-Intensivmessfall.

Es sollen Ziel, Aufbau und Inhalt der Einsatzdokumentation dargestellt werden.

Am Beispiel der Herbstübung 2012 zum IMIS- Intensivmessprogramm wird die Praxistauglichkeit der Einsatzdokumentation aufgezeigt. Es wird aufgezeigt, dass die Landesmessstellen Sachsen- Anhalts personell, organisatorisch und messtechnisch den unterschiedlichen Anforderungen des IMIS-Intensivmessprogrammes gewachsen sind.

### **Summary**

The documentation of readiness of the Landesamt of environmental protection of Saxony-Anhalt for the IMIS intensive measuring program was worked out since 2001 not only for preparing national and international exercises but also in the case of an accidental contamination of the environment.

This documentation contains practical and organizational references for alarm, sampling, sample preparation and analytical tests in case of intensive measuring program of IMIS.

The IMIS exercise in the autumn 2012 has shown the fitness of this documentation in the practice.

The laboratories for environmental radioactivity of Saxony-Anhalt should be able to meet all requirements of an intensive measuring program of IMIS.

### 1 Ziel der Einsatzdokumentation

Diese Loseblattsammlung wurde seit 2001 im Landesamt für Umweltschutz Sachsen-Anhalt erarbeitet und unterliegt einer ständigen Aktualisierung. Sie stellt eine praktische Handlungsanweisung für den IMIS-Intensivmessfall und ermöglicht eine effektive Zusammenarbeit mit Probenehmern und Fremdbehörden. Die Einsatzdokumentation ist variabel einsetzbar für die unterschiedlichen Anforderungen des IMIS-Intensivmessfalles.

### 2 Aufbau und Inhalt der Einsatzdokumentation

Die Einsatzdokumentation gliedert sich in folgende Hauptabschnitte:

- Übersicht über die Messphasen des Intensivmessprogrammes, Mengengerüst und Nachweisgrenzen im Intensivmessfall sowie Alarmpläne und Erreichbarkeitsdaten aller beteiligten Behörden
- Tourenpläne für Probenehmer und Einsatzplan für die LMSt. „Süd“ im Mehrschichtbetrieb
- Hinweise zur Probenahme und Ausrüstung der Probenehmer
- Probenvorbereitung
- Hinweise auf Schnellmethoden
- Probenentnahmeorte für alle im Intensivmessfall geforderten Umweltmedien mit räumlicher Verdichtung

### 3 Übersicht über die eingebundenen Behörden des Landes Sachsen-Anhalt bei der Probenahme

*Tabelle 1: Übersicht der eingebundenen Behörden*

Behörde	Anzahl der Touren	Anzahl der Probenehmer	Bereitzustellende Proben
LAU, LMSt. „Süd“	8	8	21/Tag 24/Woche
LAU, LMSt. „Nord“	1	1	4/Tag 6/Woche
LHW	5	5	14/Tag 19/Woche

LAU – Landesamt für Umweltschutz Sachsen-Anhalt mit 2 Landesmessstellen

LHW – Landesbetrieb für Hochwasserschutz und Wasserwirtschaft

#### 4 Tourenpläne zur Probenahme

In Phase 2 des IMIS- Intensivmessprogrammes werden in Sachsen-Anhalt täglich 14 Touren gefahren. Für die tägliche Probenahme der Indikatormedien Weidegras und Blattgemüse wurde je Landkreis (11) eine Probenahmestelle gewählt. Milch wird täglich in den 5 Molkereien Sachsen-Anhalts sowie einmal Hofmilch vom Erzeuger genommen.

*Tabelle 2: Ausschnitt aus dem Tourenplan für die Probenahme im Intensivmessfall-Phase 2*

Nr.	Probenmedium	Probenahmeort landkreisbezogen (tägliche Probenahme)	Probenahmeort (wöchentliche Probenahme)	Probenehmende Einrichtung
1	Weidegras Weidegras Blattgemüse Blattgemüse	Wannefeld Magdeburg Loitsche Magdeburg	Magdeburg (MVA) Abbandorf, Letzlingen (Getreide,Mais,Futter- mittel) Loitsche, Magdeburg (Obst)	LHW, Magdeburg
2	Weidegras Oberflächenwasser Oberflächenwasser Milch	Schollene Schollene Arendsee Bismarck	Salzwedel (Abwasser, Klärschlamm) Schollene (Getreide, Mais, Futtermittel)	LAU, LMSt. „Nord“, Osterburg
3	Milch Blattgenüse Weidegras Weidegras	Weißenfels Teuchern Kreypau Göbitz	Zorbau (MVA) Weißenfels (Fleisch) Teuchern (Obst)	LAU, LMSt. „Süd“, Halle
4	Weidegras Weidegras Blattgemüse Milch	Wartenburg Dessau Wittenberg Jessen	Dessau (Abwasser, Klärschlamm) Cobbelsdorf (Getreide,Mais)	LHW, Wittenberg

#### 5 Probenahme im IMIS-Intensivmessfall

Die Besonderheit bei der Probenahme im Landesamt für Umweltschutz Sachsen-Anhalt besteht darin, dass die Mehrzahl der Probenehmer (9) aus dem eigenen Haus kommt. Nur 5 externe Probenehmer kommen zum Einsatz. Es finden regelmäßige Schulungen der Probenehmer hinsichtlich der Qualitätsanforderungen an die Probenahme.

Die Einsatzdokumentation wird kontinuierlich geprüft auf die Aktualität der Probenahmeorte.

Die Ausrüstung der Probenehmer im Ereignisfall wurde auf der Grundlage der Infobroschüre des BfS zur Probenentnahme und Probenbehandlung im Intensivmessfall vom 14.06.2012 zusammengestellt.

Die Einsatzmappe für die Probenehmer hat folgenden Inhalt:

- Deckblatt der Mappe (Tour-Nr., Probenahmeorte, Probenahmemedien)
- Beschreibung der Probenahmeorte mit Adresse, Ansprechpartner mit Telefonnummer, Koordinaten, evtl. Fotos)
- Anfahrtsbeschreibung für die kürzeste Wegstrecke
- Beschreibung der Probenahme (Häufigkeit, Probenmenge, Probenart)
- Zeiterfassungsblatt = Probenahmeprotokoll sowie Kugelschreiber
- Legitimation des Landesamtes für Umweltschutz zur Probenahme = Probenehmerausweis

Die sogenannte „Einsatzkiste“ für Probenehmer beinhaltet Folgendes:

- Tourenmappe
- Probeentnahmegeräte tourenabhängig (Graschere, Spaten, Wasserprobenahme)
- Leergut/Verpackung (Marinellibecher, Folientüten, Plastiksäcke)
- Arbeitshandschuhe bzw. Einweghandschuhe
- Utensilien für die Reinigung der Arbeitsgeräte bzw. Abfallentsorgung

## 6 Die Einsatzdokumentation im Praxiseinsatz – IMIS-Herbstübung 2012

Für die Probenahme von Milch, Weidegras, Obst und Blattgemüse wurden die Probenahmetouren landkreisbezogen und Fahrstrecken optimiert zusammengestellt. Es kamen 9 Probenehmer des LAU und 5 Probenehmer des LHW zum Einsatz. Insgesamt wurden in der 48. KW 2012 492 Proben gammastrahlungsmessungsmäßig untersucht. Das entspricht dem geforderten Mengengerüst des IMIs-Intensivmessprogrammes. An 2 Übungstagen fand die tägliche Probenahme mit je 14 Touren statt. Die Wochenproben wurden ohne externe Probenehmer auf 3 Touren verteilt. Außerdem kamen Rückstellproben von Getreide und Futtermitteln aus der Erntezeit zum Einsatz. An 2 Tagen wurden flächendeckende in-situ-Messungen durchgeführt. Zur Probenvorbereitung wurde eine zusätzliche Fremdkraft im Labor eingesetzt.

*Tabelle 3: Übersicht der bearbeiteten Proben während der Herbstübung 2012 in beiden LMSt. Sachsen-Anhalts*

Übungstag	Proben während der Übung genommen	Rückstellproben	Anzahl der Touren
26.11.2012	66	17	14
27.11.2012	69	18	14
28.11.2012	16	102	2
29.11.2012	8	95	1
30.11.2012	8	93	1

## 7 Auswertung und Ergebnisse



Die Einsatzdokumentation wird jeweils an die speziellen Bedingungen einer Übung oder eines Ereignisfalles angepasst. Durch optimale Probenahmetouren liegen die Messergebnisse innerhalb weniger Stunden im IMIS-System vor. Die Einsatzdokumentation bildet eine wertvolle Grundlage und ein optimales Arbeitswerkzeug, damit die LMSt. Des Landes Sachsen-Anhalt die Anforderungen des IMIS-Intensivmessprogrammes sowohl vom Umfang als auch von der Qualität her erfüllen können. Die IMIS-Herbstübung 2012 hat aufgezeigt, dass das Land Sachsen-Anhalt personell, messtechnisch als auch organisatorisch in der Lage ist, die unterschiedlichen Anforderungen des IMIS-Intensivmessprogrammes umzusetzen.

## **8 Literatur**

- [1] Allgemeine Verwaltungsvorschrift zum integrierten Mess- und Informationssystem zur Überwachung der Radioaktivität in der Umwelt (IMIS) nach dem Strahlenschutzvorsorgegesetz (AVV-IMIS) vom 13.12.2006, Anlage 2: Messprogramm für den Intensivbetrieb (Intensivmessprogramm)
- [2] Informationsbroschüre zur Probenentnahme und Probenbehandlung im Falle von erhöhter Freisetzung radioaktiver Stoffe in die Umwelt (IMIS-Intensivmessprogramm) vom 14.06.2010

## **HERAUSFORDERUNGEN FÜR DEN ANLAGENEXTERNEN NOTFALLSCHUTZ BEI LANG ANDAUERNDEN FREISETZUNGEN**

F. Gering

*Bundesamt für Strahlenschutz, Oberschleißheim, Deutschland*

### **Kurzfassung**

Wie sich anhand des Unfalls im Kernkraftwerk Fukushima Dai-ichi deutlich gezeigt hat, steht der anlagenexterne Notfallschutz insbesondere bei lang andauernden und schwerwiegenden Freisetzen vor besonderen Herausforderungen. Es wurden Simulationen der Ausbreitung nach derartigen hypothetischen Freisetzen für einige deutsche Kernkraftwerk-Standorte durchgeführt. Dabei wurden der Einfluss unterschiedlicher Annahmen für Freisetzungsdauer, Wetterbedingungen und Standort untersucht. Mögliche Konsequenzen für die Notfallschutz-Planung in Deutschland werden vorgestellt und diskutiert.

## **WORKSHOP C2: FORTENTWICKLUNG IM NOTFALLSCHUTZ UND IN DER UMWELTÜBERWACHUNG**

Moderation: M. Neumann<sup>1</sup>, C. Höbler<sup>1</sup>, C. Härtel<sup>2</sup>

<sup>1</sup>*Bundesamt für Strahlenschutz*

<sup>2</sup>*Niedersächsischer Landesbetrieb für Wasserwirtschaft, Küsten - und  
Naturschutz (NLWKN)*

### **Zusammenfassung**

Die Einführung in das Thema erfolgte anhand eines kurzen Vortrages. Vorgestellt wurden die prinzipiellen Motivationen und Strategien der KOALA (*Komponenten-orientierte Architektur mit langfristiger Ausrichtung*)-Entwicklungszyklen zur Neugestaltung des IMIS mit den darin vorgesehenen schrittweisen Erweiterungen des Funktionsumfangs.

Auf die geplante Entwicklung im Bereich der Verarbeitung von Bundes- und Landesdaten, die nach §3 StrVG erfasst werden, wurde speziell eingegangen.

Eine der primären Zielstellungen ist hierbei die Einführung einer weitestgehenden Modularisierung der einzelnen Softwarekomponenten. Dabei sollen intern standardisierte Schnittstellen zwischen den Modulen und Prozessen zum Einsatz kommen.

Im Verlaufe der Diskussion wurde explizit auf den Bestandsschutz bezüglich der aktueller Datenformat-Schnittstellen zu externen Systemen hingewiesen. Damit soll sichergestellt werden, dass speziell auf Seiten der Daten liefernden Landessysteme (LIMS) keine diesbezüglichen Umstellungsarbeiten notwendig werden.

Auf die Gewährleistung der intuitiven Benutzbarkeit der neu zu entwickelnden Bedienoberflächen für entsprechende Programmmodule als einen der Grundsätze der Entwicklung wurde ebenfalls hingewiesen.

Es wurde in der weiteren Diskussion noch einmal deutlich auf die zunehmende Akzeptanz und Verlässlichkeit und damit auch die zunehmende Nutzung von Open-Source-Software allgemein und speziell im Bereich behördlicher Anwender verwiesen. Dieser Tendenz, mit ihren entsprechenden in anderen Vorträgen bereits genannten Vorteilen, wird auch im KOALA-Prozess Rechnung getragen.

Ein weiterer Diskussions-Punkt war die Weiterentwicklung des bewährten ELAN-Informations-Konzeptes. Als eine der wesentlichen Kernapplikationen des Notfallschutzsystems des BfS wird in der weiterentwickelten Plattform als Zusammenführung von ELAN und dem derzeitigen Dokumentensystem des IMIS zukünftig der effizientere Zugriff auf alle entsprechend strukturiert abgelegten Informationen für den Notfallschutz und die Strahlenschutzvorsorge ermöglicht werden.

Als einer der wesentlichen Punkte der Diskussion stellte sich die Frage der Sicherstellung der Netzverfügbarkeit für Systeme mit Notfallschutzaufgaben heraus. Vertre-

ter von Bundes- und Landesbehörden erwarten hierzu eine entsprechende Sensibilisierung der verantwortlichen Strukturen und in deren Folge die Einleitung zielführender Maßnahmen unter der Berücksichtigung der Interessen aller hieran beteiligten Institutionen.

## LABORDATENVERARBEITUNG IN IMIS UND LABORINFORMATIONSSYSTEMEN

M. Neumann<sup>1</sup>, M. Stanko<sup>1</sup>, R. Krais<sup>2</sup>

<sup>1</sup>*Bundesamt für Strahlenschutz, Berlin*

<sup>2</sup>*Bundesamt für Strahlenschutz, Freiburg*

### **Kurzfassung:**

Die Aufgaben der Verarbeitung von Radioaktivitätsmessdaten an Proben zur Umweltradioaktivitätsüberwachung, wie sie in Labors anfallen, werden angesprochen. Möglichkeiten der Unterstützung durch Informationstechnik sollen diskutiert werden. Die spezifischen Anforderungen der Labordatenverarbeitung in IMIS werden vorgestellt. Die Anforderungen an Laborinformations- und Managementsysteme sollen diskutiert werden. Das Konzept der informationstechnischen Lösung für IMIS kann ggf. auch als Grundlage für ein Laborinformations- und Managementsystem (LIMS) dienen. Dies wird erläutert und soll mit interessierten Teilnehmern diskutiert werden. Dabei werden sowohl Aspekte der Datenmodellierung als auch der Funktionen besprochen.

# Einsatz von Modell- und Informationssystemen

## Vorträge:

### Sitzungsleitung: Hr. Salfeld, Hr. Gering

- Vergleich von Ausbreitungsrechnungen zur Rekonstruktion der Ablagerung nach dem Unfall in Fukushima  
*B. Gerich, K. Arnold, H. Walter, F. Gering* ..... 133
- Atmosphärische Transportmodellierung für das Radionuklidmessnetz zur Überwachung des Kernwaffenteststoppvertrages im Regelbetrieb und nach den Freisetzen in Fukushima  
*J.O. Roß, L. Ceranna, C. Bönnemann, C. Schlosser* ..... 134
- Validierung der Gammasubmersionsberechnung im Rahmen der KFÜ Baden-Württemberg  
*W. Scheuermann, W. Bernnat, T. Wilbois, C. Krass, A. Lurk* ..... 142
- Probabilistische Rechnungen und Sensitivitätsanalyse von Parametern für ein Referenzbiosphärenmodell zur Endlagerung von radioaktiven Abfällen  
*C. Staudt, J. C. Christian Kaiser* ..... 158

## Poster:

- Ermittlung der potenziellen Strahlenexposition der Bevölkerung in der Umgebung der Schachanlage Asse II infolge Ableitung radioaktiver Stoffe mit den Abwettern im bestimmungsgemäßen Betrieb mittels des „Atmosphärischen Radionuklid-Transport-Modells“ ARTM  
*D. Esch, C. Wittwer* ..... 165

## Workshop B2:

### Einsatz von Modellsystemen bei lokalen und globalen Ereignissen

#### Moderation: M. Bleher, F. Gering

- Schnelle Abschätzung der unfallbedingt auf dem Boden abgelagerten Radionuklide  
*M. Bleher, B. Gerich, F. Gering, R. Luff* ..... 170

## **VERGLEICH VON AUSBREITUNGSRECHNUNGEN ZUR REKONSTRUKTION DER ABLAGERUNG NACH DEM UNFALL IN FUKUSHIMA**

B. Gerich, K. Arnold, H. Walter, F. Gering  
*Bundesamt für Strahlenschutz, Oberschleißheim, Deutschland*

### **Kurzfassung**

Nach dem Unfall im Kernkraftwerk Fukushima Dai-ichi wurde in zahlreichen Institutionen weltweit versucht, die atmosphärische Ausbreitung und anschließende Ablagerung von Radionukliden zu rekonstruieren, u.a. auch in einer Zusammenarbeit von UNSCEAR und der WMO. Ergebnisse dieser Rechnungen für die Präfektur Fukushima und benachbarte Präfekturen werden vorgestellt und mit boden- und luftgestützten Messungen der Bodenkontamination im betrachteten Gebiet verglichen. Dabei werden auch Ergebnisse für unterschiedliche Quellterme betrachtet. Das charakteristische Muster der Bodenkontamination, das sich aus den Messdaten ergibt, kann im wesentlichen durch die Ausbreitungsrechnungen rekonstruiert werden.

# ATMOSPHERISCHE TRANSPORTMODELLIERUNG FÜR DAS RADIONUKLIDMESSNETZ ZUR ÜBERWACHUNG DES KERNWAFFENTESTSTOPPVERTRAGES IM REGELBETRIEB UND NACH DEN FREISETZUNGEN IN FUKUSHIMA

## ATMOSPHERIC TRANSPORT MODELLING FOR THE CTBT RADIONUCLIDE NETWORK IN ROUTINE OPERATION AND AFTER THE FUKUSHIMA RELEASES

J.O. Roß<sup>1</sup>, L. Ceranna<sup>1</sup>, C. Bönnemann<sup>1</sup>, C. Schlosser<sup>2</sup>

<sup>1</sup>*Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (BGR), B4.3, Hannover,  
Deutschland*

<sup>2</sup>*Bundesamt für Strahlenschutz (BfS), SW2.5, Freiburg, Deutschland*

### Zusammenfassung

Das internationale Überwachungssystem für den Kernwaffenteststoppvertrag besteht aus den Stationen zur Messung wellenförmiger Signale von Explosionen (Seismik, Hydroakustik und Infraschall) und aus Radionuklidstationen zum Nachweis feinsten Spuren von radioaktiven Spaltprodukten. Alle diese Radionuklidstationen messen in Luftfilterproben an Partikel gebundene Radionuklide; ein Teil ist zusätzlich mit Anlagen zur Messung der Konzentration radioaktiver Xenon-Isotope ausgestattet. Zur Herstellung der Beziehung zwischen Quelle und Ort der Messung werden Atmosphärische Transportmodelle verwendet.

In der Bundesrepublik Deutschland bildet die Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (BGR) in gesetzlichem Auftrag das „Nationale Datenzentrum“ zur Verifikation des umfassenden Verbots von Nuklearversuchen. Im Feld der Radionuklide arbeitet die BGR eng mit dem Bundesamt für Strahlenschutz (BfS) zusammen, das auch die deutsche Radionuklidstation auf dem Schauinsland betreibt. Für die atmosphärische Transportmodellierung werden an der BGR die Lagrange-Partikel-Dispersionsmodelle HYSPLIT und FLEXPART mit globalen meteorologischen Analysedaten der Vorhersagezentren ECMWF und NCEP verwendet. Im Regelfall werden die Modelle im Rückwärtsmodus betrieben, um die potenziellen Quellgebiete der Luftproben zu bestimmen. Verfahren zur Kombination der Modellergebnisse bei Detektionen an mehreren Orten verbessern die Eingrenzung möglicher Emissionsorte.

Im Fall der in Folge des Magnitude 9,0 Tohoku-Erdbebens mit anschließendem Tsunami havarierten Reaktoren des Kernkraftwerks Fukushima wurden vor allem Vorwärts-Simulationen durchgeführt, da der Quellort bekannt war. Besonderes Augenmerk lag auf der Prognose der Ankunftszeiten an den Messstationen und ersten groben Abschätzungen der Verdünnungsfaktoren. Die Ankunftszeiten an den Stationen wurden für die ersten zehn Tage nach dem Beben weitgehend korrekt simuliert. Ende März konnten an allen Stationen auf der Nordhemisphäre Radionuklide aus den Reaktoren von Fukushima nachgewiesen werden, später auch an



wenigen der Südhemisphäre. Überdies wurde untersucht, wie stark die Detektionsfähigkeit des Überwachungsnetzes für etwaige geheime Nukleartests im März 2011 durch die Ereignisse in Japan herabgesetzt war.

Aus aktuellem Anlass wird des Weiteren auf Radionukliddetektionen eingegangen, die möglicherweise mit dem jüngsten Kernwaffentest Nordkoreas am 12. Februar 2013 in Zusammenhang stehen. Dazu werden Modellrechnungen diskutiert, die unter der Annahme von Nichtdetektion Obergrenzen für einen möglichen Entlass am Testort ergeben und unter der Annahme von Detektionen Mindestfreisetzung. So kann davon ausgegangen werden, dass anfänglich der Einschluss auch der gasförmigen Spaltprodukte der Kernexplosion zu mehr als 99,9% gelungen ist.

### **English Summary**

The Comprehensive Nuclear-Test-Ban Treaty (CTBT) bans all types of nuclear explosions. For verification of compliance with Treaty the International Monitoring System (IMS) is being built up by the Provisional Technical Secretariat (PTS) of the CTBT-Organisation in Vienna. The IMS observes waveform signals (seismic, infrasound, hydroacoustic) of explosions and traces of radionuclides in the atmosphere to proof the nuclear character of an event. The International Data Centre (IDC) provides analysis products for the IMS data such as various event bulletins, radionuclide reports, and atmospheric transport modeling (ATM) results confining the possible source region of detected radionuclides. The judgment on the character of a suspicious event remains with the member states. The German National Data Centre for verification of CTBT is hosted by the Federal Institute for Geosciences and Natural Resources (BGR) in Hannover. The BGR operates four IMS stations (IS26, IS27, PS19, and AS35) and cooperates closely with the Federal Office for Radiation Protection (BfS) who operates the radionuclide station RN33 at mount Schauinsland and supports the NDC with radionuclide expertise.

In response to the Fukushima accident caused by the large magnitude 9.0 Tohoku Earthquake and Tsunami the HSYSPLIT model driven by 0.5 degree NCEP data was used at the German NDC to simulate the primary transport pathways of potentially emitted radioisotopes. The analysis focuses on arrival times and dilution ratios at the radionuclide stations of the IMS. The arrival times were predicted correctly at most stations for ten days after the accident. Traces of the Fukushima emissions were detected at all IMS radionuclide stations on the Northern Hemisphere end of March. In April also some stations on the Southern Hemisphere detected some traces which passed the ITCZ. In respect to the CTBT context the influence of the Tohoku earthquake and the Fukushima emissions on the network capability to detect a clandestine nuclear test of the DPRK in March 2011 was investigated.

Furthermore detections which are possibly connected with the recent nuclear test of the DPRK on 12 February 2013 are discussed. The potential range for radioxenon emissions is assessed by atmospheric transport modeling. It is found that the gaseous fission products were contained better than 99.9% in the first weeks after the explosion.

## 1 Die Radionuklidstationen des Internationalen Überwachungssystems

Im geplanten Endausbau soll die Radionuklidkomponente des internationalen Überwachungssystems (*International Monitoring System, IMS*) 80 Stationen umfassen. Alle Stationen sind mit einem Hochvolumensammler für die Messung partikelgebundener Radionuklide in einem Luftfilter ausgestattet. Diese arbeiten in einem dreiteiligen Zyklus aus zunächst 24 Stunden Sammelzeit, dann 24 Stunden Abklingzeit zur Reduktion des Untergrundes und schließlich 24 Stunden Zählzeit mit einem Germaniumdetektor. So wird eine sehr hohe Sensitivität mit entdeckbaren Konzentrationen im Bereich weniger Mikrobecquerel pro Kubimeter erreicht. Zusätzlich sollen 40 Stationen mit Edelgasmesssystemen ausgestattet werden. Diese analysieren die Xenonfraktion einer Luftprobe entweder mit einem Gammaskpektrometer oder Beta-Gamma-Koinzidenzspektrometer auf die Isotope  $^{135}\text{Xe}$ ,  $^{133}\text{Xe}$ ,  $^{133\text{m}}\text{Xe}$  und  $^{131\text{m}}\text{Xe}$  mit entdeckbaren Aktivitätskonzentrationen bis in den Bereich von zehntel Millibecquerel pro Kubikmeter Luft. Die Xenonisotope sind von besonderer Bedeutung, weil sie bei Nuklearexplosionen wahrscheinlicher entweichen als Partikel. Die Edelgase unterliegen in der Atmosphäre keinen chemischen Umwandlungen und werden nicht ausgewaschen, was die Modellierung ihres Transportes vereinfacht. Zudem können bei Messung mehrerer Isotope über deren Aktivitätsverhältnisse Informationen über Zeitpunkt und Art eines Spaltereignisses gewonnen werden [3]. Der Status des Netzwerkes 2011 mit den Standorten der Radionuklidstationen ist in Abb. 1 dargestellt, inzwischen (2013) sind 60 Stationen fertig gestellt, davon 30 mit Xenon-Messtechnik.

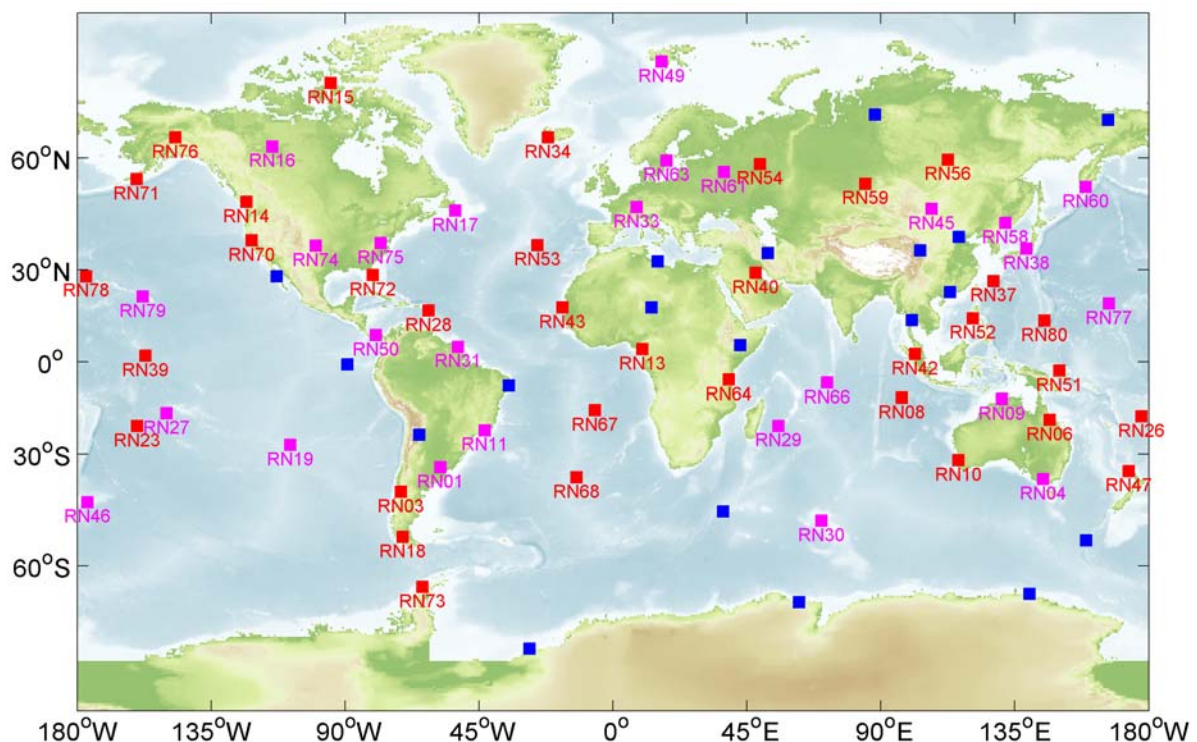
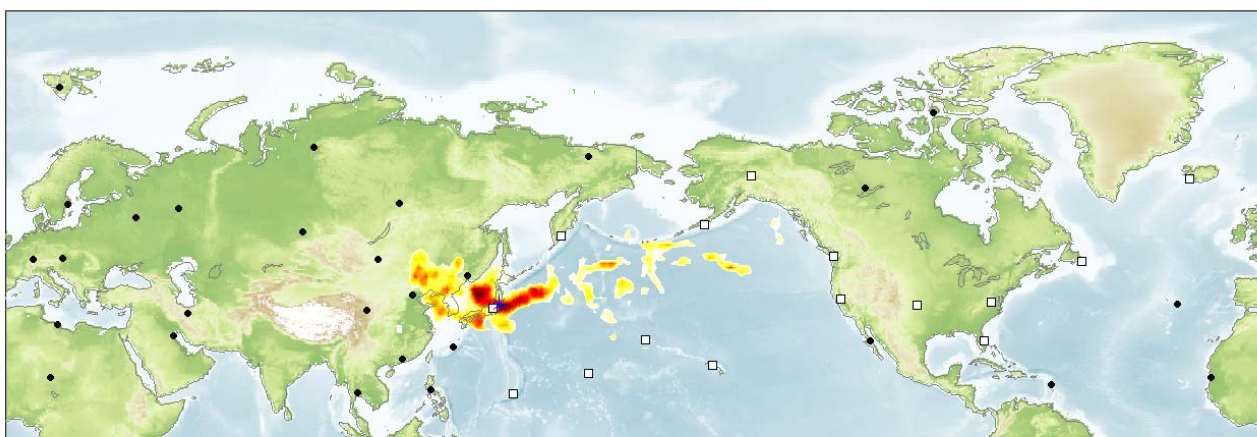


Abb. 1: Standorte der IMS Radionuklidstationen mit Partikelfiltern (rot), zusätzlich mit Edelgasmessungen (magenta) und geplant oder im Bau (blau).

## 2 Atmosphärische Transportmodellierung im Kontext des CTBT-Monitoring

Numerische Modelle helfen bei der Beschreibung des Transports durch die Atmosphäre und schließen die Informationslücke bezüglich des Weges vom Ort der Emission zu dem der Messung. Hierzu werden so genannte Lagrangesche Partikeldispersionsmodelle im Rückwärtsmodus verwendet, die meist mit meteorologischen Analysedaten wie denen der Wettervorhersagezentren ECMWF und NCEP betrieben werden. Am internationalen Datenzentrum in Wien ist das Modell FLEXPART implementiert und bestimmt täglich die Quellgebiete sämtlicher Proben der IMS-Radionuklidstationen. Sind Ort und Zeitpunkt eines abzuklärenden Ereignisses aus anderen Informationsquellen bekannt, kann die Stoffausbreitung davon ausgehend zusätzlich auch vorwärts berechnet werden. Die so generierten zu erwartenden Konzentrationen an den Radionuklidstationen können dann mit den gemessenen Konzentrationsmustern verglichen werden. Für solche ergänzenden Vorwärtsrechnungen wird am nationalen Datenzentrum in Deutschland zusätzlich das Modell HYSPLIT [1] verwendet. In der Regel wird ein Verdachtsfall bereits in den Wellendaten entdeckt und mit diesen lokalisiert, die Radionuklide können dann in den Folgetagen nachträglich das entscheidende Indiz für den nuklearen Charakter des Ereignisses liefern. Die atmosphärischen Transportmodelle zeigen dabei, ob die Detektionen meteorologisch konsistent mit Explosionsort und -zeit sind. Die Auswertung der Rückrechnungen erfolgt mit der Methodik so genannter Quell-Rezeptor-Sensitivitäts-Matrizen, die den potentiellen Quellbeitrag einer jeden Gitterzelle zu jedem Modellzeitschritt zu einer Luftprobe quantifizieren [2]. Diese Matrizen lassen sich insbesondere bei Detektionen an mehreren Orten kombinieren, um so mögliche Quellregionen in Raum und Zeit noch besser einzugrenzen. Abbildung 2 zeigt beispielhaft die logische Überlagerung aller 1° FLEXPART ECMWF Quellrezeptor-Matrizen für Luftproben mit Sammlungsende zwischen 16. und 21. März 2011 in denen Jod-131 entdeckt wurde. Das Maximum der Quellkoinzidenz liegt für den 12. März 2011 nahe dem KKW Fukushima.

source time: 12-Mar-2011 12 UTC



collection stop date: 16-Mar-2011 to 21-Mar-2011

Abb. 2: Quellkoinzidenzpunktwert (von gelb niedrig nach dunkelrot hoch) aller IMS Jod-131 Detektionen vom 16. bis 21.03.2011 für den potentiellen Quellzeitschritt 12 UTC am 12.03.2011

### 3 Reaktion im Verlauf der Reaktorhavarien im KKW Fukushima-Daiichi

Am Tag des großen Magnitude 9,0 Tohoku-Bebens, Freitag der 11.03.2011, war der Fachbereich B4.3 der BGR zunächst in seiner Funktion als seismologisches Zentralobservatorium gefragt und beantwortete viele Medienanfragen zu Erdbeben und Tsunami. Erst am Nachmittag zeichnete sich in Medienberichten ab, dass sich mehrere Kernreaktoren in unklarem Zustand befinden und damit der Radionuklidkomponente des IMS und der Atmosphärischen Transportmodellierung Bedeutung zukommen könnte.

#### 3.1 Ausbreitungsrechnungen

Erste schnelle Ausbreitungsprognosen am 11.03.2011 nachmittags zeigten für den Standort Fukushima eine günstige vorherrschende Windrichtung zum Pazifik hin. Erst als am 15.03. die ersten IMS-Stationen auf Kamtschatka und in Takasaki, etwa 200 km südwestlich von Fukushima, Detektionen meldeten, wurden umfangreichere Simulationsrechnungen angestrengt, die einerseits die Herkunft der Detektionen verifizieren und andererseits die Ankunftszeit der Radionuklide an weiteren IMS-Stationen simulieren sollten. Dabei wurde stets enger Kontakt gehalten zwischen BGR und BfS einerseits, andererseits mit den Radionuklidexperten in anderen Staaten, insbesondere Kanada und Finnland. Es wurden NCEP GDAS Daten mit einer horizontalen Auflösung von  $0,5^\circ$  auf 45 vertikalen Schichten verwendet. Um auch nach einer Laufzeit von zwei Wochen noch Konzentrationen darstellen zu können rechnete das Modell HYSPLIT intern mit acht Millionen emittierten Teilchen. Da über die aktuellen Freisetzungen nichts bekannt war, wurde zunächst eine konstante Freisetzungsrates einer normierten Stoffmengeneinheit angenommen.

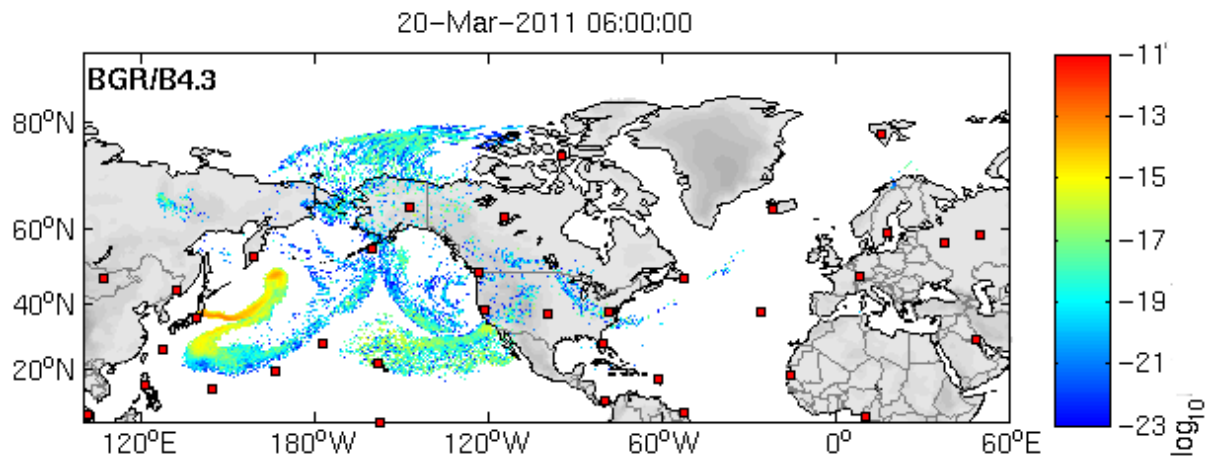


Abb. 3: vom 20. März der simulierten Ausbreitung einer konstanten Freisetzung aus Fukushima beginnend am frühen 12. März 2011.

### 3.2 Konzentrationen an den Radionuklidstationen

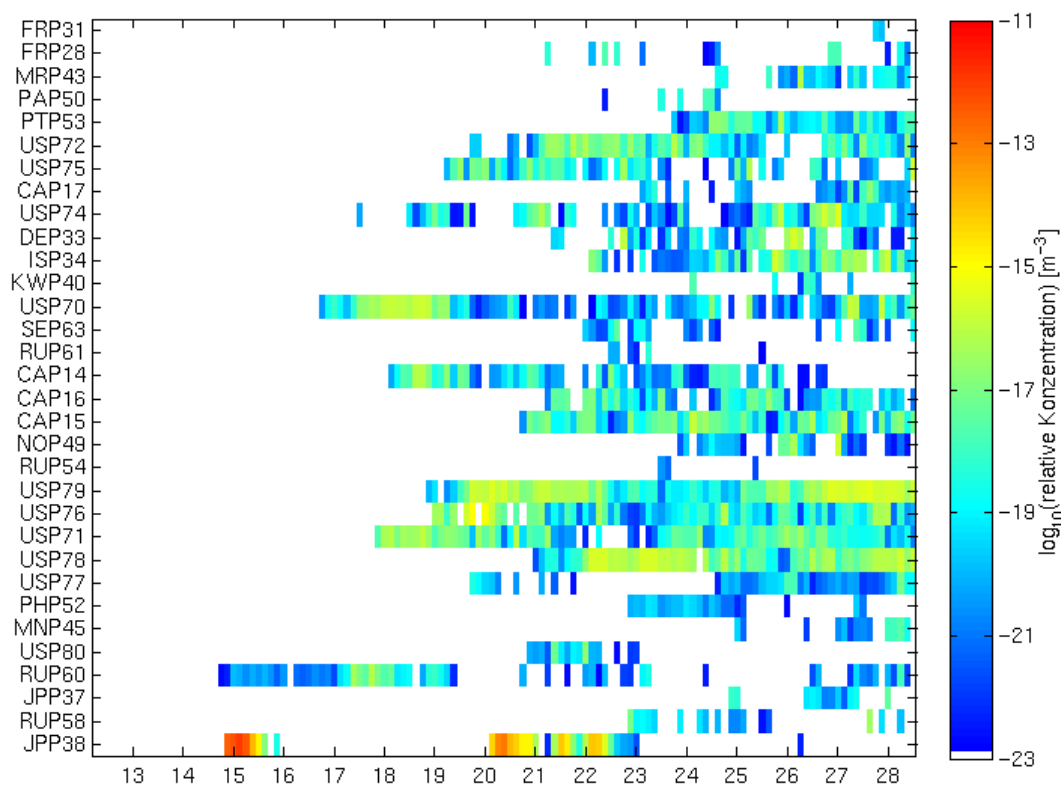


Abb. 4.: *Logarithmus der simulierten Verdünnung einer konstanten Cs-137 Freisetzung an den IMS Radionuklidstationen, auf der Abszisse stehen Kalendertage im März.*

Die ersten Detektionen von Freisetzungen aus Fukushima gab es am späten 14. März (Weltzeit) auf Kamtschatka, massivere dann nach Drehen des Windes am frühen 15. März in der Station RN38 Takasaki. Die Radionuklide, die ab dem späten 16. März an der Westküste Nordamerikas zu detektieren waren müssen aufgrund der größeren Distanz bereits erheblich früher freigesetzt worden sein. Die Prognose der Ankunftsstage gelang auch für weitere Stationen in Europa und Russland erfolgreich. Auch quantitativ sind die Verhältnisse der gemessenen Aktivitätskonzentrationen zwischen den Stationen konsistent mit den Modellergebnissen. Die Maxima der Konzentration liegen in Nordamerika etwa drei Größenordnungen unter denen in Takasaki, in Europa über vier Größenordnungen darunter. Die Anfang April vereinzelt auf der Südhalbkugel Fukushima zuzuordnenden Detektionen lagen wiederum nur im Promillebereich der Konzentrationen über Europa und damit unter einem Millionstel der in Japan in der Luft aufgetretenen Aktivitätskonzentrationen. Ohne hier aus den globalen Messergebnissen eine Aussage über die radiologische Situation in der unmittelbaren Kraftwerksumgebung treffen zu können, waren die außerhalb der Region mittels des IMS auf der Nordhalbkugel festgestellten Aktivitätskonzentrationen zwar gemessen an der extremen Sensitivität der Hochvolumenssammler zur Überwachung des CTBT erheblich, die davon ausgehenden Luftdosisleistungen aber unter Gesichtspunkten des Strahlenschutzes vernachlässigbar klein.

#### 4 Nachweis von Kernexplosionen in Nordkorea 2006, 2009 und 2013

Alle bisherigen Kernwaffentests Nordkoreas wurden seismologisch weltweit detektiert und als Explosion identifiziert. Im Radionuklidbereich fielen die Ergebnisse nach den einzelnen Tests sehr unterschiedlich aus. Aufgrund des damals noch nicht so weit fortgeschrittenen Ausbaustands des IMS Radionuklidmssnetzes gab es beim ersten Test 2006 erst nach 12 Tagen an der Station Yellowknife in Kanada eine dem Test zuzuordnende Xe-133 Detektion. Zuvor wurden aber bereits im Rahmen nationaler technischer Mittel durch Flugzeugmessungen der US-Air-Force und Messungen eines mobilen Xenonsammlers des schwedischen FOI in Südkorea Isotope in für Kernexplosionen typischen Isotopenverhältnissen nachgewiesen [3].

Nach dem zweiten Test 2009 waren deutlich mehr Stationen in der Region in Betrieb, die erwarteten Xenon-Detektionen blieben aber aus. Aufgrund der Ähnlichkeit der Wellenformdaten und der im Vergleich zu 2006 gesteigerten Sprengkraft galt der Nukleartest dennoch als erwiesen.

Die jüngste Nuklearexplosion in Nordkorea am 12. Februar 2013 hatte entsprechend der seismologischen Auswertung wiederum eine gegenüber 2009 um etwa einen Faktor von drei gesteigerte Sprengkraft. In den Folgetagen gab es aber keine Detektion, die dem Test eindeutig zuzuordnen war. Modellrechnungen zufolge hätte eine hypothetische Freisetzung von 10 TBq Xe-133 in der ersten Stunde nach dem Test am 13.2. an der Station JPX38 Takasaki etwa 10 mBq /m<sup>3</sup> Xe-133 erwarten lassen. Detektionen blieben aber zunächst völlig aus (Detektionsschwelle unter 0,2 mBq/m<sup>3</sup>). So sind anfängliche Freisetzungen über 1 TBq Xe-133 auszuschließen. Nach einigen Tagen gab es an der Station Takasaki Detektionen knapp über der Detektionsschwelle, deren Ursprung in einer kleinen nordkoreanischen Freisetzung zwar meteorologisch passend und hypothetisch möglich gewesen wäre, die aber für den Stationshintergrund typisch waren. Für höhere Beweiskraft fehlten konsistente Detektionen an anderen Orten, Messungen zusätzlicher Isotope in explosionstypischen Verhältnissen oder erfolgreiche umfassende Ausschlussverfahren bezüglich ziviler Hintergrundquellen (schwache in Japan, stärkere in China oder Russland, noch stärkere fast hemisphärenweit). Auch aus der japanischen Presse berichtete Flugzeugmessungen von Xe-133 über der Präfektur Aichi am sind sowohl durch Freisetzungen in der Größenordnung von 0,1 TBq in Nordkorea oder aber wenigen GBq aus dem in Betrieb befindlichen japanischen Kernkraftwerk Oi zu erklären.

Als Nachtrag zum 15. Fachgespräch ist beizufügen, dass spätere Detektionen ab 8. April 2013 für die Station Takasaki ungewöhnlich hohe Konzentrationen an Xe-131m zeigten, dessen Isotopenverhältnis zum gleichzeitig detektierten Xe-133 für einen Explosionszeitpunkt am 12. Februar passend war. Entsprechend den Ergebnissen der Atmosphärischen Transportmodellierung waren diese Luftproben sehr sensitiv auf Freisetzungen am nordkoreanischen Testgelände am frühen 7. April. Auch quantitativ reicht die gemäß Sprengkraft erwartete Spaltausbeute aus, um noch nach zehn Halbwertszeiten des Xe-133 die Detektion einer Freisetzung im Prozentbereich des Restinventars zu erlauben. Obgleich diese konsistenten Detektionen deutlich auf eine späte Freisetzung aus dem Teststollen hinweisen, ist die letztgültige Beweiskraft eingeschränkt, da Alternativquellen nicht völlig auszuschließen sind.

## 5 Schlussfolgerungen

Bei den Reaktorunfällen von Fukushima ist die Simulation der Ankunftstage an den Radionuklidstationen sehr gut gelungen. Auch die absoluten Konzentrationsverhältnisse waren zwischen den Messungen und Simulationen konsistent. Besonders hervorzuheben ist sowohl die ausgezeichnete Zusammenarbeit der nationalen Behörden und Ministerien in Deutschland als auch der zügige internationale Austausch unter Radionuklidexperten. So waren die Daten aus dem IMS wenn auch aufgrund ihrer Zeitverzögerung nicht für den unmittelbaren lokalen Notfallschutz, so doch für die erste Gesamtbewertung der Vorgänge extrem wertvoll. Die Messdaten sind von hoher Bedeutung für die zivile Wissenschaft zur weiteren Erforschung der atmosphärischen Transportprozesse und der Evaluierung von Modellergebnissen.

Bei den bisherigen Kernwaffentests Nordkoreas war der Beweis des Nukleartests 2006 durch drei unabhängige Messungen von radioaktiven Xenon-Isotopen ein großer Erfolg für die Edelgasmesstechnik. Beim zweiten Test 2009 blieben die erwarteten Xenon-Detektionen aus, aufgrund der seismologischen Analogie zum ersten und der stärkeren Sprengkraft gilt der nukleare Charakter der Explosion dennoch als evident. Der jüngste Test 2013 gilt ebenfalls schon alleine aufgrund der Wellenformsignale als erwiesen. Im Bereich der Radionuklide kann zunächst von einem nahezu vollständigen Einschluss (>99,9%) der Spaltprodukte ausgegangen werden. Einige Detektionen von Xe-133 im Februar in Japan wären zwar mit kleinen Freisetzungen am Testort Modellergebnissen zufolge meteorologisch konsistent, sind aber in Höhe und Isotopie für die Station nicht außergewöhnlich genug um nicht auch aus anderen Quellen stammen zu können. Erst im April gab es an der Station Takasaki in Höhe und Isotopenverhältnis ungewöhnliche Detektionen von Xe-131m und Xe-133, die meteorologisch und quantitativ bestens mit einer späten Freisetzung im Prozentbereich des Restinventars des nordkoreanischen Tests zu erklären sind, diesem aber auch nicht mit letzter Sicherheit zugeordnet werden können.

Insgesamt stellt die Radionuklidkomponente des IMS ein standardisiertes globales Beobachtungsnetz dar, das einzigartig in Umfang und Empfindlichkeit ist. Doch erst die Kombination mit Ergebnissen der Atmosphärischen Transportmodellierung macht diese Messungen verwertbar und lässt Aussagen über Quellregionen und freigesetzte Aktivitäten zu.

## 6 Literatur

- [1] Draxler, R.R. and Rolph, G.D., HYSPLIT (Hybrid Single-Particle Lagrangian Integrated Trajectory) Model. Technical Report, NOAA Air Resources Laboratory, Silver Spring, MD.
- [2] Becker, Andreas et al., Global backtracking of anthropogenic radionuclides by means of a receptor oriented ensemble dispersion modelling system in support of Nuclear-Test-Ban Treaty verification, *Atmospheric Environment* (2007), 41, 4520-4534.
- [3] Ringbom, Anders, et al., Measurements of radioxenon in ground level air in South Korea following the claimed nuclear test in North Korea on October 9, 2006, *J. Radioanal. Nucl. Chem*, 2009.

## VALIDIERUNG DER GAMMASUBMERSIONSBERECHNUNG IM RAHMEN DER KFÜ BADEN-WÜRTTEMBERG

### VALIDATION OF THE CLOUD RADIATION CALCULATION IN THE SCOPE OF THE NUCLEAR POWER PLANT MONITORING SYSTEM IN BADEN-WÜRTTEMBERG

W. Scheuermann <sup>1</sup>, W. Bernnat <sup>1</sup>, T. Wilbois <sup>2</sup>, C. Krass <sup>3</sup>, A. Lurk <sup>3</sup>

<sup>1</sup>*Institut für Kernenergetik und Energiesysteme, Universität Stuttgart, Stuttgart, Deutschland*

<sup>2</sup>*T-Systems GEI GmbH, Ulm, Deutschland*

<sup>3</sup>*KE-Technologie GmbH, Stuttgart, Deutschland*

#### Zusammenfassung

Im Rahmen der in der Kernreaktorfernüberwachung (KFÜ) Baden-Württemberg [1] eingesetzten Ausbreitungsmodelle (ABR) erfolgt die Berechnung der Gamma-submersion nach dem Verfahren der adjungierten Flüsse, wobei das berücksichtigte Energiespektrum der Gammastrahlen 30 Energiegruppen umfasst. Das Verfahren ermöglicht eine effiziente Berechnung der Submersionsdosis im operationellen Betrieb. Die verwendeten Parametrisierungen wurden mit verschiedenen Programmen wie z.B. DORT [2] und PARTISN [3] nach dem SN-Verfahren oder mit Multigruppen Monte-Carlo Programmen wie KENO [4] oder MCNP [5][6] bestimmt. Im Rahmen der Verbesserung der Modelle, insbesondere bzgl. der Modifikation der verwendeten Rechengitter wurden neue Strahlentransportrechnungen durchgeführt, die insbesondere auch eine Validierung der bisherigen Modellrechnungen erlauben.

Als Monte-Carlo-Code wurde dabei die aktuelle Version 5 des Programms MCNP verwendet. Das Vorgehen lässt sich wie folgt charakterisieren: Bei MCNP-5 werden von einem Quellpunkt aus für jede mittlere Energie der 30 Energiegruppen, für welche Gammaemissionsdaten vorliegen, isotrop Photonen gestartet, die an den sich in der Luft und im Boden befindlichen Nukliden gestreut werden, bis sie zum Detektor gelangen. Mit Hilfe eines Punktdetektors kann das Flussdichtespektrum am Detektor berechnet und mittels einer Dosis-Fluss-Beziehung die Dosis bestimmt werden.

#### Summary

Within the dispersion model (ABR) used in the scope of the nuclear power plant monitoring system of Baden-Württemberg (KFÜ) the calculation of the cloud radiation is based on the method of adjoint fluxes taking into account 30 energy groups of the gamma energy spectrum. This allows an efficient calculation of the cloud radiation during normal and emergency operating conditions. To validate this model comparison calculations have been performed using the Monte Carlo code MCNP.

The approach for the MCNP calculation can be described as follows. Starting from an emission point photons for each of the 30 energy groups have been emitted in an



isotropic manner taking into account the scattering processes in the air and on the ground until the photons reach the detector. By means of the detector the flux density spectrum can be calculated and from there on the dose can be obtained using a dose/flux relation.

## 1 Gammasubmersionsberechnung im Rahmen der KFÜ Baden-Württemberg

Die Berechnung der Gammasubmersion des in der Kernreaktorfernüberwachung integrierten Modells zur Simulation der Ausbreitung radioaktiver Schadstoffe basiert auf dem Verfahren der adjungierten Flüsse, die zusammen mit den Energiespektren der bei der Freisetzung berücksichtigten Nuklide eine effektive Berechnung der Gamma-submersionsdosis ermöglichen. Im Folgenden soll kurz auf die mathematischen Grundlagen eingegangen, sowie aufgezeigt werden welche Randbedingungen bei der Anwendung des Modells zur Berechnung der Gammasubmersion (Modul „AIRDOS“) zu beachten sind.

### 1.1 Transportgleichung und Responsefunktion

In diesem Abschnitt werden die Grundlagen zur Methode der adjungierten Flüsse kurz vorgestellt. Eine ausführliche Beschreibung, allerdings für die Anwendung in der Neutronenstreuung, findet sich bei Reus [7]. Ausgangsbasis für die Berechnung der Strahlendosis ist die Boltzmannsche Transportgleichung zur Berechnung von Photonenströmen bei gegebenen Quellgeometrien. In Operator-Schreibweise lautet sie:

$$M * \Phi = Q$$

$M$  bezeichnet den Streuoperator der die physikalischen Prozesse wie Photoabsorption, Comptonstreuung oder Paarbildung enthält,  $\Phi(r, \Omega, E)$  die Photonenflussdichte und  $Q(r, \Omega, E)$  die Quellverteilung. Nach Lösen der Transportgleichung kann man spezielle Reaktionsraten (z. B. Dosisleistung) mittels einer „Response“ Funktion  $R(r, E)$  berechnen:

$$D = \langle \Phi R \rangle$$

Eine zum ursprünglichen Quellproblem adjungierte Gleichung lautet nun

$$M^+ * \Phi^+ = R$$

Wie man leicht zeigen kann folgt

$$\langle \Phi^+ Q \rangle = \langle \Phi R \rangle = D$$

Das heißt, die Dosisleistung an einem beliebigen Ort lässt sich als Integral der über die adjungierte Transportgleichung erhaltenen adjungierten Photonenflussdichte multipliziert mit der Quellverteilung berechnen. Bei gleicher Responsefunktion und gleichem Gitter lassen sich die adjungierten Flüsse vorab berechnen und für beliebige Quellgeometrien anwenden, womit sich die Rechenzeit für die Dosisberechnung deutlich verkürzt, denn bei Direktrechnung müsste die Transportgleichung jedes Mal explizit numerisch „gelöst“ werden.

Die Lösung der adjungierten Transportgleichung stellt die Relation zwischen der Photonenemission einer bestimmten Energie oder eines Energiebereiches in einem Punkt oder einem Volumen und der Dosis in einem Aufpunkt dar. Sie kann z. B. von sog. Multigruppen-Programmen direkt bestimmt werden, wenn als Quellpunkt der Aufpunkt und als Quellspektrum die Response-Funktion eingesetzt werden.

Bei der Berechnung der Dosisleistung an einem bestimmten Aufpunkt aufgrund einer momentanen Emissions-Situation aus der Abluffahne müssen die relevanten Beiträge aus dem gesamten Emissionsfeld integriert bzw. aufsummiert werden. Da das Emissionsfeld und das Aufpunktfeld durch eine große Zahl von diskreten Volumina bzw. Punkten repräsentiert werden, müssen für alle Aufpunkte die Beiträge aus allen Emissionsvolumina aufsummiert werden:

$$D(x, y, z) = \sum_q \sum_g \Phi_g^+(r_{q,z_q - z}) * Q_g(x_q, y_q, z_q) * V_q$$

Mit:

$$r_q = \sqrt{(x_q - x)^2 + (y_q - y)^2}$$

Hierbei wird mit dem Index q das Quellvolumen und mit dem Index g die Energiegruppe, entsprechend der Photonen-Emissionsenergie bezeichnet. Die Koordinaten  $x, y, z$  bezeichnen den jeweiligen Aufpunkt, die Koordinaten  $x_q, y_q, z_q$  den Mittelpunkt des Quellvolumens und  $V_q$  das Quellvolumen. Durch die Nichtlinearität des adjungierten Flusses als Funktion des Abstands Quellpunkt-Detektorpunkt, sollte die Integration über das Quellvolumen sorgfältig (fein diskretisiert) erfolgen.

## 2.2 Berechnung der adjungierten Flüsse und der resultierenden Dosis mit MCNP5

In dieser Arbeit wurden die adjungierten Flüsse auf Basis des Monte-Carlo-Codes MCNP5 unter Verwendung kontinuierlicher Streuquerschnitte bestimmt. Dabei werden von einem Quellpunkt für jede mittlere Energie der 30 Energiegruppen, für welche Gammaemissionsdaten vorliegen, isotrop Photonen gestartet, die an den sich in der Luft und im Boden befindlichen Nukliden gestreut werden, bis sie zum Detektor gelangen. Mit Hilfe eines sogenannten Punktdetektors (ein spezielles sog. Tally der MCNP Programme) kann das Flussdichtespektrum am Detektor berechnet und mittels der Dosis/Fluss-Beziehung die Dosis bestimmt werden. Die hierbei verwendeten Beziehungen sind in Abbildung 1 dargestellt. Als Höhe des Detektors wurde 1 Meter über Grund festgelegt. Variiert wurde der radiale Abstand von der Quelle. Das MCNP5-Modellgebiet bestand aus einem ebenen Boden von 1m Dicke und hatte in horizontaler Richtung eine Ausdehnung vom 100 km. Darüber befindet sich eine 10 km hohe Luftschicht. Dadurch wurden Randeefekte bei der Berechnung vermieden.

Die Energiegruppengrenzen der 30 Emissionsgruppen sind aus Tabelle 1 ersichtlich. Die Elementzusammensetzungen des Bodens und der Luft können der Tabelle 2 entnommen werden [8, 9]. Die Einteilung der Gruppengrenzen wurde dabei so vorgenommen, dass die wichtigsten Gamma-Emissionslinien der verschiedenen Nuklide in der Abluffahne möglichst genau repräsentiert werden. Die Daten sind im Wesentlichen von Lederer bzw. NUDATA [10, 11] entnommen. Für die Elementzusammensetzungen des Bodens und der darüber liegenden Luft wurden die in Tab. 3 aufgelisteten Standardwerte verwendet.

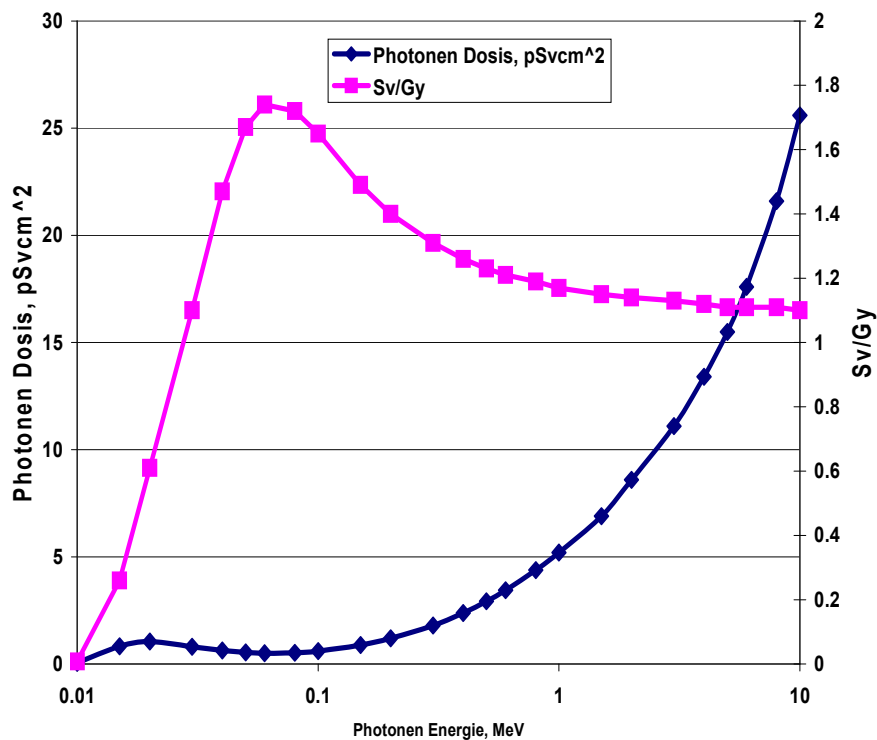


Abb. 1: Dosis – Fluss Relation nach ICRP 74 [12]

Die Ergebnisse für die auf die Einheit [pSv/Quellphoton] normierten Dosiswerte sind für eine Photonen-Quellenergie von 3.25 MeV (mittlere Energie der Gruppe 1 von 30 Gruppen) in der Abbildung 2 dargestellt. Es ist ersichtlich, dass das Ergebnis im Wesentlichen nur vom Abstand Quellpunkt - Aufpunkt abhängig ist, d. h. der größte Einfluss kommt von der Luftstreuung, der Einfluss der Boden-Rückstreuung ist deutlich geringer. Damit kann die adjungierte Funktion sehr gut mittels eines Polynoms als Funktion des Abstands vom Aufpunkt beschrieben werden. In Abbildung 3 ist eine solche Funktion approximiert durch ein Polynom 4. Ordnung dargestellt. Auch die die anderen Quellenergiegruppen lassen sich entsprechend approximieren. Abbildung 4 zeigt, dass die adjungierte Funktion für einen bestimmten Abstand Quellpunkt-Aufpunkt stark von der Quellenergie abhängig ist, wie man es für den Dosisaufbau auch erwartet. Gleichzeitig zeigt diese Abbildung den Unterschied zwischen dem ungestreuten Beitrag und dem gesamten (mehrfach gestreuten) Beitrag zur Dosis am Aufpunkt. Abbildung 5 zeigt die Abhängigkeit der adjungierten Funktion vom Abstand Quellpunkt-Aufpunkt für zwei verschiedene Quellenergien. Aus dieser Abbildung ist die starke Abnahme der Funktion mit zunehmendem Abstand des Quellpunkts vom Aufpunkt ersichtlich. Dies bedeutet, dass bei der Aufsummierung aller relevanten Beiträge zur Dosisleistung an einem Aufpunkt die Summation über einen begrenzten Emissionsbereich um diesen Punkt genügt, was den numerischen Aufwand deutlich reduziert.

Tabelle 1: Energiegrenzen der 30 Energiegruppen

Photonengruppengrenzen [MeV]					
3,5000	3,0000	2,5000	2,0000	1,6600	1,5000
1,3300	1,0000	0,8000	0,7000	0,6000	0,5120
0,5100	0,4500	0,4000	0,3000	0,2000	0,1500
1,0000	0,0875	0,0750	0,0675	0,0600	0,0525
0,0450	0,0375	0,0300	0,0250	0,0200	0,0150
0,0100					

Tabelle 2: Verwendete Elementzusammensetzungen von Boden und Luft

Boden		Luft	
Nuklid		Nuklid	
H	9,05 E-03	He	1,33 E-10
O	2,71 E-02	N	3,99 E-05
Na	5,54 E-04	O	1,07 E-05
Mg	3,74 E-04	Ne	3,84 E-10
Al	1,37 E-03	Ar	2,37 E-07
Si	9,14 E-03	Kr	2,91 E-11
K	3,02 E-04	Xe	2,19 E-12
Ca	4,08 E-04		
Ti	3,80 E-05		
Fe	4,07 E-04		

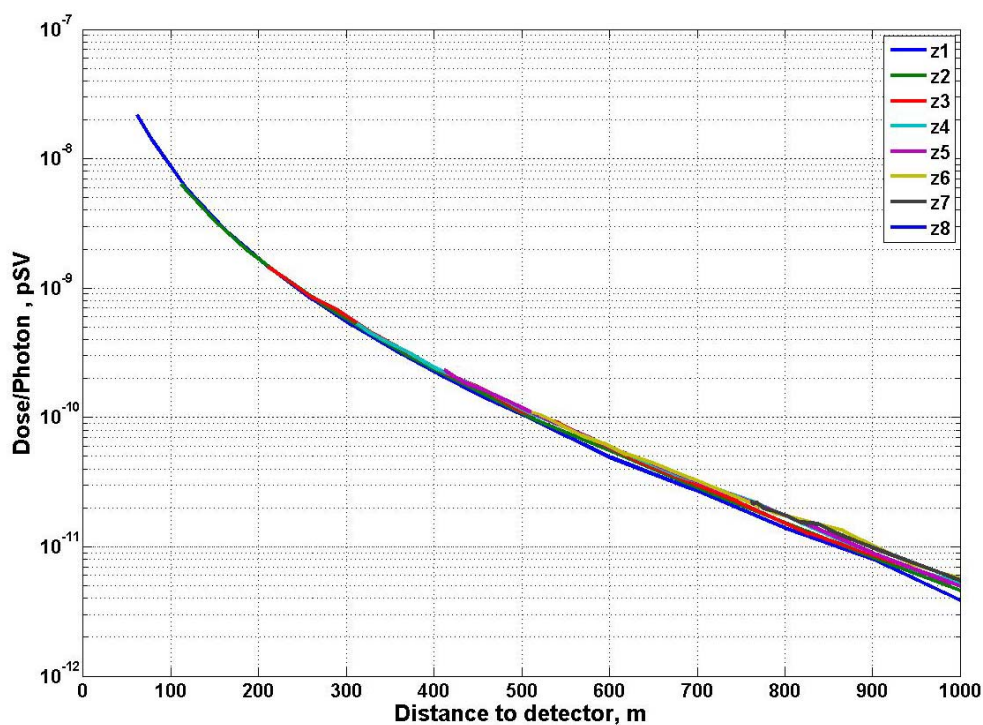


Abb. 2: Dosis je Quellphoton als Funktion des Abstandes Quellpunkt – Aufpunkt für verschiedene Emissionshöhen, Quellenergie 3,25 MeV

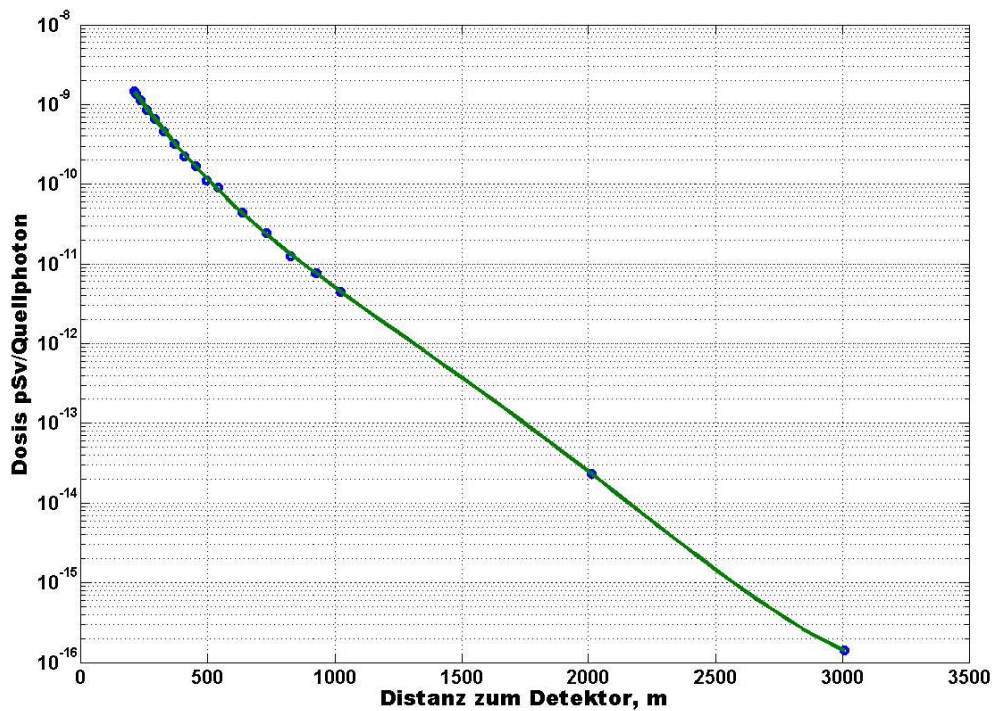


Abb. 3: Approximation der adjungierten Funktion durch ein Polynom 4. Ordnung, Quellenergie 3,25 MeV

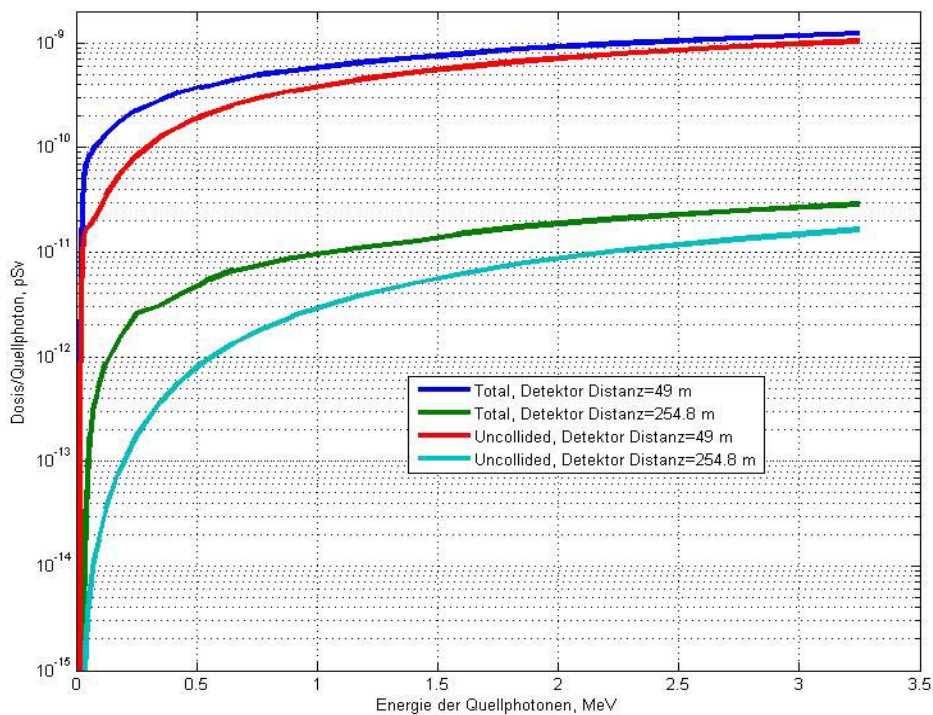
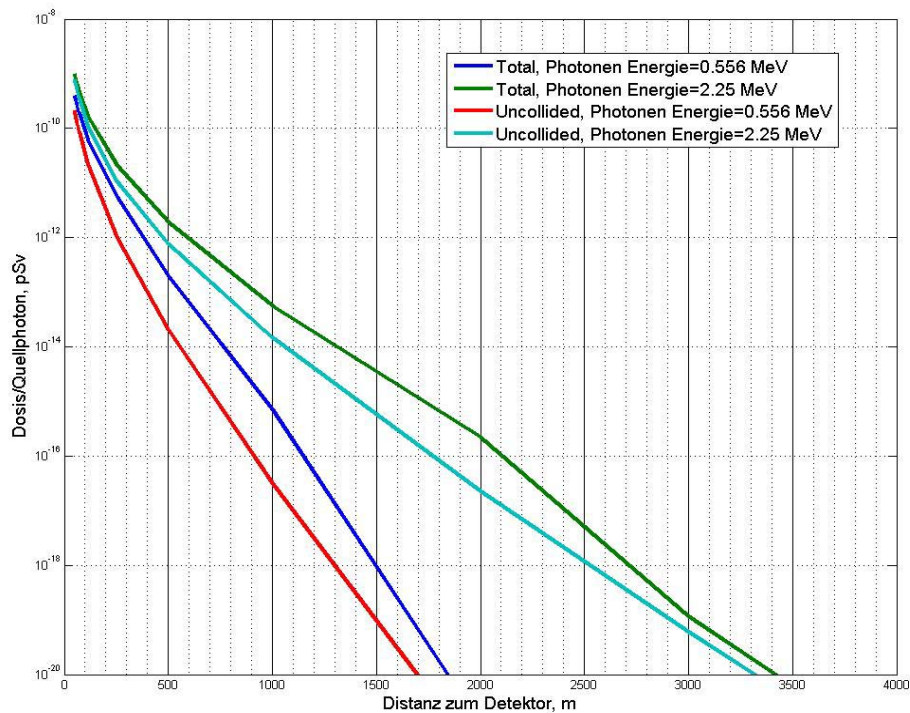


Abb. 4: Abhängigkeit der adjungierten Funktion von der Quellenergie für 2 unterschiedliche Emissionshöhen. Dargestellt sind der totale und ungestreute Beitrag.



*Abb. 5: Abhängigkeit der adjungierten Funktion vom Abstand Quellpunkt-Aufpunkt für 2 verschiedene Quellenergien. Dargestellt sind der totale und ungestreute Beitrag.*

Die Abbildungen 6 und 7 zeigen am Beispiel der Emissionsenergien von 2 MeV und 1 MeV, dass der Abstand Quellpunkt-Aufpunkt maßgeblich die adjungierte Funktion bestimmt. Die Emissionshöhe ist insbesondere im Nahbereich bis zu einigen 100 m nicht von erheblichem Einfluss. Dies wird bei der Berechnung in AIRDOS ausgenutzt, da im Prinzip nur für die Abhängigkeit vom Abstand Quellpunkt-Aufpunkt für alle 30 Quellenergien adjungierte Funktionen vorausberechnet werden müssen. Da bei AIRDOS die Emissionen immer für Volumenelemente angegeben werden, ist bei großen Volumenelementen zu beachten, dass die adjungierte Funktion innerhalb des Volumenelements in der Regel nicht linear verläuft, was bei der Integration über ein Volumenelement durch entsprechende Verfeinerung der Diskretisierung berücksichtigt werden muss. Die Abbildung 8 zeigt den Unterschied zwischen Emissionen aus bestimmten Quellhöhen und Quellgeometrien für 50 keV Photonen (Höhenbereiche mit konstanter Quellstärke) an.

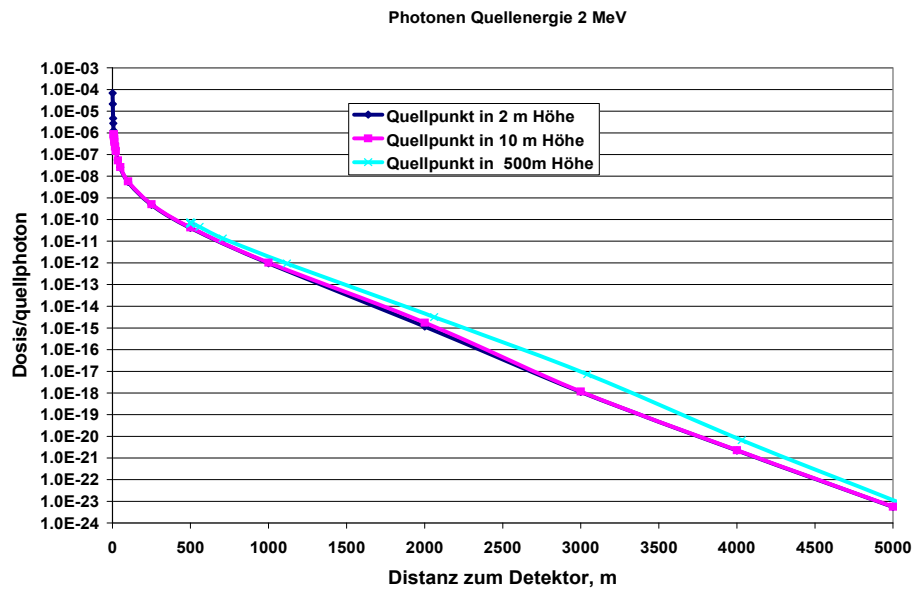


Abb. 6: Verlauf der adjungierten Funktion bezüglich des Abstands Quellpunkt-Aufpunkt für 3 verschiedene Emissionshöhen. Quellenergie 2 MeV

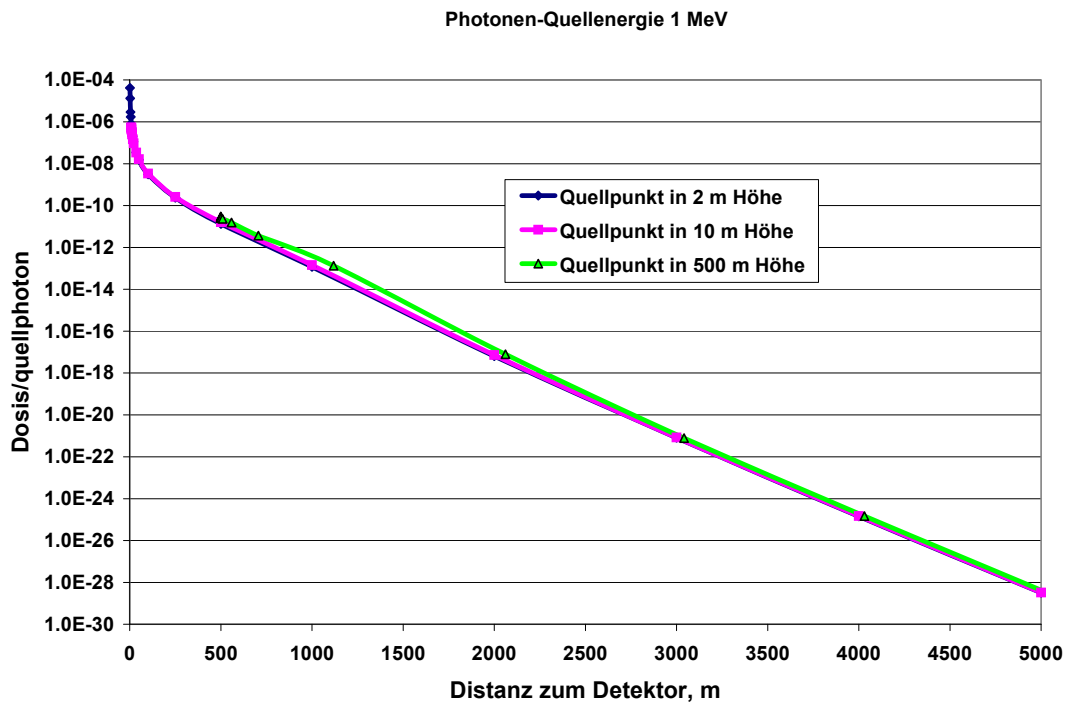


Abb. 7: Verlauf der adjungierten Funktion bezüglich des Abstands Quellpunkt-Aufpunkt für 3 verschiedene Emissionshöhen. Quellenergie 1 MeV

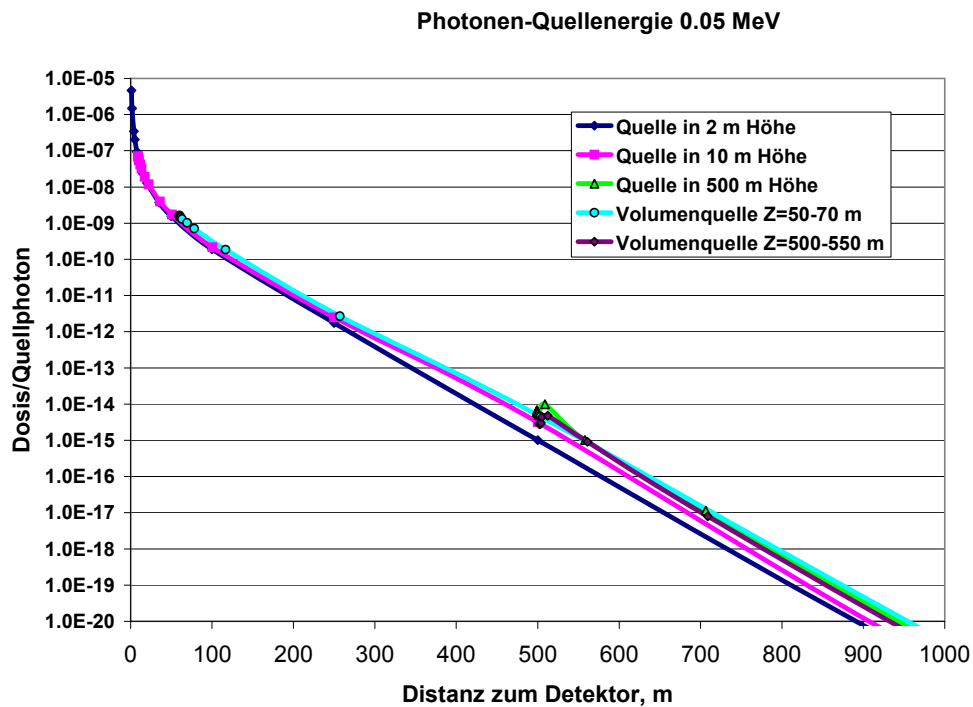


Abb. 8: Verlauf der adjungierten Funktion bezüglich des Abstands Quellpunkt-Aufpunkt für 3 verschiedene Emissionshöhen und 2 verschiedene Emissionsintervalle, Quellenergie 0,05 MeV

### 3 Validierungsrechnungen

#### 3.1 Szenarien

Für die Vergleichsrechnungen zwischen AIRDOS und MCNP-5 wurden zunächst zwei Basisszenarien definiert, eines mit einer konstanten Konzentrationsverteilung in einem Höhenintervall von 120 bis 160 m und einem, dem eine typische Schadstoffwolke zugrunde gelegt wurde. In beiden Fällen wurde mit ebenem Boden gerechnet. Die Rechnungen wurden für die Nuklide I-131, Cs-137 und Xe-133 durchgeführt. Als Emissionsstärke wurden für das erste Szenario  $2 \cdot 10^{10}$  Bq/m<sup>3</sup> für Xe-133,  $6 \cdot 10^4$  Bq/m<sup>3</sup> für Cs-137 und  $1 \cdot 10^6$  Bq/m<sup>3</sup> für I-131 angenommen. Die drei Nuklide emittieren Gammalinien entsprechend den Abbildungen 9, 10 und 11. Die MCNP-5 Rechnungen



wurden mit den Emissionsdaten der 30 Gruppen, analog AIRDOS, und mit den aus NUDATA [10] entnommenen Gammalinien und Häufigkeiten durchgeführt.

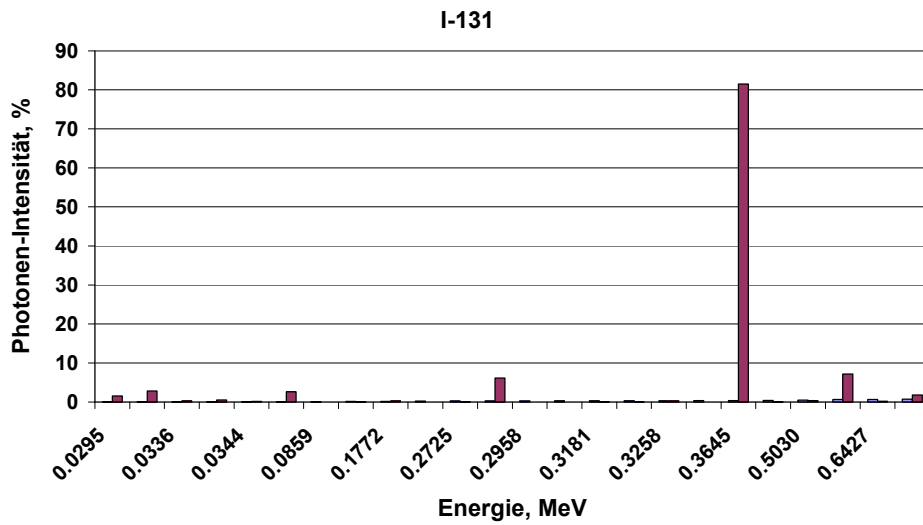


Abb. 9: Gammaemissionslinien für I-131 [9]

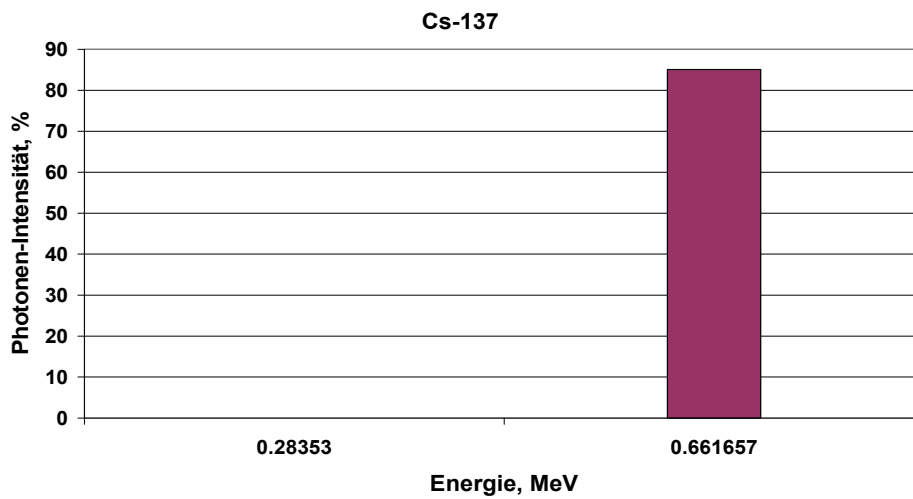


Abb. 10: Gammaemissionslinien für Cs-137 [9]

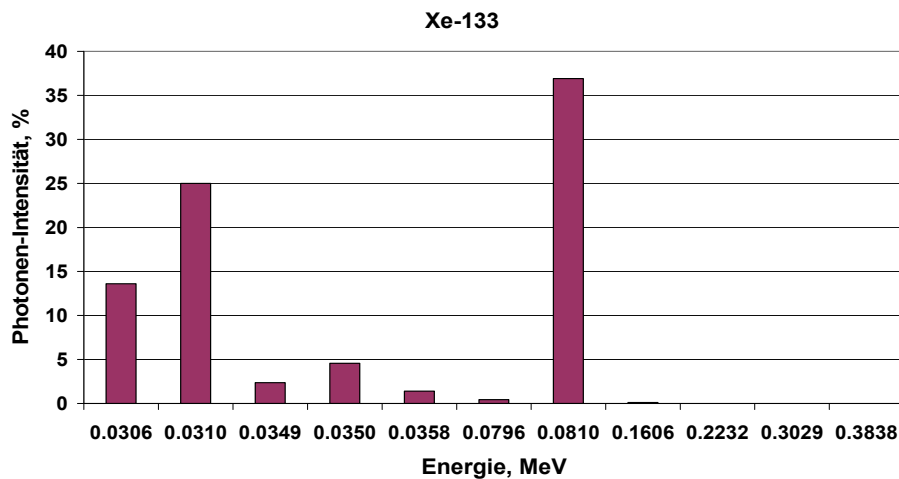


Abb. 11: Gammaemissionslinien für Xe-133 [9]

Für das zweite Szenario wurde durch eine Ausbreitungsrechnung mit dem im KFÜ integrierten Simulationssystem ABR die Konzentration in der Schadstoffwolke bestimmt. Die Randbedingungen für die Simulationsrechnung lassen sich wie folgt zusammenfassen:

- Konstanter Wind
- Horizontales Gitter: 100 x 100 Maschen, Maschenweite: 100 m
- Vertikale Auflösung: 25 Maschen, Maschenweite: 40 m
- Aufpunkt für die MCNP-Rechnung: 80 Maschen in x- und 50 Maschen in y-Richtung
- Freisetzungsdauer: 1 Stunde
- Emissionshöhe: 150 m
- Freigesetzte Aktivität:
 

Xe-133	$2 \cdot 10^{17}$ Bq
Cs-137	$6 \cdot 10^9$ Bq
I-131	$1 \cdot 10^{10}$ Bq

Die Windgeschwindigkeit betrug 4 m/s, gemessen in 10m Höhe, die Windrichtung betrug 270 Grad. Es wurde mit der Diffusionskategorie D und ohne Niederschlag gerechnet. Die aus der Simulationsrechnung resultierende Schadstoffkonzentration bildete die Quellverteilung für MCNP. Da die Standard-Eingaben von MCNP zur Definition einer Quelle für solch umfangreiche Verteilungsfunktionen ungeeignet waren, wurde eine spezielle, auf das Problem angepasste „user source subroutine“ erstellt, mit welcher Startpunkte für die Photonen-Trajektorien entsprechend der berechneten Quellverteilung bestimmt werden konnten. Die Berechnung des Gamma-submersion mit AIRDOS erfolgte direkt im Rahmen der ABR-Simulationsrechnung.

In einem dritten Szenario wurde der Einfluss der Bodenrückstreuung bei der Bestimmung der Gamma-submersiondosierung mit MCNP-5 bei unterschiedlichen Emis-

sionshöhen untersucht. Im Wesentlichen wurden die Eingabeparameter aus dem ersten Szenario wiederverwendet, wobei der Boden bei jeweils einer Rechnung durch Vakuum ersetzt wurde. Dabei wurde der Emissionsort konstant gehalten und der Detektor in horizontaler Richtung verschoben.

### 3.2 Ergebnisse

Tabelle 3 enthält typische Ergebnisse des ersten Szenarios, Tabelle 4 die Ergebnisse des 2. Szenarios an einem bestimmten Gitterpunkt.

*Tabelle 3: Vergleich von AIRDOS und MCNP5 für die konstante Quellverteilung in 120-160 m über dem Boden*

Gammasubmersionsdosis					
Nuklid	Emission [Bq/m <sup>3</sup> ]	MCNP-5 ungestreut [pSv/h]	MCNP-5 total [Sv/h]	AIRDOS [Sv/h]	AIRDOS / MCNP-5 [%]
Xe-133	2*10 <sup>10</sup>	1,36*10 <sup>10</sup>	1,36*10 <sup>-2</sup>	1,30*10 <sup>-2</sup>	4,41
Cs-137	6*10 <sup>4</sup>	9,31*10 <sup>5</sup>	9,31*10 <sup>-7</sup>	8,33*10 <sup>-7</sup>	10,05
I-131	1*10 <sup>6</sup>	1,01*10 <sup>7</sup>	1,01*10 <sup>-5</sup>	1,03*10 <sup>-5</sup>	1,94

*Tabelle 4: Vergleich von AIRDOS und MCNP5 für die Abluffahne aus der Freisetzung in 150 m*

Gammasubmersionsdosis					
Nuklid	Emission [Bq/m <sup>3</sup> ]	MCNP-5 ungestreut [pSv/h]	MCNP-5 total [Sv/h]	AIRDOS [Sv/h]	AIRDOS / MCNP-5 [%]
Xe-133	6,35*10 <sup>16</sup>	1,47*10 <sup>8</sup>	4,49*10 <sup>-4</sup>	4,90*10 <sup>-4</sup>	9,13
Cs-137	1,89*10 <sup>9</sup>	6,47*10 <sup>1</sup>	1,42*10 <sup>-10</sup>	1,36*10 <sup>-10</sup>	4,23
I-131	3,07*10 <sup>9</sup>	5,50*10 <sup>1</sup>	1,49*10 <sup>-10</sup>	1,57*10 <sup>-10</sup>	4,46

Die Gesamtdosisleistungen nach MCNP5 und AIRDOS im ersten Fall stimmen (Tab. 3) sehr gut überein. Zusätzlich ist für MCNP noch der ungestreute Anteil angegeben, der für Xe-133 etwa 4%, bei Cs-137 21% und bei I-131 14% beträgt. Die größten Abweichungen treten für das überwiegend aus niederenergetischen Photonen bestehende Spektrum des Xe-133 auf.

Auch für realistischere und kompliziertere Quellverteilungsfunktionen sind die mit AIRDOS berechneten Dosisleistungen in 1 m Höhe am definierten Aufpunkt in sehr guter Übereinstimmung mit den direkt mit MCNP5 berechneten (Tab. 4). Dies bestätigt, dass die in AIRDOS verwendeten Funktionen und Algorithmen korrekt und hinreichend genau sind.

Die adjungierten Funktionen in AIRDOS sind für ebenes Gelände berechnet. Bei unebenen Geländeformen werden teilweise Näherungen verwendet, die noch verifiziert werden müssten. Gegebenenfalls sollten noch Modifikationen an den Ansätzen gemacht werden, um solche Problemstellungen mit der gleichen Genauigkeit wie für

ebenes Gelände zu berechnen. Der Vergleich mit einem entsprechenden MCNP-5 Modell für unebene Topographie könnte zur Validierung herangezogen werden.

Hinsichtlich der Untersuchung des Einflusses der Bodenrückstreuung zeigt sich in Übereinstimmung mit den im Entwurf zur allgemeinen Verwaltungsvorschrift zu §47 Strahlenschutzverordnung (AVV) [13] zugrunde liegenden Parametrisierungen [14],[15], dass sowohl bei einer Emissionshöhe von 100 m (Abb. 12) als auch von 200 m (Abb. 13) die Effekte relativ gering sind (ca. 10%).

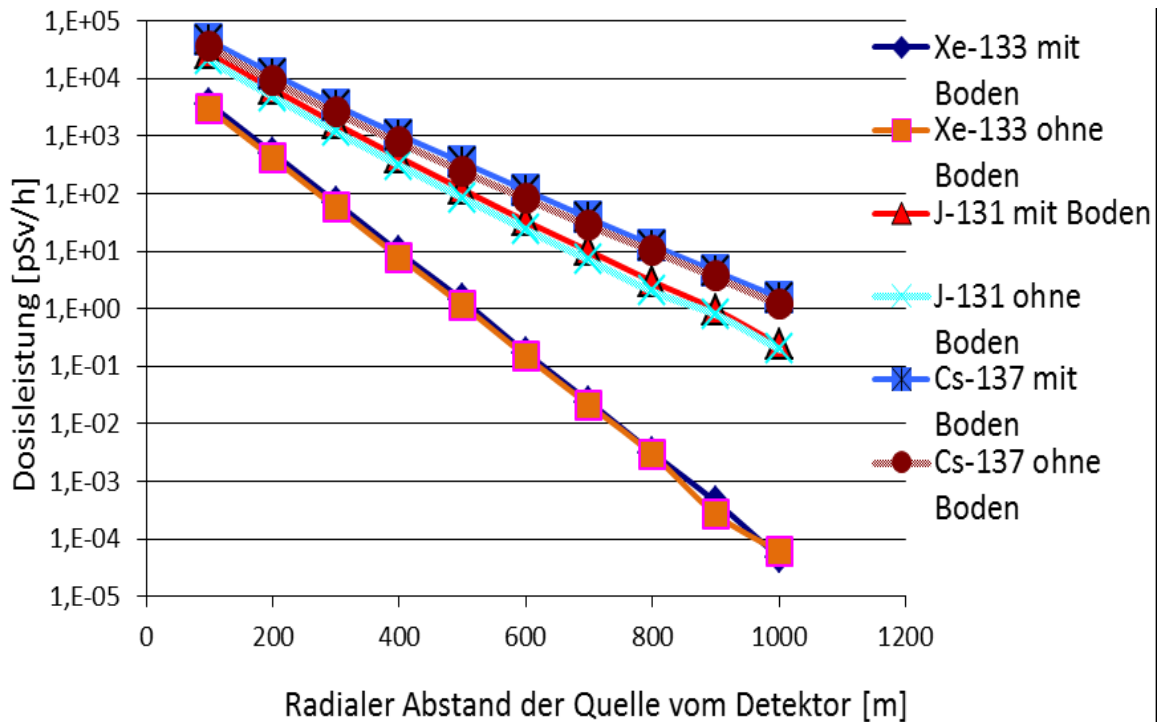


Abb. 12: Dosisleistungen als Funktion des Detektorabstands bei einer Emissionshöhe von 100m

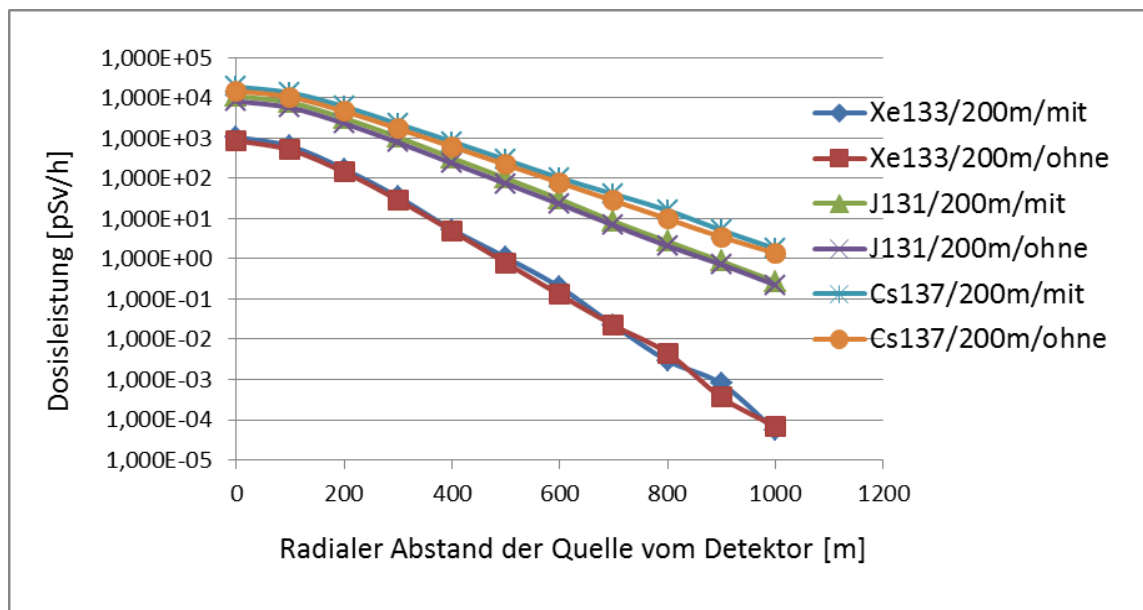


Abb. 13: Dosisleistung als Funktion des Detektorabstandes bei einer Emissionshöhe von 200m

Für den im folgenden Abschnitt vorgestellten Vergleich der ABR-Ergebnisse mit den Parametrisierungen der AVV ist es zunächst hilfreich, Rechnungen für monoenergetische Photonen von 0,1 bzw. 1 MeV durchzuführen. Vergleicht man die Dosisleistung der Nuklide mit Boden und mit Vakuum (ohne Boden) mit den Angaben der AVV hinsichtlich der zu verwendenden Energien von 1 MeV und 0,1 MeV so zeigt sich dass die Kurven für Cs-137 entsprechend der Gammaemissionslinie (Abb. 10) wie erwartet näher an der 1 MeV Kurve liegt. Aufgrund der erkennbaren Abweichungen durch die starken Energieabhängigkeiten können größere Unterschiede zu den Ergebnissen der Vorgehensweise nach AVV erwartet werden.

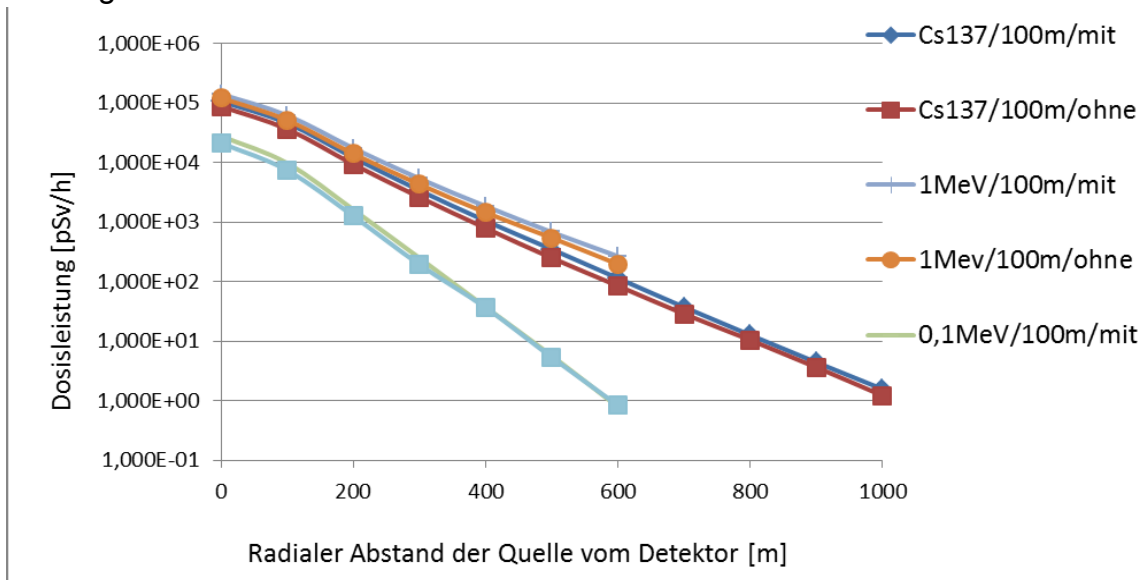


Abb. 14: Dosisleistung von Cäsium als Funktion des radialen Detektorabstands bei unterschiedlichen Emissionshöhen im Vergleich zu monoenergetischen Photonenquellen mit 1 MeV bzw. 100 keV

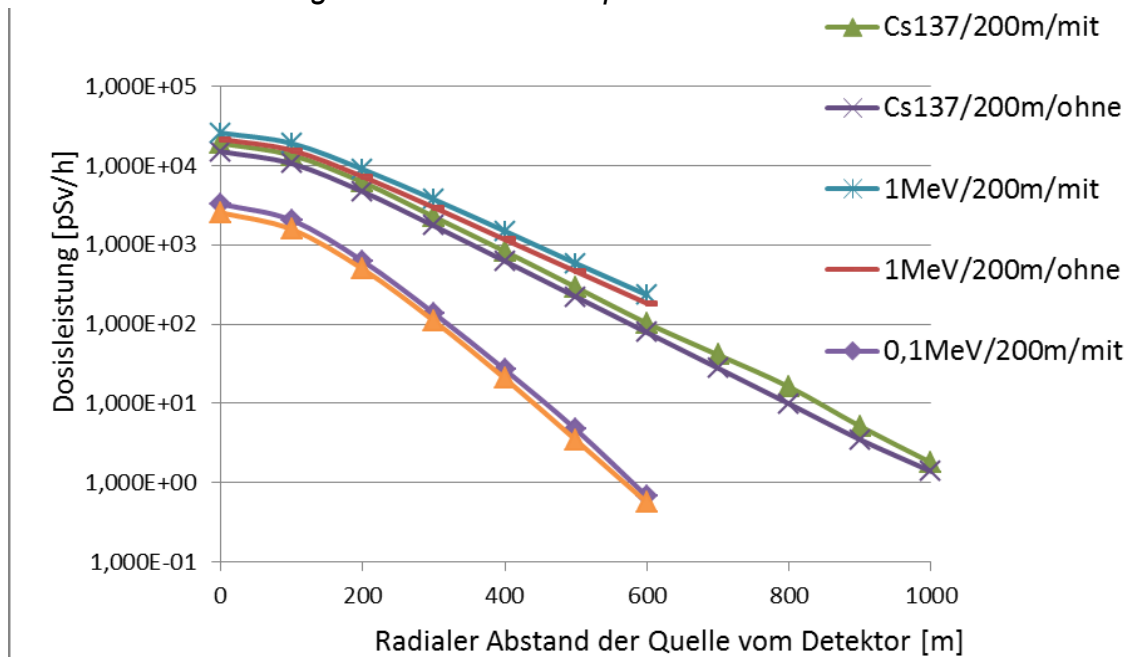


Abb. 15: Dosisleistung von Cäsium als Funktion des radialen Detektorabstands bei unterschiedlichen Emissionshöhen im Vergleich zu monoenergetischen Photonenquellen mit 1 MeV bzw. 100 keV

#### 4 Erster Vergleich der MCNP-5 Ergebnisse mit den Vorschriften der VDI bzw. AVV

Zahlreiche Berechnungen der Gammasubmersion heute eingesetzter Modelle basieren auf dem in [14],[15],[16] dokumentierten Verfahren. Ausgangspunkt ist ein Volumenintegral mit Berücksichtigung des Dosisaufbaus und der Bodenrückstreuung, welche für Gammaenergien von 0.1 bzw. 1 MeV parametrisiert werden. Die damit einhergehende Behandlung der Energieabhängigkeit der Strahlung aus realistischen Nuklidgemischen stellt eine der im Rahmen der dieser Modelle wie auch in der AVV durchgeführten Näherungen bei der Dosisberechnung dar.

Für die beiden Energien von 0.1 und 1 MeV ist jedoch zu erwarten dass die Ergebnisse zwischen der VDI-Methode und der in dieser Arbeit vorgestellten Methode übereinstimmen sollten, was sich auch in den erhaltenen Resultaten bestätigt. Abbildung 16 zeigt die Ortsdosisleistung für die oben beschriebenen Emissionen von  $1\text{m}^3$  Quellvolumen mit  $10^{10}$  Bq monoenergetischen Photonen für Emissionshöhen von 100 und 200m bei Variation des Abstands von der Quelle. In der AVV-Rechnung wurden die Energieabsorptionskoeffizienten für trockene Luft (Meeresniveau) [17] und für die Konversationsfaktoren die Werte gemäß Abbildung 1 verwendet.

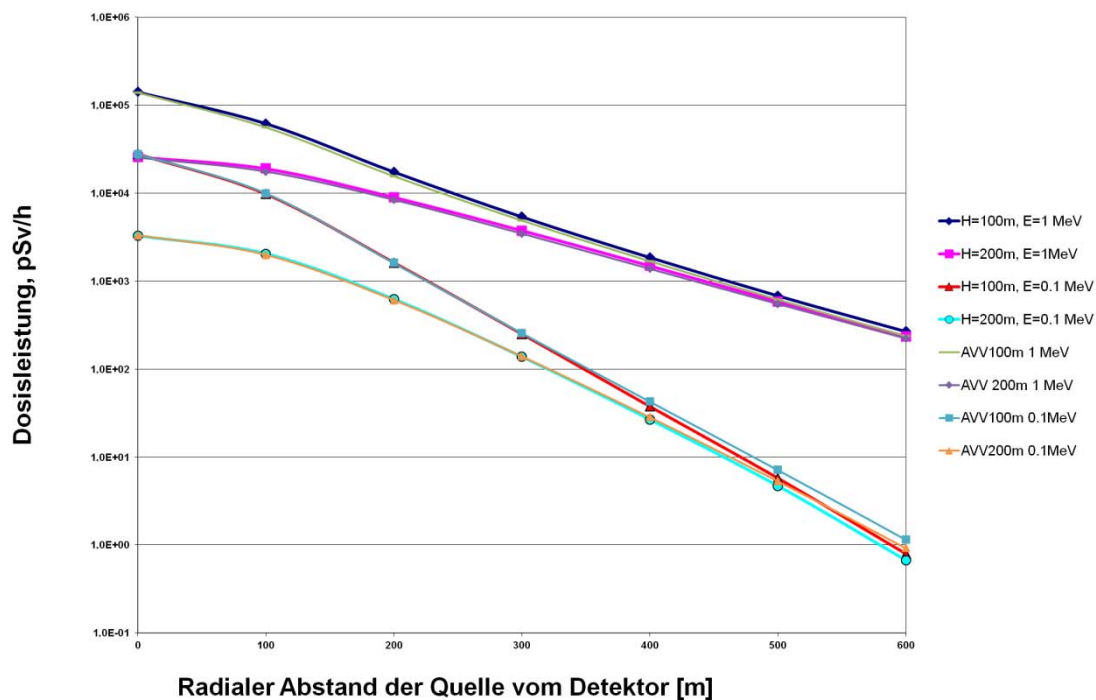


Abb. 16: Vergleich zwischen MCNP und AVV-Vorhersagen für die Dosisleistung für die Energien 1 MeV und 0,1 MeV bei unterschiedlichen Emissionshöhen (mit Rückstreuung)

Diese Ergebnisse stellen in gewisser Art und Weise auch eine erneute Validierung der Parametrisierungen von Dosisaufbau und Bodenrückstreuung der VDI dar. Die erhaltenen Abweichungen bewegen sich im Bereich von ca. 10%. Für realistische Nuklidzusammensetzungen sind unter Umständen jedoch größere Abweichungen zwischen der in der KFÜ eingesetzten Methode der adjungierten Flüsse und der Vorgehensweise nach VDI und AVV zu erwarten. Eine Untersuchung hierzu ist zur Zeit in Vorbereitung.

## 5 Literatur

- [1] T. Wilbois, Y. Ren, U. Neff, W. Scheuermann, C. Grimm, M. Hagmann, Remote monitoring of nuclear power plants in Baden-Wuerttemberg – From measurement to emergency protection, Radioprotection 2013 DOI: 10.1051/radiopro/20139915 Vol. 48, no 5, pages S95 à S102 (2013)
- [2] W.A. Rhoades, R.L. Childs: The TORT Three-Dimensional Discrete Ordinates Neutron/Photon Transport Code, ORNL-6268 (1991)
- [3] R. E. Alcouffe, R. S. Baker, J. A. Dahl, S.A. Turner, and Robert Ward, "PARTISN: A Time-Dependent, Parallel Neutral Particle Transport Code System," LA-UR-08-07258 (Revised Nov. 2008).
- [4] SCALE Module KENO: SCALE: A Modular Code System for Performing Standardized Computer Analyses for Licensing Evaluation, NUREG/CR-0200, (ORNL/NUREG/CSD-2/R6), Vols. I, II, and III, May 2000.
- [5] X-5 Monte Carlo Team: MCNP-A General Monte carlo N-Particle Transport Code, Version 5 (LA-UR-03-1987) , April 24, 2003 (Revised 10/3/05)
- [6] MCNPX User's Manual Version 2.5.0, April, 2005 LA-CP-05-0369
- [7] P. Reuss, Neutron Physics, EDP Sciences Les Ulis (2008)
- [8] A. Sohn, G. Pfister, W. Bernnat, G. Hehn: DOSE, ein neuer Dosismodul zur Berechnung der effektiven Dosis und von 21 Organdosen für die Dosispfade Submersion, Inhalation und Bodenstrahlung. IKE 6 UM 3, Nov. 1994
- [9] R.G. Williams III, C.J. Gesh, R.T. Pagh: Compendium of Material Composition Data for Radiation Transport Modeling. PNNL-15870, April 2006
- [10] C.M. Lederer, V.S. Shirley, E. Browne, J.M. Dairiki, R.E. Doebler, A.A. Shihab-Eldin, L.J. Jardine, J.K. Tuli, and A.B. Buyrn, Table of Isotopes, 7th edition, John Wiley and Sons, New York (1978).
- [11] NUDAT 2.6, National Nuclear Data Center, Brookhaven National Laboratory
- [12] ICRP, 1996. Conversion Coefficients for use in Radiological Protection against External Radiation. ICRP Publication 74. Ann. ICRP 26 (3-4).
- [13] BMU, Entwurf der Allgemeinen Verwaltungsvorschrift zu §47 StrlSchV, Bonn (2005)
- [14] BMU, Modelle, Annahmen und Daten mit Erläuterungen zur Berechnung der Strahlenexposition bei der Ableitung radioaktiver Stoffe mit Luft oder Wasser zum Nachweis der Einhaltung der Dosisgrenzwerte nach §45 StrlSchV, Veröffentlichungen der Strahlenschutzkommission, Band 17, Bonn (1992)
- [15] VDI, Richtlinie 3945, Blatt 3, Beuth-Verlag (2000)
- [16] BMU, Entwicklung, Validierung und Bereitstellung eines atmosphärischen Ausbreitungsmodells für luftgetragene radioaktive Stoffe der Basis des Ausbreitungsmodells AUSTAL 2000 der neuen TA Luft, Bonn (2007)
- [17] Hubbell, J.H. and Seltzer, S.M. (2004), Tables of X-Ray Mass Attenuation coefficients and Mass Energy-Absorption Coefficients (version 1.4). <http://physics.nist.gov/>, National Institute of Standards and Technology, Gaithersburg, MD.

## PROBABILISTISCHE RECHNUNGEN UND SENSITIVITÄTSANALYSE VON PARAMETERN FÜR EIN REFERENZBIOSPHERENMODELL ZUR ENDLAGERUNG VON RADIOAKTIVEN ABFÄLLEN

### PROBABILISTIC CALCULATIONS AND SENSITIVITY ANALYSIS OF PARAMETERS FOR A REFERENCE BIOSPHERE MODELL ASSESSING FINAL DEPOSITION OF RADIOAKTIVE WASTE

C. Staudt, J. C. Christian Kaiser

*Helmholtz Zentrum München, Deutsches Forschungszentrum für Gesundheit und  
Umwelt, Institut für Strahlenschutz, München, Deutschland*

#### Zusammenfassung

Radioökologische Modelle werden zur Beurteilung der Exposition von Populationen durch Radionuklide aus einem Endlager für wärmeentwickelnde Abfälle verwendet. Aufgrund des langen Begutachtungszeitraumes von einer Millionen Jahre, müssen Änderungen modellrelevanter Expositionspfade und Parameter während dieses Zeitraumes mitberücksichtigt werden. Vor allem Klimaänderungen führen während dieses Zeitraumes voraussichtlich zu entscheidenden Veränderungen in den betrachteten Systemen.

Um klimabedingte Änderungen im Fernfeld eines Endlagers zu beurteilen werden sogenannte Referenzbiosphärenmodelle verwendet. Bei dieser Herangehensweise werden Modellszenarien für mögliche zukünftige Klimazustände entwickelt und mit Parametersätzen ähnlicher heute vorherrschender Klimaregionen definiert. Es wird angenommen, dass sich die Lebensweise und landwirtschaftlichen Praktiken von Populationen an die Lebensweise von Populationen anpasst, die heute in Klimaregionen leben, die dem Zustand nach dem Klimawandel gleichen. Als Endpunkt der Modelle werden Biosphären Dosiskonversionsfaktoren (BDCF) berechnet. Die radionuklidspezifischen BDCF beschreiben die Exposition einer hypothetischen Population ausgehend von einer normierten Radionuklidkonzentration im oberflächennahen Grundwasser.

Aufgrund der inhärenten Ungewissheit von Annahmen bezüglich möglicher zukünftiger Entwicklungen, Lebensweisen und empirisch gemessener Parameter sind Ergebnisse aus daraus abgeleiteten Modellen ebenfalls mit einer Ungewissheit behaftet. Zur Absicherung der Modellergebnisse und aufgrund der großen Anzahl an Parametern, die zur Definition von unterschiedlichen Klimazuständen, Bodentypen oder Ernährungsweisen benötigt werden, wurden neben deterministischen Modellrechnungen probabilistische Rechnungen und Sensitivitätsanalysen für die einzelnen Parameter in unterschiedlichen Modellszenarien durchgeführt.

#### Summary

Radioecological models are used for the assessment of potential exposures of a population to radionuclides from final repositories for high level radioactive waste. Due to the long disposal time frame, changes in model relevant exposure pathways need



to be accounted for. Especially climate change will result in changes of the modelled system.

Reference biosphere models are used to assess climate related changes in the far field of a final repository. In this approach, model scenarios are developed for potential future climate states and defined by parameters derived from currently existing, similar climate regions. It is assumed, that habits and agricultural practices of a population will adapt to the new climate over long periods of time, until they mirror the habits of a contemporary population living in a similar climate. As an end point of the models, Biosphere Dose Conversion Factors (BDCF) are calculated. These radionuclide specific BDCF describe the exposure of a hypothetical population resulting from a standardized radionuclide contamination in near surface ground water.

Model results are subject to uncertainties due to inherent uncertainties of assumed future developments, habits and empirically measured parameters. In addition to deterministic calculations, sensitivity analysis and probabilistic calculations were done for several model scenarios, to control the quality of the model and due to the high number of parameters used to define different climate states, soil types and consumption habits.

## 1 Potentielle Klimaänderungen und Referenzklimaregionen

Während Nachweiszeitraumes zur Sicherheit von Endlagern für wärmeentwickelnde radioaktive Abfälle von einer Million Jahren wird es zu Änderungen des Klimas im Fernfeld des Endlagers kommen. Potentielle Änderungen des Klimas für einen Norddeutschen Standort wurden im BIOCLIM Projekt beschrieben [1]. Es wird nun angenommen, dass es aufgrund dieser Änderungen des Klimas zu Änderungen von Parametern kommt, die für radioökologische Modelle relevant sind.

Zur Beurteilung der Auswirkungen eines Klimawandels auf die Exposition einer hypothetischen Population werden Referenzbiosphärenmodelle verwendet, die die Exposition an derzeitigen Klimastationen beschreiben. Dazu wurden neun repräsentative Klimastationen in Europa und Nordafrika ausgewählt, die potentielle Klimaentwicklungen zu wärmerem und kälterem, sowie zu trockenerem und feuchterem Klima abdecken (Abb. 1 und Abb. 2). Für die entsprechenden Klimastationen wurden dann Modellszenarien für unterschiedliche Bodentypen und Altersgruppen entwickelt [2, 3].

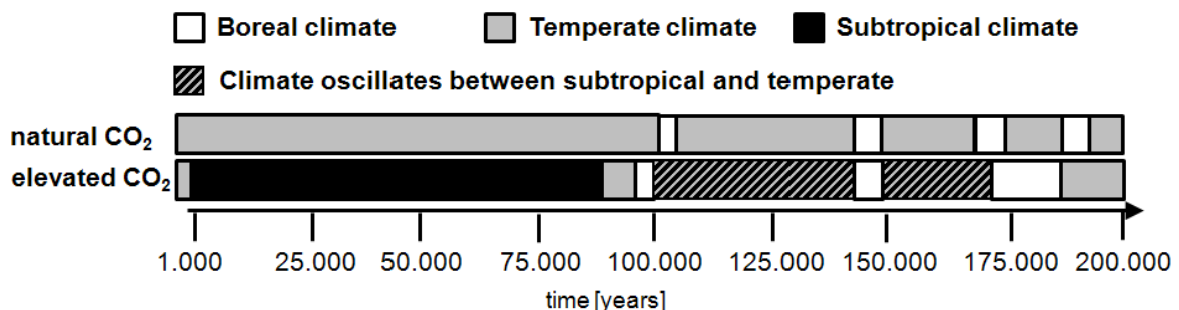


Abb. 1: Potentielle Abfolge von Klimazuständen für die nächsten 200.000 Jahre in Norddeutschland [1, 3].

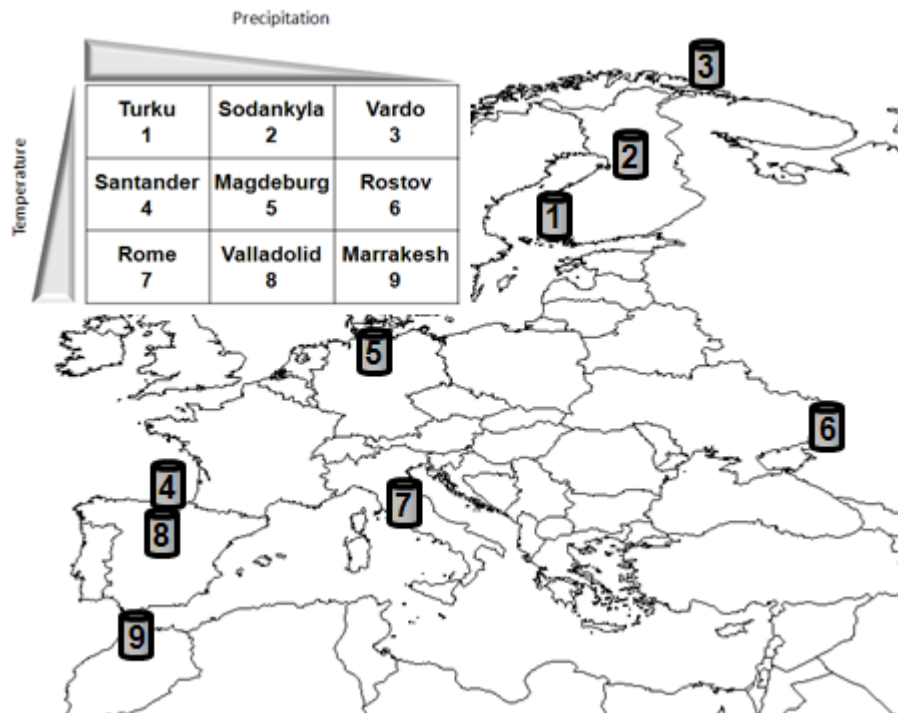


Abb. 2: Ausgewählte Klimastationen zur Erstellung von Referenzklimaregionen [3].

## 2 Referenzbiosphärenmodell und Parameter

Die Biosphärenmodellszenarien wurden in einem einheitlichen Modell implementiert. Dabei wurden die Expositionspfade, das konzeptionelle Modell und die mathematische Formulierung zwischen den Szenarien für die unterschiedlichen Referenzklimaregionen nicht verändert, um eine bessere Vergleichbarkeit der Modellergebnisse zu gewährleisten. Die Modellparameter wurden an die einzelnen Referenzklimaregionen angepasst. Dazu wurden Daten aus öffentlich zugänglichen Parametersammlungen verwendet [4-9]. Die Modelle wurden in der ECOLEGO Software (FACILIA, Stockholm, Schweden) implementiert.

Insgesamt hat das Modell 79 Parameter von denen 21 radionuklidspezifisch, 10 bodenspezifisch, 41 klimaspezifisch und 15 altersgruppenspezifisch sind. Diese Parameter unterliegen einer Unsicherheit und haben eine unterschiedliche Relevanz für das Endergebnis des Modells. Jedem Parameter wurde eine Dichtefunktion zugewiesen, die die Parametervariation abbildet. Für eine Reihe von Parametern, wie etwa Transferfaktoren, sind Mittelwerte, Standardabweichungen sowie minimal und maximal gemessene Werte in Parametersammlungen angegeben. Für andere Parameter wurde die Dichtefunktion abgeschätzt. Wenn der Unterschied zwischen Mittelwert und den Minimum- und Maximumwerten mehr als eine Größenordnung betrug, wurde eine log-Normalverteilung der Dichtefunktion angenommen, bei einem Unterschied von weniger als einer Größenordnung eine Dreiecksverteilung. Die Sensitivitätsanalyse und probabilistischen Berechnungen wurden mit 10.000 Parametervariationen durchgeführt.

## 3 Sensitivitätsanalyse

Zur Ermittlung der Relevanz der einzelnen Modellparameter für die aus dem Modell resultierenden BDCF wurde bei einigen ausgewählten Modellszenarien eine Sensitivi-

tätsanalyse durchgeführt. Dabei wurden für verschiedene Klimareferenzregionen und Radionuklide die Spearman Korrelationskoeffizienten für die Modellparameter gegenüber den BDCF als Modellergebnis berechnet. Die jeweils 10 Parameter mit den absolut höchsten Korrelationen für I-129 und Cs-135 für die gemäßigte Klimareferenzregion werden in Abb. 3 gezeigt.

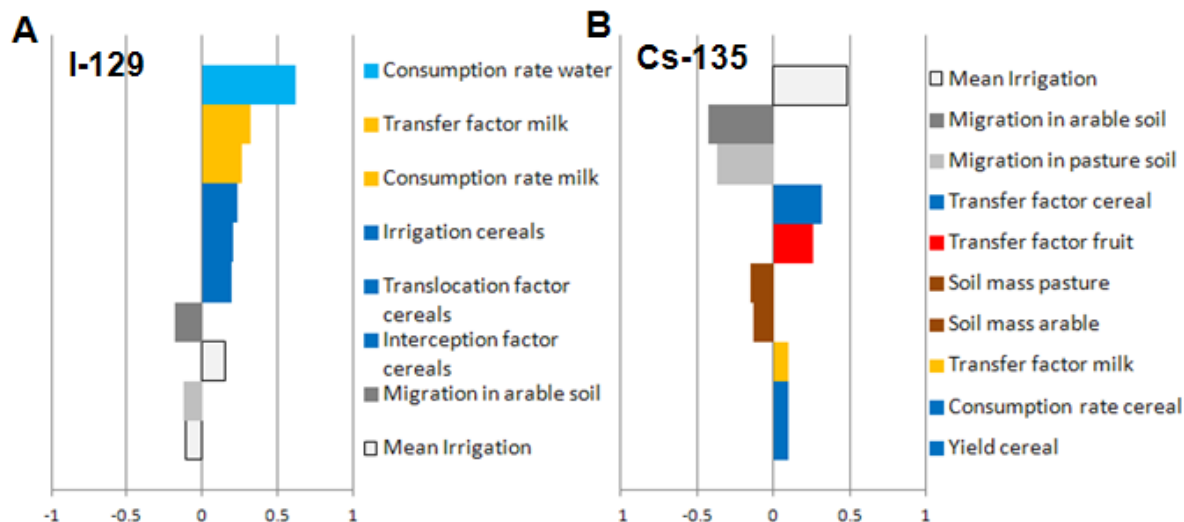


Abb.3: Spearman Korrelationskoeffizienten für A) I-129 und B) Cs-135. Um die Vergleichbarkeit zu verbessern, wurde zusammengehörenden Modellparameter eine Farbe zugeordnet. So sind Parameter die mit Getreide zusammenhängen, wie zum Beispiel Bewässerung, Transferfaktoren oder Translokationsfaktoren dunkelblau [10].

Bei der Auswertung der Daten zeigt sich, dass für die unterschiedlichen Radionuklide verschiedene Modellparameter relevant sind. So sind für I-129 vor allem die Verzehrsmengen von Trinkwasser, sowie Parameter, die mit dem Expositionspfad über Milch oder Getreide zusammenhängen von Bedeutung.

Bei Cs-135 zeigt sich eine hohe Relevanz des verwendeten Bodenmodells. Die entsprechenden Parameter wie Radionuklidmigration in Ackerland sowie Weideland und die durchschnittlichen Bewässerungsmengen tauchen bei den meisten Szenarien unter den 10 wichtigsten Parametern auf. Dies ist in schwächerer Form auch für I-129 zu beobachten.

#### 4 Probabilistische Berechnungen

Bei den probabilistischen Berechnungen wird nun die Verteilung der BDCF nach einer Variation von Modellparametern entsprechend deren definierter Dichtefunktion betrachtet. Dabei zeigte sich, dass eine Korrelation der Modellparameter untereinander die Verteilung der BDCF kaum beeinflusst. Trotzdem wurden entsprechende Korrelationen für die Berechnungen berücksichtigt. Ähnlich wie bei der Sensitivitätsanalyse zeigte sich, dass für bestimmte Radionuklide eine enge Auswahl von Parametern die gesamte Verteilungsfunktion maßgeblich bestimmen. Das sind zum Beispiel für I-129 die Verzehrsmengen für Trinkwasser und die unterschiedlichen Nahrungsmittel und für Cs-135 die Parameter, die mit dem Bodenmodell zusammenhängen und somit die Radionuklidkonzentration im Boden bestimmen (Abb. 4).

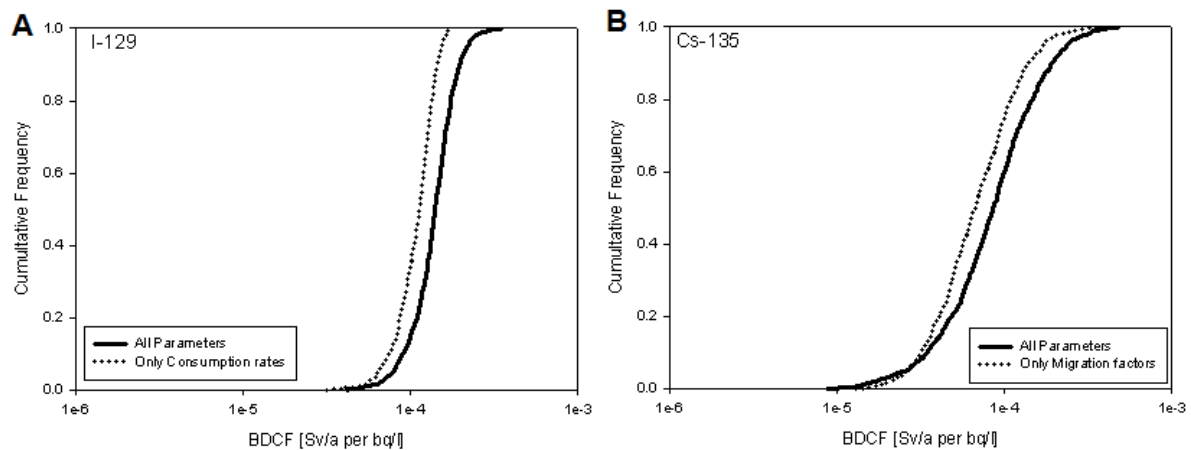


Abb. 4: Verteilung der BDCF bei den probabilistischen Berechnungen. Für A) I-129 und B) Cs-135. Die durchgezogene Linie zeigt jeweils die Verteilung wenn all Modellparameter im Rahmen ihrer Dichtfunktion variiert werden. Die gestrichelten Linien zeigen die Verteilung wenn nur die relevantesten Parameter, verändert werden. Das sind hier bei I-129 die Verzehr rates des Trinkwassers und der Nahrungsmittel und bei Cs-135 die Migrationsfaktoren der Radionuklide im landwirtschaftlich genutzten Boden.

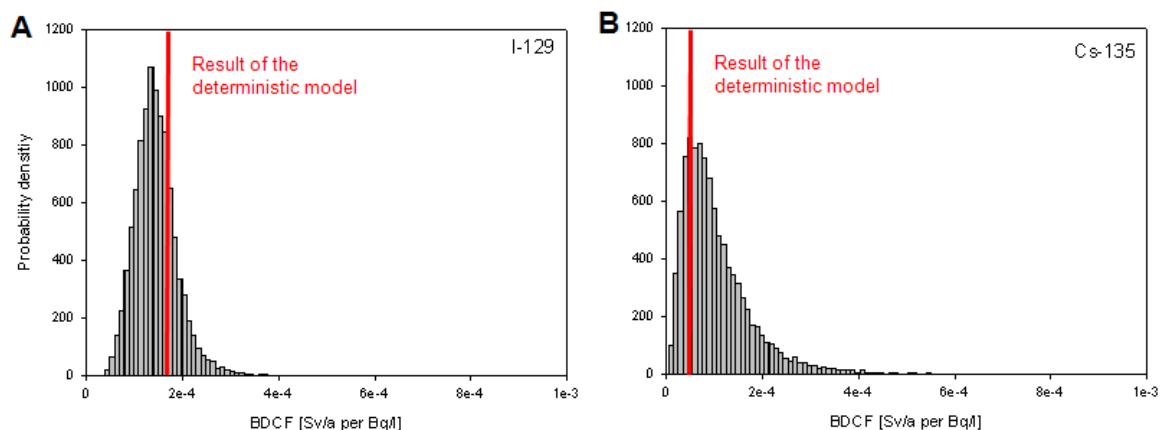


Abb.5: Vergleich der Ergebnisse der Probabilistischen Berechnungen mit den Ergebnissen des deterministischen Modells. Das  $d(x)$  der Säulen ist für beide Histogramme  $1e-5$ .

Vergleicht man die Verteilungsdichten der probabilistischen Berechnungen mit den Ergebnissen von deterministischen Modellen, so sieht man, dass diese relativ nahe bei den Maxima der Verteilungsdichten liegen (Abb. 5). Außerdem liegen die Ergebnisse der deterministischen Berechnungen eher im unteren Bereich der Verteilungsdichten.

Dieses Ergebnis lässt sich durch die Form der meisten Dichtfunktionen für die unterschiedlichen Modellparameter begründen. So hat zum Beispiel die Dichtfunktion für die Verzehrsmenge von Milch eine Dreiecksverteilung mit einem Minimum von 0 Litern, einem Mittelwert von 130 Litern und einem Maximum von 390 Litern im Jahr.

## 5 Schlussfolgerungen

Die Sensitivitätsanalyse und probabilistischen Berechnungen für die verschiedenen Szenarien des hier verwendeten Referenzbiosphärenmodells zeigen die unterschiedliche Relevanz von Modellparametern und deren Unsicherheiten für die Exposition von Populationen. Je nach Radionuklid und Modellszenario sind unterschiedliche Parameter wichtig. Da davon ausgegangen werden muss, dass sich während des Sicherheitsnachweizeitraumes die Fernfeldbedingungen in der Nähe eines Endlager, zum Beispiel aufgrund eines Klimawandels, verändern, genügt es nicht nur die Parameter genauer zu betrachten, die für die Exposition bei heutigen Klimabedingungen relevant sind. Es müssen Außerdem jene Parameter genauer untersucht werden, die in Zukunft relevant sein können. Die hier erwähnten Methoden geben wichtige Hinweise darauf, für welche Parameter und Expositionspfade das relevant ist.

Zusätzlich zeigt sich bei den meisten betrachteten Radionukliden und Modellszenarien, dass die Annahmen die man für die Berechnung der Radionuklidkonzentration in landwirtschaftlichen Böden macht, die Modellergebnisse entscheidend beeinflussen. Da in vielen radioökologischen Modellen bis jetzt relativ stilisierte Bodenmodelle verwendet werden ist es aufgrund der hier gezeigten Ergebnisse vor allem notwendig, diese Bodenmodelle zu verbessern.

## 6 Danksagung

Diese Arbeit wurden im Rahmen der Projekte „Fachliche Unterstützung des BfS bei der Erstellung von Referenzbiosphärenmodellen für den radiologischen Langzeitsicherheitsnachweis von Endlagern - Modellierung des Radionuklidtransports in Biosphärenobjekten. 3609S50005“ vom Bundesamt für Strahlenschutz und WiGru des GRS gefördert.

Wir möchten uns bei den Kollegen vom BfS, GRS sowie bei den Mitgliedern der Endlager Arbeitsgruppen der EMRASII und MODARIA Projekte der IAEA für fachliche Diskussionen und Anregungen bedanken.

## 7 Literatur

- [1] BIOCLIM, *Modeling sequential BIOSphere systems under CLIMate change for radioactive waste disposal*, in EC-Contract FIKW-CT-2000-00024. 2004.
- [2] Staudt, C., N. Semiochkina, and J. Kaiser, *Fachliche Unterstützung des BfS bei der Erstellung von Referenzbiosphärenmodellen für den radiologischen Langzeitsicherheitsnachweis von Endlagern - Modellierung des Radionuklidtransports in Biosphärenobjekten. BfS 3609S50005*. 2013.
- [3] Staudt, C., et al., *Modeling the impact of climate change in Germany with biosphere models for long-term safety assessment of nuclear waste repositories*. Journal of Environmental Radioactivity, 2013. **115**: p. 214-223.
- [4] AVV, *Allgemeine Verwaltungsvorschrift zu § 47 Strahlenschutzverordnung: Ermittlung der Strahlenexposition durch die Ableitung radioaktiver Stoffe aus Anlagen oder Einrichtungen vom 28 August 2012*. 2012, Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit.

- [5] FAO, FAOSTAT. 2007, <http://faostat.fao.org>.
- [6] FAO, *FAO Statistical Yearbook 2010*. 2010.
- [7] IAEA, *Handbook of parameter values for the prediction of radionuclide transfer in terrestrial and freshwater environments*, in *Technical Reports Series No. 472*. 2010: Vienna.
- [8] Statistisches-Bundesamt, *Statistisches Jahrbuch 2010*. 2010: Statistisches Bundesamt.
- [9] StrlSchV, *Strahlenschutzverordnung vom 20. Juli 2001 (BGBl. I S. 1714; 2002 I S. 1459), die zuletzt durch Artikel 2 des Gesetzes vom 29. August 2008 (BGBl. I S. 1793) geändert worden ist*". 2008.
- [10] Semioshkina, N., et al., *Impact of different climates and climate transitions on biosphere modelling in long-term safety assessment*. FKZ: 02E 10548 2012, (BMWi), Gesellschaft für Anlagen- und Reaktorsicherheit (GRS) mbH, GRS-299, Braunschweig.

**ERMITTLUNG DER POTENZIELLEN STRAHLENEXPOSITION DER BEVÖLKERUNG IN DER UMGEBUNG DER SCHACHTANLAGE ASSE II INFOLGE ABLEITUNG RADIOAKTIVER STOFFE MIT DEN ABWETTERN IM BESTIMMUNGSGEMÄßEN BETRIEB MITTELS DES „ATMOSPHERISCHEN RADIONUKLID-TRANSPORT-MODELLS“ ARTM**

DETERMINATION OF THE POTENTIAL RADIATION EXPOSURE OF THE POPULATION CLOSE TO THE ASSE II MINE CAUSED BY DEDUCTION OF RADIOACTIVE SUBSTANCES WITH THE DISCHARGE AIR IN THE NORMAL OPERATION USING THE “ATMOSPHERIC-RADIONUCLIDE-TRANSPORT-MODEL” (ARTM)

D. Esch, C. Wittwer  
*Bundesamt für Strahlenschutz, Salzgitter, Deutschland*

### **Zusammenfassung**

In der Schachtanlage Asse II wurden von 1967 bis 1978 125.787 Fässer und Gebinde mit schwach- und mittelradioaktiven Abfällen eingelagert. Die eingelagerten Abfälle setzen flüchtige radioaktive Stoffe frei (hauptsächlich HTO, C-14-Verbindungen und Rn-222), die in die bewetterten Grubenbereiche gelangen und mit den Abwettern abgeleitet werden.

Für die Umgebung der Schachtanlage Asse II wurde die potenzielle Strahlenexposition der Bevölkerung infolge Ableitung radioaktiver Stoffe mit den Abwettern im bestimmungsgemäßen Betrieb mit dem „Atmosphärischen Radionuklid-Transport-Modell“ ARTM ermittelt.

Im Ergebnis führen die für den bestimmungsgemäßen Betrieb der Schachtanlage Asse II angenommenen maximalen Ableitungen flüchtiger radioaktiver Stoffe mit den Abwettern in Verbindung mit den standortspezifischen meteorologischen und topografischen Bedingungen zu einer Strahlenexposition einer Referenzperson in der Bevölkerung, die deutlich unter den einschlägigen Dosisgrenzwerten liegt.

### **Summary**

Between 1967 and 1978 125.787 packages filled with low-level and intermediate-level radioactive waste were emplaced in the mining plant Asse II.

Volatile radioactive substances like H-3, C-14 and Rn-222 are released from the emplaced waste. These substances reach the ventilated parts of the mine and are released with the discharge air.

The potential radiation exposure of the population caused by deduction of radioactive substances with the discharge air in the normal operation is determined by the "Atmospheric Radionuclide-Transport-Model" (ARTM).

As result the maximal deductions of volatile radioactive substances with the discharge air in the normal operation of the Asse II mine lead to radiation exposure of the population, which is considerably lower than the permissible values of application rate.

## **1 Einleitung**

In früheren Untersuchungen [1] wurden für den Standort der Schachanlage Asse II Langzeitausbreitungsrechnungen nach dem damals neuesten Entwurf der Allgemeinen Verwaltungsvorschrift (AVV) zu § 47 StrlSchV [3] durchgeführt, wobei nach AVV das Gauß-Fahnenmodell zur Berechnung der atmosphärischen Ausbreitung eingesetzt wurde. Dieses Verfahren ist bei besonderen Randbedingungen, wie sie auch am Standort der Schachanlage Asse II vorliegen (niedrige Emissionshöhe und komplexe Topografie), nicht immer konservativ. Um sicherzustellen, dass am Standort der Schachanlage Asse II die Grenzwerte des § 47 StrlSchV eingehalten werden, wurde in der vorliegenden Untersuchung stattdessen das Lagrange-Partikelmodell ARTM verwendet, das dem Stand von Wissenschaft und Technik entspricht, aber noch kein Standard in Genehmigungsverfahren ist.

## **2 Die Berechnung mit dem „Atmosphärischen Radionuklid-Transport-Modell“ ARTM**

Es wurden die Langzeitausbreitungs- und Ablagerungsfaktoren mit dem Lagrange-Partikel-Modell ARTM unter Berücksichtigung der Orografie, des Gebäudeeinflusses und der thermischen und mechanischen Überhöhung der Abwetterfahne berechnet. Grundlage hierfür waren die meteorologischen Standortdaten der Jahre 2002 bis 2006, die aktuelle Bebauung sowie Daten zur Orografie des niedersächsischen Landesamts für Geoinformation und Landentwicklung (LGLN). Auf der Basis der berechneten Werte für die Ausbreitungs- und Depositionsfaktoren wurde anschließend die potenzielle Strahlenexposition durch die Ableitung von flüchtigen Radionukliden mit den Abwettern nach den Verfahren der Allgemeinen Verwaltungsvorschrift zu § 47 StrlSchV [4] für verschiedene Aufpunkte ermittelt. Als Quellterm wurden sowohl die mittleren als auch die maximalen jährlichen Werte für die Ableitung von radioaktiven Stoffen mit der Fortluft angenommen.

### **2.1 Berücksichtigung von topographischen Strukturen und Bebauung**

Das Modell ARTM erlaubt bei der Berechnung der atmosphärischen Ausbreitung die Berücksichtigung von topographischen Strukturen (Geländehöhen) und von relevanten Gebäuden. Geländehöhen werden dabei durch die Einbindung des Digitalen Geländemodells DGL abgebildet, während die relevanten Gebäude als einfache geometrische Strukturen approximiert werden [Abb 1].



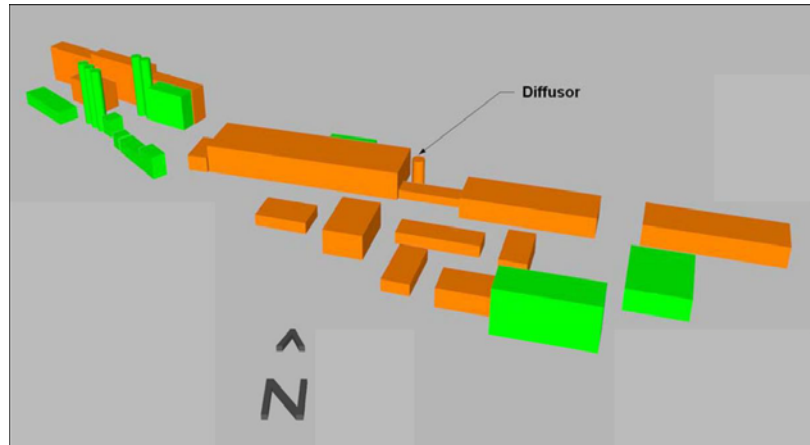


Abb. 1: Dreidimensionale Darstellung der für die Ausbreitungsrechnung am Standort der Schachtanlage Asse II relevanten Gebäudestrukturen [2]

### 2.2 Berechnung des Langzeitausbreitungsfaktors

Die Abbildung 2 zeigt die flächenhafte Verteilung des Langzeit-Ausbreitungsfaktors  $CHI_{\text{ganzes Jahr}}$  für die Jahre 2002 bis 2006. In der Abbildung ist neben der Quelle (Diffusor) auch die Grenze des Betriebsgeländes eingetragen. Die Geländehöhen des digitalen Geländemodells DGL sind deutlich zu erkennen. Das Maximum des Langzeitausbreitungsfaktors  $CHI_{\text{ganzes Jahr}}$  liegt in etwa 60 m Entfernung nord-nordöstlich des Diffusors.

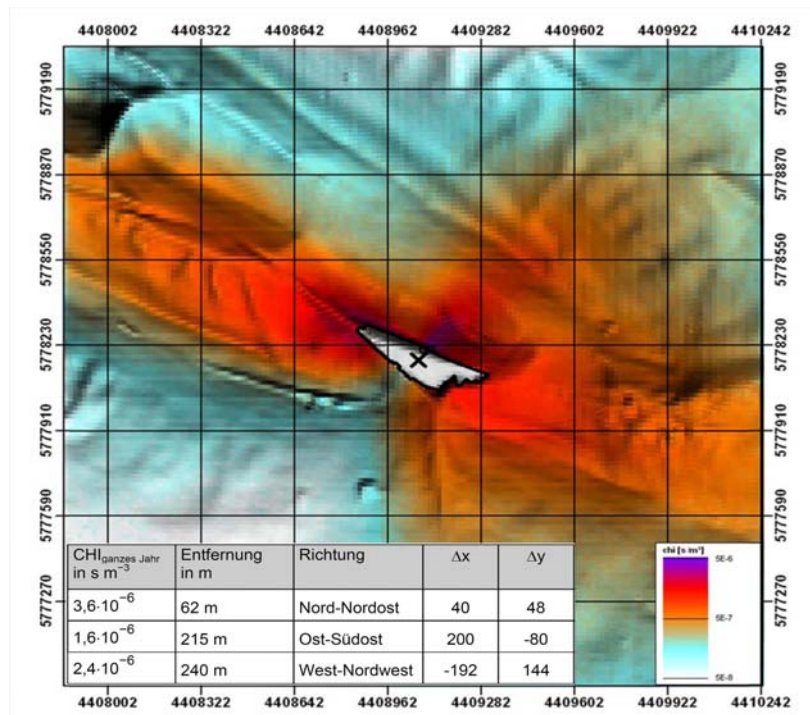


Abb. 2: Flächenhafte Verteilung des Langzeit-Ausbreitungsfaktors für die Jahre 2002 - 2006 in der Umgebung der Schachtanlage Asse II [2]

### 2.3 Berechnung des Langzeit-Washoutfaktors

In der Abbildung 3 ist die flächenhafte Verteilung des Langzeit-Washoutfaktors  $W_{\text{ganzes Jahr}}$  für die Jahre 2002 bis 2006 dargestellt. In der Abbildung ist neben der Quelle

(Diffusor) auch die Grenze des Betriebsgeländes eingetragen. Das Maximum des Langzeit-Washoutfaktors  $W_{\text{ganzes Jahr}}$  liegt in etwa 90 m Entfernung vom Diffusor in ost-nordöstlicher Richtung und damit östlich vom Ort des maximalen Langzeitausbreitungsfaktors  $CHI_{\text{ganzes Jahr}}$ .

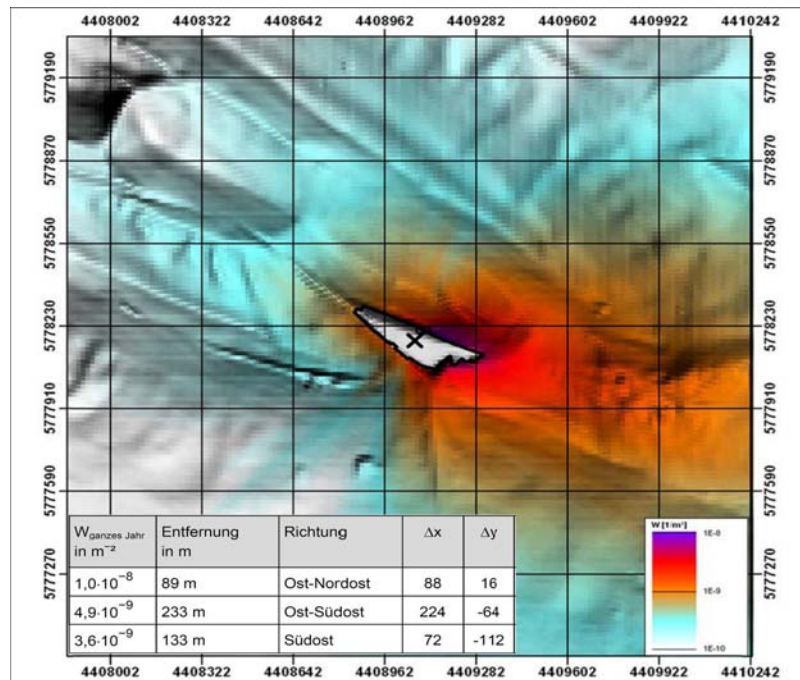


Abb. 3: Flächenhafte Verteilung des Langzeit-Washoutfaktors für die Jahre 2002 -2006 in der Umgebung der Schachanlage Asse II [2]

### 3 Berechnung der Strahlenexposition für die Erfahrungswerte der jährlichen Ableitungen

Es liegen Erfahrungswerte für die Ableitung radioaktiver Stoffe mit den Abwettern der Schachanlage Asse II vor. Sowohl die mittleren, die maximalen und die von Brenk Systemplanung [1] angenommenen jährlichen Ableitungen sind in Tabelle 1 aufgeführt. Für diese Werte wurde die potentielle Strahlenexposition (in  $\mu\text{Sv/a}$ ) unter der Verwendung der mit ARTM berechneten Ausbreitungsfaktoren ermittelt.

Tabelle 1: Erfahrungswerte für die Ableitung flüchtiger Radionuklide mit Fortluft der Schachanlage Asse II

Nuklid	Mittlere jährliche Ableitungen in Bq/a	Maximale jährliche Ableitungen in Bq/a	Quellterm Brenk 2001 in Bq/a
Tritium	4,3 E+10	5,5 E+10	5,5 E+10
C-14	1,9 E+09	1,3 E+10	0,8 E+09
Aerosole	1,1 E+06	1,6 E+06	1,6 E+06
Rn-222 (Gas)	9,0 E+10	9,4 E+10	8,4 E+10

Die mit diesen Werten für die Ableitungen berechneten potentiellen Strahlenexpositionen sind in Tabelle 2 aufgeführt.

*Tabelle 2: Potenzielle Strahlenexposition (in  $\mu\text{Sv/a}$ ) durch die mittleren Ableitungen, die maximalen tatsächlichen Ableitungen sowie 2001 durch Brenk Systemplanung [1] berechnet.*

	Mittlere jährliche Ableitungen	Maximale jährliche Ableitungen	Quellterm Brenk 2001
Altersgruppe	effektive Dosis in $\mu\text{Sv/Jahr}$		
Erwachsene	0,5	0,6	6
Kleinkinder	1	1,3	10
Säuglinge	2,5	3,5	13

#### 4 Schlussfolgerungen

Die durchgeführten Untersuchungen zeigen, dass die für den bestimmungsgemäßen Betrieb der Schachanlage Asse II angenommenen Ableitungen flüchtiger radioaktiver Stoffe mit den Abwettern in Verbindung mit den standortspezifischen meteorologischen und topografischen Bedingungen zu einer Strahlenexposition einer Referenzperson in der Bevölkerung führen, die deutlich unter den einschlägigen Dosisgrenzwerten liegt.

#### 5 Literatur

- [1] A. Nüsser, Ch. Winkler, Rechnungen gemäß der neuen Allgemeinen Verwaltungsvorschrift zu § 47 der Strahlenschutzverordnung für den Standort der Schachanlage Asse - Endbericht erstellt im Auftrag der GSF-Forschungszentrums für Umwelt und Gesundheit GmbH, Brenk Systemplanung GmbH, Aachen, 9. November 2001.
- [2] A. Becker, H. Thielen, R. Martens, D. Marić, Ermittlung der potenziellen Strahlenexposition der Bevölkerung in der Umgebung der Schachanlage Asse II infolge Ableitung radioaktiver Stoffe mit den Abwettern im bestimmungsgemäßen Betrieb mittels eines Lagrange-Partikel-Modells – Bericht erstellt im Auftrag des Bundesamtes für Strahlenschutz (BfS), Istec GmbH, Köln, 11.05.2010.
- [3] Allgemeine Verwaltungsvorschrift (AVV) zu § 47 StrlSchV, Entwurfsfassung vom 10.01.2001, BMU, Bonn, 2001.
- [4] Allgemeine Verwaltungsvorschrift (AVV) zu § 47 StrlSchV, Entwurfsfassung vom 13.05.2005, BMU, Bonn, 2005.

**Kurzfassung des Einführungsvortrags:****SCHNELLE ABSCHÄTZUNG DER UNFALLBEDINGT AUF DEM BODEN ABGELAGERTEN RADIONUKLIDE**

M. Bleher<sup>1</sup>, B. Gerich<sup>1</sup>, F. Gering<sup>1</sup>, R. Luff<sup>2</sup>

<sup>1</sup>*Bundesamt für Strahlenschutz, Oberschleißheim, Deutschland*

<sup>2</sup>*Bundesamt für Strahlenschutz, Rendsburg, Deutschland*

Wie sich nach den Unfällen in Tschernobyl und Fukushima gezeigt hat, sind in solchen Kontaminationslagen belastbare Informationen über die auf dem Boden abgelagerten Radionuklide sehr wichtig für die Entscheidung über frühe Maßnahmen zum Schutz der Bevölkerung. Erste Prognoserechnungen (z.B. mit RODOS) beruhen auf Annahmen über den Quellterm und auf der Kenntnis der Ausbreitungs- und Ablagerungsbedingungen. ODL-Messnetze sind die ersten Messdaten, die diese Modellrechnungen verifizieren oder korrigieren und einen raschen Überblick über die tatsächliche Kontaminationssituation liefern. Messungen mittels in situ Gammaskpektrometrie liefern ergänzend nuklidspezifische Informationen. In Bereichen, wo größere räumlichen Gradienten der Kontamination zu erwarten sind, kommen Überflugmessungen sowie in städtischen Bereichen fahrzeuggebundene Messdaten hinzu. Das BfS entwickelt derzeit Verfahren, mit dem alle diese Daten zusammengeführt und belastbare Karten der Bodenkontamination schnell erstellt werden können. Dabei werden bereits früher im Rahmen des Entscheidungshilfesystems PARK entwickelte Ansätze zur Verknüpfung von ODL- und Insitu-Messdaten weitergeführt und kartografische Methoden zur Ergebnisdarstellung genutzt. Es wird gezeigt, wie die Methoden im Ereignisfall auch zur Optimierung der Messstrategie verwandt werden können und wie die Methoden im operationellen Einsatz mit dem Entscheidungshilfesystem RODOS gekoppelt werden können, um schnelle Dosisabschätzungen auf der Basis von Messdaten zu erhalten.

**Ergebnisse des Workshops:**

Der Einsatz von Modellrechnungen im Rahmen des radiologischen Notfallschutzes wird als sinnvoll und notwendig erachtet. Modellsysteme können einerseits helfen, die Vorkehrungen und Arbeitsabläufe zur Entscheidungsfindung im Ereignisfall vorzubereiten. Dabei können Rechnungen für konkrete Freisetzungsszenarien im Rahmen von Übungen sowie zu systematischen Studien (vgl. Notfallschutzstudie) durchgeführt werden. Für den Ereignisfall werden schnelle und robuste Entscheidungshilfesysteme vor allem in der Anfangsphase eines Unfalles (Vorfreisetzungsphase, Wolkendurchzugsphase) benötigt. Hierfür sind einfache Modelle hilfreich, die flexibel an die ereignisspezifischen Erfordernisse angepasst werden können. Die Ergebnisse der Modellrechnungen müssen schnell und robust im Hinblick auf die Anforderungen der Entscheidungsträger aufbereitet werden können. Dosisabschätzungen durch die eingesetzten Modelle sollten eher realistisch erfolgen.

Für die Veröffentlichung der Modellergebnisse im Ereignisfall werden folgende Regeln als sinnvoll angesehen: Die Verfügbarkeit der Ergebnisse soll ausreichend schnell erfolgen. Die Ergebnisse sollten hinsichtlich ihrer Relevanz bewertet werden, getroffene Annahmen bei den Modellrechnungen sind zu dokumentieren. Die Veröffentlichung der Ergebnisse soll den Vergleich mit anderen Ereignissen ermöglichen. Zu berücksichtigen sind unterschiedliche Anforderungen von Zielgruppen; insbesondere der Informationsbedarf der Öffentlichkeit ist bei der Auswahl von Darstellungsart von Belang.

Die im Einführungsvortrag vorgestellten Überlegungen zur Verwendung schnell verfügbarer Messdaten zur Kontaminationssituation für weitere Modellabschätzungen stießen auf positive Resonanz. Diskutiert wurde die Erweiterbarkeit der Methoden auf die Verwendung von Messdaten aus der Beprobung landwirtschaftlicher Produkte zur Verbesserung der Abschätzung der Ingestionsdosis. Aus der Auswertung von Grasproben lässt sich z.B. die zu erwartende Kontamination der Milch schätzen und mit Daten aus der Milchbeprobung zu vergleichen. Dabei ist allerdings der ggf. problematische Ortsbezug der Milchproben zu berücksichtigen, die i.d.R. nicht erzeugernah durchgeführt wird.

Lokale, kleinskalige Ereignisse benötigen besonders für den Einsatz im urbanen Bereich spezielle Modellanforderungen. Hierfür sollte z.B. die Entwicklung des Modells LASAIR fortgeführt werden.

# Messprogramme bei Ereignissen und Übungen

## Workshop A1:

### Messprogramme bei Ereignissen und Übungen

Moderation: Fr. Werner, Hr. Heinrich

Messprogramme und Übungskonzepte - Sind Anpassungen Nötig? <i>M. Werner, T. Heinrich</i> .....	173
Workshop A1 „Messprogramme und Übungskonzepte – sind Anpassungen nötig?“ <i>M. Werner, T. Heinrich</i> .....	174

## **MESSPROGRAMME UND ÜBUNGSKONZEPTE - SIND ANPASSUNGEN NÖTIG?**

M. Werner<sup>1</sup>, T. Heinrich<sup>2</sup>

<sup>1</sup>*Bundesamt für Strahlenschutz, Oberschleißheim, Deutschland*

<sup>2</sup>*Staatliche Betriebsgesellschaft für Umwelt und Landwirtschaft,  
Geschäftsbereich Umweltradioaktivität, Radebeul*

### **Kurzfassung**

Im Mittelpunkt bisheriger radiologischer Übungen lag die Aufarbeitung der nach den festgelegten Messprogrammen durchgeführten Messungen durch und für die Strahlenschutzbehörden. Die aufgetretenen Probleme in der verunsicherten Öffentlichkeit während der Ereignisse in Fukushima ließen jedoch Defizite in Zuständigkeiten und Kompetenzen im radiologischen Bereich der Behörden erkennen. Wie können wir unsere Messprogramme und Übungskonzepte in Deutschland so verbessern, dass in einem tatsächlichen Ereignisfall die Bevölkerung optimal geschützt und informiert wird?

Folgende Fragen müssen u. a. auf dem Workshop diskutiert werden:

- Ist der Aufwand für Übungen aufgrund von mehr Aufgaben aber weniger Personal im Strahlenschutzbereich in Bund und Länder zu zeitintensiv?
- Sind die Vorschriften der aktuellen Messprogramme noch zeitgemäß? Sollten in einem Ereignisfall Messungen in kontaminierten Gebieten stärker verdichtet und alternativ in nicht beaufschlagten verdünnt werden?
- Gibt es bestimmte Übungsmodule, die besonders wichtig sind und vorrangig geübt werden sollen? Sollen mehr internationale Übungen mit Einbeziehung der Länder durchgeführt werden?
- Soll der Übungsschwerpunkt zukünftig zusätzlich auf die Einbeziehung neuer Medien ausgerichtet werden?

## **WORKSHOP A1 „MESSPROGRAMME UND ÜBUNGSKONZEPTE – SIND ANPASSUNGEN NÖTIG?“**

M. Werner<sup>1</sup>, T. Heinrich<sup>2</sup>

<sup>1</sup>*Bundesamt für Strahlenschutz, Oberschleißheim,*

<sup>2</sup>*Staatliche Betriebsgesellschaft für Umwelt und Landwirtschaft,  
Geschäftsbereich Umweltradioaktivität, Radebeul*

### **Zusammenfassung**

Die vielen Teilnehmer aus Bund, Ländern und Betreibern, die den zur Verfügung stehenden Hörsaal gut füllten und deren äußerst lebhaft Diskussionsbeiträge zeugten von großem Interesse an den Themen des Workshops „Messprogrammen und Übungskonzepten“. Der zeitliche Rahmen von einer Stunde war für die intensiven Diskussionen jedoch sehr knapp bemessen.

Dieser Workshop behandelte im Wesentlichen zwei Schwerpunktthemen, die Überarbeitung des Intensivmessprogramms im Integrierten Mess- und Informationssystem (IMIS) und die Integration der REI-Störfall-Daten (Richtlinie zur Emissions- und Immissionsüberwachung kerntechnischer Anlagen) nach einem radiologischen Unfall in Deutschland in das Integrierte Mess- und Informationssystem IMIS.

Mehrheitlicher Wunsch der Diskussionsteilnehmer war die Optimierung des in der Allgemeinen Verwaltungsvorschrift IMIS (AVV IMIS) vorgeschriebenen Intensivmessprogramms. Bisher sehen die gesetzlichen Regelungen in einem Ereignisfall mit radiologischen Auswirkungen bei einer Vielzahl von Medien tägliche oder wöchentliche Probenahmen pro Landkreis in Deutschland vor. Die engen Vorgaben im Rahmen politischer Einheiten sollen zukünftig zugunsten umfassenderer Messungen und Probenahmen in einem tatsächlich beaufschlagten Gebiet ersetzt werden, da die Flächen der Verwaltungseinheiten sich von Bundesland zu Bundesland sehr stark unterscheiden können. Die Ländervertreter wünschen sich hierzu konkrete Vorgaben seitens des Bundes über das zu beprobende Territorium. Darüber sollen die Art und der Umfang der landwirtschaftlichen Nutzung des kontaminierten Gebietes verstärkt bei der Probennahme zu berücksichtigen werden.

Ein weiteres großes Anliegen der Ländervertreter besteht darin, die Radiochemie, insbesondere die extrem aufwändigen Strontiummessungen auf das Notwendigste zu reduzieren. Ein möglicher Ansatz, an wenigen Medien und Probenahmestellen den Nuklidvektor zu ermitteln, wurde begrüßt.

Der zweite Themenschwerpunkt des Workshops befasste sich mit dem REI-Störfall-Messprogramm. Es regelt die Messungen und Probenahmen im direkten Umfeld eines Kernkraftwerkes nach einer Freisetzung radioaktiver Stoffe. Allerdings verbleiben bisher die von der KHG, dem Kerntechnischen Hilfsdienst im Auftrag der deutschen Kernkraftwerksbetreiber und den Ländern erhobenen Messdaten bei den Ländern und/oder Kernkraftwerksbetreibern. Auf Wunsch der Workshop-Teilnehmer



sollen diese Daten zukünftig in die bundeseinheitliche Radioaktivitätsmessdatenbank des Integrierten Mess- und Informationssystems IMIS weitergeleitet werden. Sie sollen gemeinsam in Dokumenten mit Daten, die nach dem Strahlenschutzvorsorgegesetz erfasst werden, dargestellt werden können.

Die hierzu nötige weitere Vorgehensweise und mögliche konkrete Festlegungen sollen beim regelmäßig tagenden nächsten REI-Nutzertreffen (Juni 2013), das beim Bundesamt für Strahlenschutz in Neuherberg stattfindet, diskutiert werden.

# Information der Öffentlichkeit bei lokalen und globalen Ereignissen

## Vorträge

### Sitzungsleitung: Fr. Denstorf, Hr. Peter

Offene und schnelle Verfügbarkeit von ODL-Messwerten in der Öffentlichkeit – Herausforderungen und Chancen durch internetbasierte Kommunikationsformen

*M. Zähringer, R.Luff, M. Schiesewitz* ..... 177

PotenTiale und Herausforderungen der Kommunikation von Radioaktivitätsmessdaten am Beispiel von ODLinfo

*R Högg, M. Holenstein, C. Hoffmann, V. Schetula* ..... 184

### Workshop A2:

**Information der Öffentlichkeit bei lokalen und globalen Ereignissen (z. B. Konsequenzen aus den Erfahrungen mit den Medien beim Fukushima-Ereignis)**

### Moderation: Fr. Denstorf, Fr. Schulte-Lutz

Information der Öffentlichkeit bei lokalen und globalen Ereignissen

*B. Denstorf, A. Lutz, D. Schwarz* ..... 185

## **OFFENE UND SCHNELLE VERFÜGBARKEIT VON ODL- MESSWERTEN IN DER ÖFFENTLICHKEIT – HERAUSFORDERUNGEN UND CHANCEN DURCH INTERNETBASIERTE KOMMUNIKATIONSFORMEN**

### **OPEN AND FAST AVAILABLE DOSE RATE DATA FOR THE PUBLIC – CHALLENGES AND OPPORTUNITIES OF INTERNET BASED COMMUNICATION**

M. Zähringer, R.Luff, M. Schiesewitz  
*Bundesamt für Strahlenschutz, Salzgitter, Deutschland*

#### **Zusammenfassung**

Das bereits seit mehreren Jahren existierende Informationsangebot „ODLInfo“ des BfS im Internet stieß nach den Ereignissen in Fukushima auf ein großes Medien- und Publikumsinteresse. Die Internetseite wurde daraufhin funktionell wesentlich erweitert, durch erläuternde Informationen ergänzt und ins englische übersetzt. Eine erhöhte Abfragerate der Sonden verbesserte die Aktualität der Daten, die nun teilweise nicht bzw. erst nachträglich verifiziert wurden. Parallel wurde eine hohe Zahl von Bürgeranfragen per E-mail beantwortet, die sich auf dieses Informationsangebot bezogen und damit als wertvollen Input für die Optimierung des Informationsangebotes genutzt wurden. Als weitere Dienstleistung wurden ODL-Daten als ASCII-Files für externe Anbieter zum Herunterladen und weiterer Verwendung z. B. in Apps für Smartphones bereitgestellt. Der Markt zeichnet sich durch eine breite Palette von seriösen bis reißerisch aufgemachten Produkten aus. Das BfS ist bemüht, aufgeschlossene Anbieter fachlich zu beraten.

Auf europäischer und internationaler Ebene gibt es vergleichbare Informationsangebote. Die EU veröffentlicht die Daten aller beteiligten Staaten über die EURDEP Plattform. In Japan organisierten sich nach dem 11. März 2011 auch private Angebote, die auf Messungen von Laien und „Non Governmental Organisations (NGOs)“ beruhen.

Für den Notfallschutz hat diese Entwicklung wichtige Konsequenzen: Die Informationsangebote müssen authentisch und aktuell sein, sie müssen bezüglich Darstellung und Inhalt mit alternativen Informationsangeboten konkurrieren können, verständlich dargestellt werden und im Idealfall den Bürger in die Lage versetzen, die dargestellten Messwerte selbst in einen Bedeutungszusammenhang zu stellen, z.B. über Vergleichswerte. Vielfach besteht der Wunsch, eigene Messungen - teilweise durch ungeeignete Geräte - mit den offiziellen Daten zu vergleichen. Eine gute Kommunikation der dabei zu beobachtenden Effekte trägt wesentlich zu einem Gesamtverständnis von Strahlung und Strahlenrisiko bei.

## Summary

The BfS website „ODLInfo“ had been operational for many years when it suddenly became frequently visited by the public due to the Fukushima accident. BfS responded with increased polling frequency of the gamma probes in the network and a higher frequency in update of the web site. Not yet validated data were also published. The web site was extended by explanatory text and additional functionalities, including a complete translation into English language. Many questions directed to BfS by E-mail and related to this web site had to be answered. This was used as a valuable feedback for improving its design. Additional services were implemented for providers of special applications of smartphones. The market is characterized by a great variability between serious and lurid apps. BfS seeks to support providers in giving explanatory help.

Similar websites exist on European and international level. The EU is publishing data from member states on the EURDEP site. NGOs established platforms for uploading and visualizing private dose rate measurements in Japan after 11 March 2011. This development has important implications for emergency preparedness. Information platforms must be authentic and timely. They must compete with alternative data sources in contents and presentation. Data must be presented understandable. Ideally, the public can understand the data and set it into relation to reference values. Often people want to compare their own measurements – sometimes collected with low quality equipment – with official data. Radiation issues are much better understood by the lay public if visible effects in the variability of the measured dose rate are explained.

## 1 Einleitung

Die Kommunikation zwischen Experten und Bevölkerung wird im Strahlenschutz zu einem immer wichtigeren Thema. Sie erfolgt in einem emotional sehr stark besetzten Umfeld. Unzureichende Kommunikation, Missverständnisse, fehlende Kenntnisse über die tatsächliche Höhe der Strahlung und deren Auswirkungen, verzerrte Risikowahrnehmung und ein allgemeines Misstrauen können zu Überreaktionen führen. In deren Folge kann es zu nicht gerechtfertigten negativen Folgen von tatsächlichen oder vermeintlichen Schutzmaßnahmen sowie zu irrationalen Ängsten kommen.

Vor diesem Hintergrund ist bei der Kommunikation von Daten zur Radioaktivität ein besonderes Augenmerk auf Authentizität, Glaubwürdigkeit, Benutzerfreundlichkeit und Verständlichkeit zu legen.

Das Bundesamt für Strahlenschutz betreibt seit dem Jahr 2000 ein Informationsportal für Daten aus dem Messnetz für die Ortsdosisleistung (ODL) [1]. Dieses Informationsportal (<http://odlinfo.bfs.de>) fand bis zum 11. März 2011 relativ wenig Beachtung. Die Präsentation der Daten beschränkte sich auf eine nicht zoombare Karte und vorgefertigte Zeitreihen mit Tagesmittelwerten, die per Mausklick aus der Karte aufgerufen werden konnten.

## 2 Reorganisation nach Fukushima

In der Folge der Reaktorkatastrophe von Fukushima stieg das Interesse an dieser Internetseite sprunghaft an. Abbildung 1 zeigt den Verlauf der Zugriffe pro Tag nach dem 11. März 2011, auch Leitmedien wie die Tagesschau und Heute berichteten in ihren Ausstrahlungen vom Angebot der BfS Webseite. Gleichzeitig erreichte das BfS zahlreiche Anfragen per E-mail oder Telefon, die direkt auf dieses Informationsangebot Bezug nahmen. Neben konkreten Fragen zu der Messtechnik, der beobachteten zeitliche und räumliche Variabilität etc. wurde auch Kritik z.B. an der Aktualität der Daten geübt. Weil das bisherige Konzept nur die Veröffentlichung geprüfter Daten erlaubte, waren die Messwerte bis zu 2 Tagen verzögert.

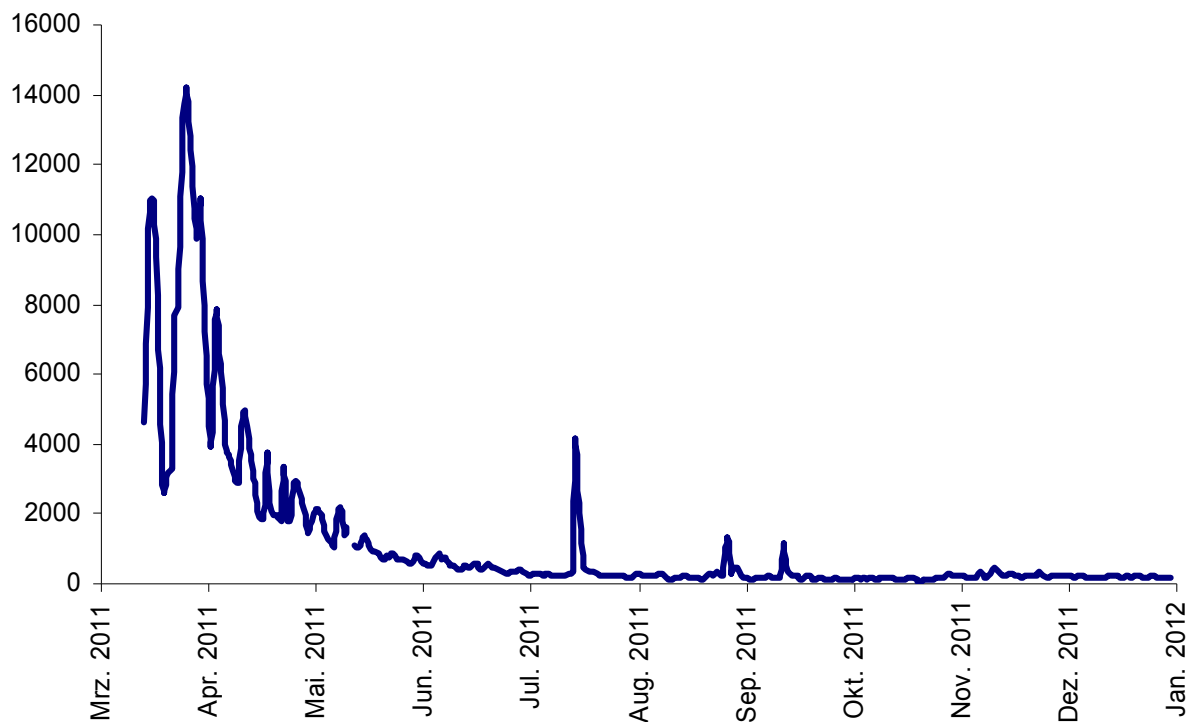


Abb. 1: Zeitlicher Verlauf der Zugriffe auf das Informationsangebot ODL-Info nach der Reaktorkatastrophe von Fukushima.

Als unmittelbare Reaktion änderte das BfS sein Konzept und veröffentlichte Zeitreihen mit 2-Stunden-Mittelwerten. Durch die zeitgleiche Umstellung auf einen zwei-stündigen Abfragetakt konnten die Daten dann praktisch in Echtzeit dargestellt werden.

Parallel dazu wurde das Informationsangebot mit zahlreichen Erklärungen der physikalischen Effekte, z.B. dem Auswaschen von Radonfolgeprodukten aus der Atmosphäre bei starken Regenfällen und der damit verbundenen deutlich sichtbaren Zunahme der ODL wurde ausführlich erklärt. Hinzu kamen Erläuterungen der Funktionsweise der Sonden und möglicher Fehlfunktionen sowie eine Sammlung der bereits vom BfS beantworteten Fragen (FAQ). Listen nach Bundesländern sortiert, sowie Stationsnamen in der Karte erleichtern das Auffinden einzelner Sondenstandorte und deren Messwerte. Weiterhin veröffentlicht das BfS die aktuelle Anzahl betriebsbereiter Sonden sowie die Orte mit der höchsten und der geringsten Ortsdo-

sisleistung. Die Hauptseite des Informationsangebots ist in dem Screenshot in Abbildung 2 dargestellt. Eine zoombare Kartenansicht, die auch den direkten Vergleich von Zeitreihen mehrerer Stationen erlaubt, ist über das Kompasssymbol verlinkt. Ein Thumbnail unten links in der Karte führt zu einer flächenhaften Darstellung der Ortsdosisleistung. Diese Darstellung wurde aufgrund einiger Nachfragen aus der Bevölkerung wieder aufgenommen.

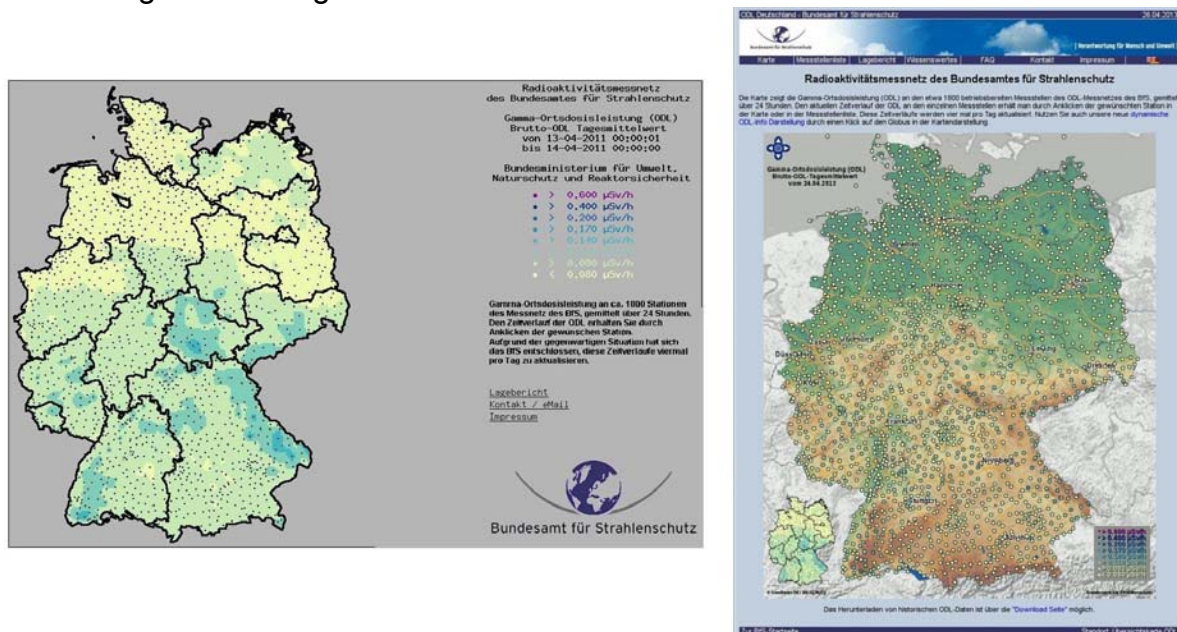


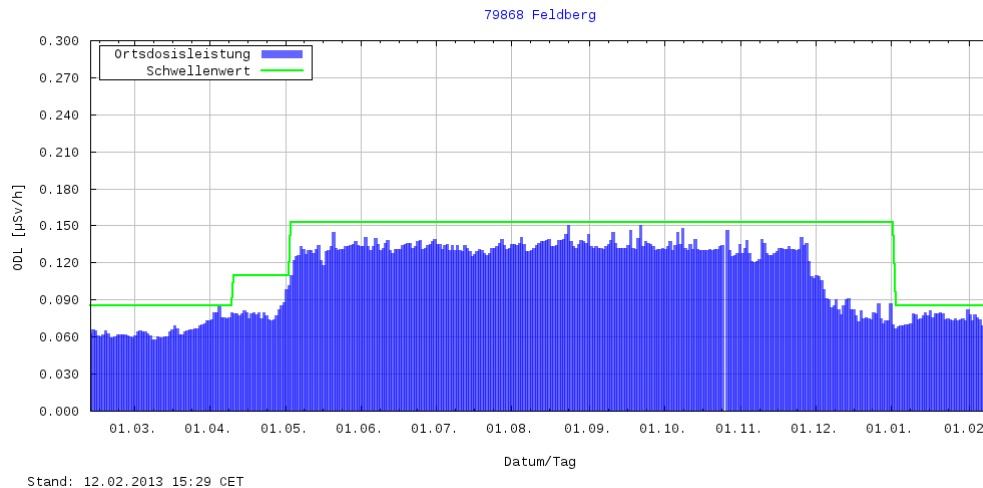
Abb. 2: Screenshot der Hauptseite der Internetpräsents *odinfo.bfs.de*, links Version von 2000 bis 2011, rechts die neue Darstellung nach der Umgestaltung.

Wichtig bei der Darstellung der Messergebnisse war auch die Erläuterung der hinter dem Messnetz stehenden operationellen Systeme, einschließlich Rufbereitschaft und Plausibilitätsprüfung. Das BfS überprüft ständig die eingehenden ODL-Messwerte auf Plausibilität und Überschreitung bestimmter Alarmierungswerte Bundesamt für Strahlenschutz (2013). Überschreitet die gemessenen ODL einen bestimmten sogenannten Schwellenwert, werden die Daten der entsprechenden Sonde automatisch markiert und sind am darauffolgenden Arbeitstag von einem Plausibilitätsprüfer manuell zu prüfen. Die dabei verwendeten Schwellenwerte ergeben sich aus dem 10-Minuten-Mittelwert plus 30 nSv/h. Ein zweiter, nicht dargestellter Schwellenwert bezieht sich auf die 1-Minuten-Mittelwerte. Dieser löst Sondenseitig eine Spontanmeldung aus, die dafür sorgt, dass unmittelbar nach Überschreiten aktiv Daten an einen der sechs Messnetzknotten übermittelt werden. Treffen zwei solcher Spontanmeldungen innerhalb eines Radius von 30km und einer Stunde ein, so wird eine automatische Meldung generiert, die die Rufbereitschaft über Mobilfunk alarmiert. Die Rufbereitschaft nimmt diese Meldungen 24 Stunden am Tag, 7 Tage die Woche entgegen und reagiert unmittelbar indem sie die Daten prüft oder weitere Daten aus der Umgebung abfragt und so überprüft, ob es sich um eine natürliche oder unfallbedingte Erhöhung der Radioaktivität handelt.

Diese Prüfungs- und Alarmierungslogik wird in den Begleittexten auf der Webseite erklärt. Die Zeitreihen zeigen auch die Schwellenwerte, oberhalb derer das BfS Daten manuell prüft. Die in den Zeitreihen dargestellten Schwellenwerte wurden trotz der

erklärenden Texten fälschlich als Grenzwerte interpretiert und deren Überschreiten als gefährlich angesehen.

Abb. 3 zeigt eine Zeitreihe über ein Jahr mit dem entsprechenden Schwellenwert, der jahreszeitlich manuell angepasst wurde, da hier eine länger andauernde massive Schneedecke die ODL beeinflusste.



**Abb.3:** Jahreszeitlicher Verlauf der Messstelle Feldberg im Schwarzwald aus odlnfo, mit starker jahreszeitlicher Schwankung und entsprechender Anpassung des Schwellenwertes.

Technisch wurde der Internetauftritt ausfallsicherer gemacht, indem er auf redundanten Servern implementiert wurde und die Hardware modernisiert wurde. Etwa 3 Monate nach dem Unfall in Fukushima wurde der Abfragetakt des Messnetzes aus Kostengründen auf viermal pro Tag reduziert, mit einer entsprechenden Inkaufnahme des Zeitverzuges zwischen Messung und Darstellung.

Die kontinuierliche Auswertung der Bürgeranfragen ermöglichte weitere Anpassungen des Internetangebotes. Inzwischen werden Ein-Stunden-Mittelwerte dargestellt, die Kartendarstellungen können gezoomt werden, die Anfangs- und Endzeiten der Zeitreihen können variabel gewählt werden und Tagesmittelwerte werden über einen ganzen Jahresverlauf angezeigt. In Ergänzung dazu gibt es ein Archiv, in dem sich Tagesmittelwerte der Jahre 2002 bis heute in einem kompakten ASCII-Format herunterladen lassen.

Die schnelle Reaktion auf die Informationsbedürfnisse der Bevölkerung, die Auswertung von Fragen und die ständige Verbesserung der Bedienerfreundlichkeit wurden insgesamt sehr positiv aufgenommen. Die Offenheit und das Bemühen, die physikalischen Zusammenhänge und Effekte ausführlich zu erklären, kamen in der Bevölkerung sehr gut an. Es gab kein einziges gravierendes Problem durch die zeitnahe Veröffentlichung von ungeprüften Messwerten. Dass einzelne Messwerte möglicherweise nach ein paar Stunden korrigiert werden, konnte für jeden einsichtig erklärt werden und es ist dem BfS kein einziger Fall bekannt geworden, bei dem Fehlfunktionen einer Sonde zu irgendwelchen Irritationen geführt hätten.

Die Möglichkeit der Einsichtnahme von Daten aus der näheren Umgebung wurde von der Lokalpresse gerne aufgenommen. Mehrere Artikel berichteten von Sondenstandorten in einzelnen Gemeinden und den Aufgaben des Messnetzes.

Bei einer bis auf sehr kleine Maßstäbe zoombaren Kartendarstellung bzw. bei tabellarischen Informationsangeboten mit Ortsbezug musste der Datenschutz der Grundstückseigentümer gewahrt werden, auf deren Grundstück sich die Sonden befinden. Dies erfolgte in der Karte durch die Rundung der geographischen Koordinaten auf 2 Nachkommastellen, die einer Unsicherheit von ca. 1km entsprechen.

### **3 Ergänzende Informationsangebote**

Neben den regulären Nutzern der Internetseite wurden die Daten auch von Entwicklern von Smartphone-Applikationen (Apps) verwendet. Grundidee war dabei die Zuordnung des Standortes des Smartphones zur nächstgelegenen ODL-Sonde und Darstellung des entsprechenden Messwertes in einer mehr oder weniger ansprechenden grafischen Oberfläche. In der Anfangsphase wurden hierfür teilweise grob falsche oder falsch interpretierte Daten verwendet. Das BfS reagierte auf diese Entwicklung mit einem speziellen Dienst für Anbieter von Apps: Auf Anfrage erhalten diese Zugangsdaten zu einem passwortgeschützten Datenportal. Durch diese direkte Kontaktaufnahme ist es auch möglich, über technische Änderungen des Informationsangebotes rechtzeitig zu informieren und auch fachlich, falls gewünscht, zu beraten. Auch diese Form der Informationsweitergabe hat sich sehr bewährt.

### **4 ODL-Info im Kontext**

Messgeräte in unterschiedlicher messtechnischer Qualität sind inzwischen weit verbreitet und werden von Bürgerinitiativen und Einzelpersonen verwendet, um tatsächliche oder vermeintliche erhöhte Strahlenpegel zu erfassen. Dabei bietet sich an, die eigenen Systeme mit den Messungen dem ODL-Messnetzes zu vergleichen. Besonders in Dosisbereichen, die sich wenig vom natürlichen Untergrund unterscheiden, treten hierbei bauart bedingte Differenzen zu Tage. Unterschiedliche Ansprechverhalten auf die kosmische Komponente, für die diese Messgeräte in der Regel nicht kalibriert sind, statistische Zählfehler, nicht repräsentative Messpunkte usw. sind dabei zu thematisieren. Alle diese Punkte können in einem Informationsportal angesprochen werden.

### **5 Schlussfolgerungen**

Staatliche Informationsangebote werden sich zunehmend in einem Wettbewerb mit nichtstaatlichen Informationsangeboten wiederfinden. Bemerkenswert ist in diesem Zusammenhang z.B. die Initiative „Safecast“ in Japan ([www.safecast.org](http://www.safecast.org)), die Bürgern Bauanleitungen für mobile ODL-Messgeräte zur Verfügung stellt. Die Ergebnisse können dann vom Anwender als georeferenzierte Messdaten in das Portal geladen werden und sind dort für Jedermann sichtbar. Das Portal hat als nichtstaatliche, nicht profitorientierte Initiative einen hohen Vertrauensvorschuss, auch wenn die dargestellten Daten oft veraltet sind oder in schlechter Qualität vorliegen. In ihrer Aussage bestätigen sie im Wesentlichen die offiziellen Kontaminationskarten. Letztendlich besteht hier eine große Chance, wenn sich staatliche und nichtstaatliche Messaktivitäten ergänzen. Erstere können als qualitätsgesicherte Referenzmessdaten gelten,



die durch den Vergleich mit nichtstaatlichen Angeboten ihre Glaubwürdigkeit und Akzeptanz erhöhen. Die Zusammenarbeit beider „Welten“ lohnt auf jeden Fall.

Der nach der Reaktorkatastrophe von Fukushima vom BfS praktizierte bidirektionale Informationsfluss mit Internetpräsenz und Beantwortung von Anfragen per E-mail ist erst der Anfang einer möglichen Informationsstrategie, die neue Kommunikationsformen konsequent nutzt. Ziel ist es, die Unidirektionalität des bisherigen Informationsflusses im Notfallschutz bzw. dem Strahlenschutz zu überwinden und damit beizutragen, dieses emotional so stark besetzte Thema Radioaktivität einem rationaleren Diskurs zu öffnen. Es sollte jedoch auch erwähnt werden, dass das BfS auf Beiträge in sozialen Netzwerken wie Facebook oder Kommunikationsplattformen wie Twitter verzichtet weil der Aufwand ständiger Aktualität und Präsenz zu hoch wäre. Gegenwärtig wird in einem Forschungsvorhaben untersucht, welche Wege hier erfolgversprechend und realistisch sind.

## 6 Literatur

- [1] Das deutsche Messnetz für Radioaktivität (2013), Broschüre des Bundesamts für Strahlenschutz ([http://www.bfs.de/de/bfs/publikationen/broschueren/ionisierende\\_strahlung/atmosphaerische\\_radioaktivitaet/radioaktivitaetsmessnetz.pdf](http://www.bfs.de/de/bfs/publikationen/broschueren/ionisierende_strahlung/atmosphaerische_radioaktivitaet/radioaktivitaetsmessnetz.pdf))

## POTENTIALE UND HERAUSFORDERUNGEN DER KOMMUNIKATION VON RADIOAKTIVITÄTSMESSDATEN AM BEISPIEL VON ODLINFO

R Högg<sup>1</sup>, M. Holenstein<sup>1</sup>, C. Hoffmann<sup>2</sup>, V. Schetula<sup>3</sup>

<sup>1</sup>*Stiftung Risiko-Dialog, St. Gallen, Schweiz*

<sup>2</sup>*Universität St. Gallen, St. Gallen, Schweiz*

<sup>3</sup>*Dialogik, Stuttgart, Deutschland*

### Kurzfassung

Vor allem seit den Ereignissen in Fukushima sieht sich das Bundesamt für Strahlenschutz (BfS) ebenso wie andere staatliche Messnetzbetreiber mit einem verstärkten öffentlichen Erwartungsdruck und Interesse hinsichtlich der zeitnahen und transparenten Vermittlung der ODL-Messdaten konfrontiert. Mit dem Aufkommen neuer Kommunikationsmittel ergeben sich neue Möglichkeiten der Informationsaufbereitung und Vermittlung an diverse Zielgruppen. Gleichzeitig wächst das Bedürfnis einer zunehmend medial aktiven und vernetzten Öffentlichkeit nach „ungefilterter“ Information. Werden Daten erst mit Verzug veröffentlicht oder bereits aggregiert und interpretiert präsentiert, droht die Glaubwürdigkeit der Vermittlung zu leiden. Gleichzeitig sind jedoch gerade die Daten des ODL-Messnetzes in ihrer Bedeutung für Laien nur schwierig zu interpretieren. Weiter nutzen seit einiger Zeit unabhängige Organisationen die ODL-Daten des BfS und bereiten diese neu auf oder stellen eigene Messungen zur Verfügung.

Vor diesem Hintergrund evaluiert die Stiftung Risiko-Dialog zusammen mit der Universität St. Gallen und Dialogik im Rahmen eines Forschungsprojekts die Qualität der aktuellen Kommunikation von Messdaten, erkundet Potentiale einer differenzierten Online-Kommunikation und erarbeitet Verbesserungsvorschläge für künftige Kommunikationswege. Das vom BfS beauftragte Forschungsprojekt läuft von Herbst 2012 bis Ende 2013. Ziele sind eine möglichst grosse Verbreitung und Verständlichkeit der ODL-Messdaten, bei gleichzeitig möglichst umfassendem Vertrauen der unterschiedlichen Zielgruppen. Das Projekt evaluiert hierfür die heutige Praxis der Messwertpräsentation sowie internationale Best Practice-Beispiele und die diversen Zielgruppenbedürfnisse. Darauf aufbauend werden neue Ansätze und Formate der Kommunikation von Ergebnissen der Radioaktivitätsmessnetze - insbesondere des ODL-Messnetzes des BfS - entwickelt. Zu diesem Zweck werden aktuelle Erkenntnisse der Daten-, Risiko- und Onlinekommunikation aufgearbeitet, Experteninterviews und eine breit angelegte Online-Befragung deutscher Bürger sowie gezielte Erhebungen unter Nutzern der Informationsangebote durchgeführt. Das Projektteam präsentiert die Resultate seiner Recherchen aus Theorie und Praxis. Es veranschaulicht theoretische Anforderungen, Best Practise Beispiele und Möglichkeiten Qualitätskriterien bestehender Angebote anhand eines Bewertungsrasters zu vergleichen.

## INFORMATION DER ÖFFENTLICHKEIT BEI LOKALEN UND GLOBALEN EREIGNISSEN

B. Denstorf, A. Lutz, D. Schwarz

*Bundesamt für Strahlenschutz, Berlin und Salzgitter, Deutschland*

Die Öffentlichkeit stellt sich bei der Information über radiologische Ereignisse als äußerst inhomogene Zielgruppe dar. Entsprechend vielfältig gestalten sich die Bedürfnisse. In einem gibt es aber zumeist Übereinstimmung: Verunsicherung, Beunruhigung und Misstauen breiten sich aus. Denkbar anspruchsvolle Voraussetzungen für diejenigen, die informieren wollen.

Wurde es in der Vergangenheit als vorrangig betrachtet, behördeninterne und ressortübergreifende Meldewege und Stäbe festzulegen, um die Öffentlichkeit zentral zu informieren, reicht diese Informationskette als alleiniges Instrument heute nicht mehr aus. Vielmehr gilt es, sich sensibel neuen Medien, Akteuren und Anlässen zu stellen und diese professionell mit Informationen zu bedienen. Fachleute aus allen Bereichen des Strahlenschutzes sind gefordert, ihre Arbeit in einfachen und korrekten Worten über die Expertengemeinde hinaus verständlich zu machen.

Die Reaktionen auf die Reaktorkatastrophe von Fukushima unterstreichen dies eindrücklich: In den Wochen nach dem Unfall verzeichnete das Bundesamt für Strahlenschutz eine Vervielfachung der Zugriffe auf seine Internetseiten sowie der Anfragen von Journalist/innen und Bürger/innen – ein deutliches Zeichen dafür, dass die Öffentlichkeit bei Behörden in einem Ereignisfall zugleich schnelle und fachlich verlässliche Informationen einfordert.

Ausgehend von diesen Erfahrungen nahmen die 49 Workshopteilnehmer/innen ihr eigenes Erleben der kommunikativen Herausforderungen im Zusammenhang mit Fukushima in den Blick. In einer gemeinsamen Matrix schufen die Teilnehmer/innen ein institutionenübergreifendes Bewertungsbild für sechs ausgewählte Aspekte:

- a) Der Informationsaustausch zwischen Presse-/Öffentlichkeitsarbeit und den Fachabteilungen funktionierte.
- b) Jede/r kannte seine/ihre Aufgabe und Rolle.
- c) Auf persönliche, gesundheitliche und seelische Aspekte wurde Rücksicht genommen.
- d) Unsere Informationen erreichten die Zielgruppe.
- e) Wir waren gut darauf vorbereitet, unsere Ergebnisse und ihre Bewertungen der Öffentlichkeit zu präsentieren.
- f) Den stark beschleunigten Informationsfluss konnten wir in gewohnter Qualität – trotz Zeitdruck – bedienen.

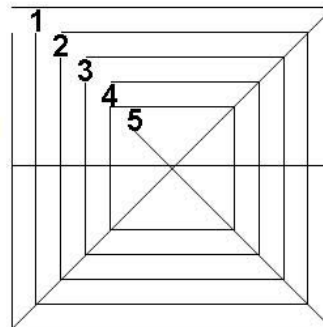
Für die mit Noten von 1 bis 5 (1 = „hat bestens geklappt“, 5 = „hat gar nicht geklappt“) zu bewertenden Aspekte wurden bewusst sowohl der selbst eingeschätzte Erfolg der öffentlichen Kommunikation als auch persönliche Belange von Arbeitsorganisation und -belastung berücksichtigt, um ein möglichst ganzheitliches Bild zu erhalten.

### **Bewertungsmatrix:** 49 Teilnehmer/innen bewerteten die Aspekte

a. Der Informationsaustausch zwischen Presse-/Öffentlichkeitsarbeit und den Fachabteilungen funktionierte.

b. Jede/r kannte seine/ihre Aufgabe und Rolle.

f. Den stark beschleunigten Informationsfluss konnten wir in gewohnter Qualität trotz Zeitdruck bedienen .



c. Auf persönliche, gesundheitliche und seelische Aspekte wurde Rücksicht genommen.

e. Wir waren gut darauf vorbereitet, unsere Ergebnisse und ihre Bewertungen der Öffentlichkeit zu präsentieren.

d. Unsere Informationen erreichten die Zielgruppe.

Abbildung1: Die Bewertungsmatrix

In der Gesamtschau ergibt sich folgende Reihenfolge der Zufriedenheit:

**Platz 1:** Jede/r kannte seine/ihre Aufgabe und Rolle.

**Platz 2:** Unsere Informationen erreichten die Zielgruppe.

**Platz 3:** Den stark beschleunigten Informationsfluss konnten wir in gewohnter Qualität – trotz Zeitdruck – bedienen.

**Platz 4:** Der Informationsaustausch zwischen Presse-/Öffentlichkeitsarbeit und den Fachabteilungen funktionierte.

**Platz 5:** Wir waren gut darauf vorbereitet, unsere Ergebnisse und ihre Bewertungen der Öffentlichkeit zu präsentieren.

**Platz 6:** Auf persönliche, gesundheitliche und seelische Aspekte wurde Rücksicht genommen.

Auffällig ist, dass offensichtlich ein klares Rollenverständnis und hohe Zufriedenheit mit den Arbeitsergebnissen herrschten. Dies deckt sich mit dem in der nachfolgenden Diskussion geschilderten persönlichen Engagement der Teilnehmer/innen. Dagegen zeigte sich das größte Optimierungspotenzial bei der Vorbereitung darauf, Messergebnisse für die Öffentlichkeit aufzubereiten, und bei der Berücksichtigung der persönlichen Belastungen in einer Ereignissituation.

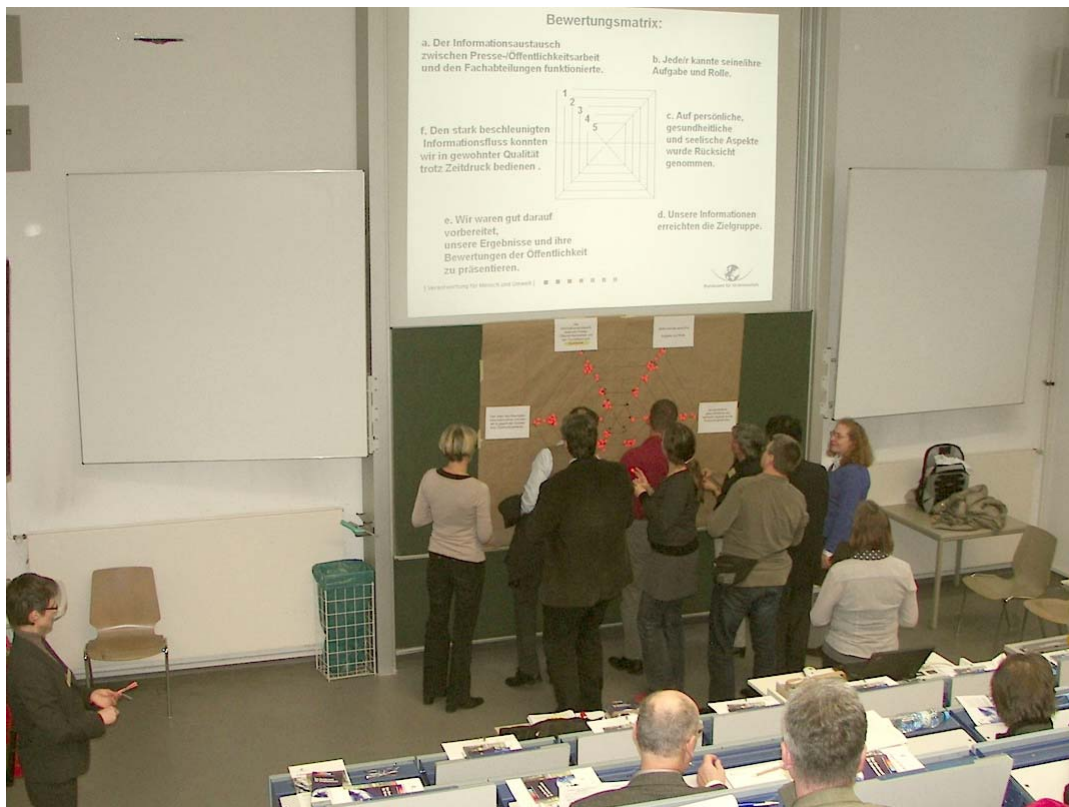


Abbildung 2: Ein gemeinsames Bewertungsbild entsteht

Das geschilderte Bild spiegelt sich auch in der Detailauswertung wider:

### Prozentualer Anteil „es klappte sehr gut oder gut“ (1 und 2)

**66%:** Jede/r kannte seine/ihre Aufgabe und Rolle.

**55%:** Unsere Informationen erreichten die Zielgruppe.

**49%:** Den stark beschleunigten Informationsfluss konnten wir in gewohnter Qualität – trotz Zeitdruck – bedienen.

**49%:** Der Informationsaustausch zwischen Presse-/Öffentlichkeitsarbeit und den Fachabteilungen funktionierte.

**37%:** Wir waren gut darauf vorbereitet, unsere Ergebnisse und ihre Bewertungen der Öffentlichkeit zu präsentieren.

**32%:** Auf persönliche, gesundheitliche und seelische Aspekte wurde Rücksicht genommen.

### Prozentualer Anteil „hat nicht so gut geklappt“ und „hat gar nicht geklappt“ (4 und 5)

**45%:** Auf persönliche, gesundheitliche und seelische Aspekte wurde Rücksicht genommen.

**43%:** Wir waren gut darauf vorbereitet, unsere Ergebnisse und ihre Bewertungen der Öffentlichkeit zu präsentieren.

**41%:** Der Informationsaustausch zwischen Presse-/Öffentlichkeitsarbeit und den Fachabteilungen funktionierte.

**28%:** Unsere Informationen erreichten die Zielgruppe.

**22%:** Den stark beschleunigten Informationsfluss konnten wir in gewohnter Qualität – trotz Zeitdruck – bedienen.

**20%:** Jede/r kannte seine/ihre Aufgabe und Rolle.

In der anschließenden Diskussion profitierten die Teilnehmer/innen insbesondere vom regen Erfahrungsaustausch untereinander. Zahlreiche gelungene Beispiele – zugleich auch Berichte über Schnittstellenprobleme – zeigten, dass neben fachlich-messtechnischen Aspekten auch der Austausch über kommunikative Herausforderungen eines Ereignisfalls ein wichtiger und intensivierungswürdiger Bestandteil der Weiterentwicklung des Notfallschutzes in Deutschland sein sollte.

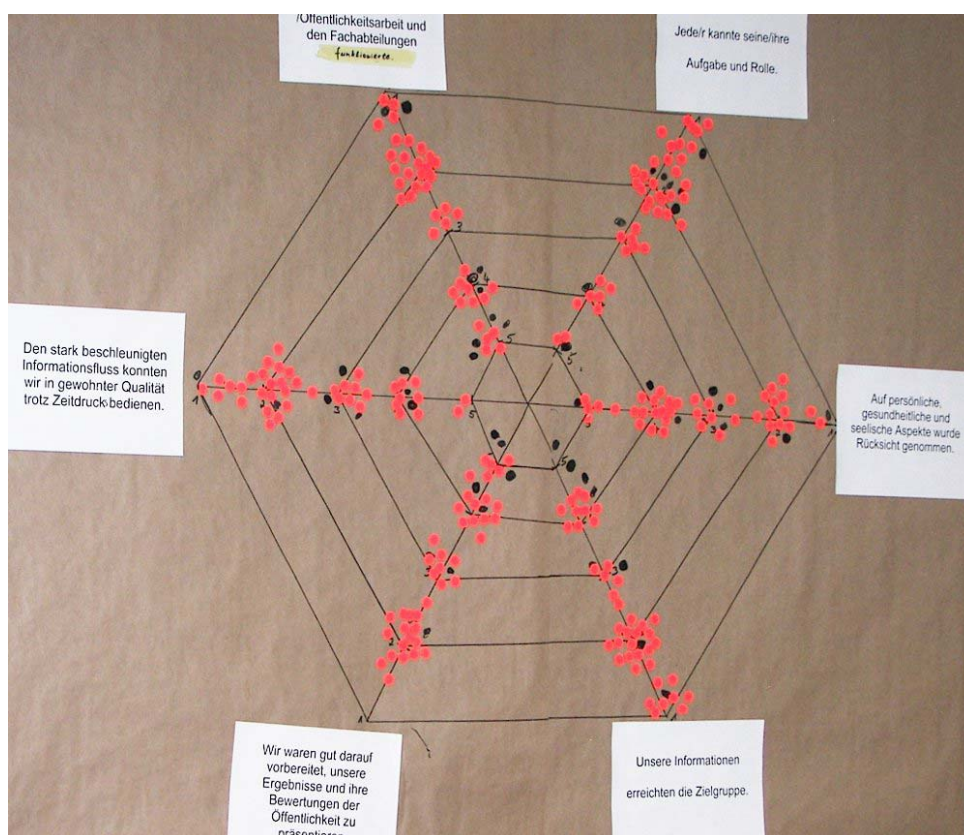


Abbildung 3: Das Ergebnis der gemeinsamen Arbeit

# Schnellmethoden und (neue) analytische Verfahren

## Vorträge

### Sitzung I - Leitung: Hr. Tait, Hr. Aust

Verfahren zur Bestimmung von $^{131}\text{I}$ in Fließgewässern <i>S. Ulbrich, V. Hormann, M. E. Souti, E. Toma, A. Igbinosa, B. Hettwig, H. W. Fischer</i> .....	191
Messung von Strontium-Isotopen im Hidex 300 SL mittels TDCR-Čerenkov-Counting <i>S. Wisser, E. Frenzel, T. Oikari</i> .....	199
Schnellmethode zur Sr-89- / Sr-90-Bestimmung in Milch und pflanzlichen Nahrungsmitteln durch direkte Extraktion ohne Veraschung <i>Dr. Bechtler, Ralf</i> .....	207
Erfahrungen bei der Bestimmung von $^{89}\text{Sr}$ und $^{90}\text{Sr}$ mittels Schnellmethoden <i>C. Kowalik, J. Föger</i> .....	208
Umsetzung der DIN ISO 11929 zur Bestimmung der charakteristischen Grenzen in der Spektrometrie- Software von Canberra <i>G. Fritz , H.- J. Lange</i> .....	214
Entwicklung von spektrometrierenden Sonden für den Notfallschutz - Stand und Perspektiven <i>M.Zähringer, M.Bleher, M. Dambacher, C. Disch, W.Eickhoff, A. Fauler, M.Fiederle, W.Harms, R.Luff, U. Stöhlker, A. Zwirger</i> .....	215

### Sitzung II - Leitung Hr. Zähringer, Hr. Peter

<b>Zusammenfassung der Sitzung II</b> .....	223
Implementierung der DIN ISO 11929 in Spektrometrie- Software und dabei auftretende Probleme <i>G. Fritz , H.-J. Lange</i> .....	224

## Poster

Sedimentdatierung mittels Gammaskopie <i>H. W. Fischer<sup>1</sup>, D. Pittauerová</i> .....	232
Radon-Dichtheitsprüfung <i>D. Pittauerová, B. Hettwig, H. W. Fischer</i> .....	233
Umweltüberwachung mit In-situ-Gamma-Spektrometer <i>S. Reinhardt</i> .....	234

## Workshop B1

**Moderation: Hr. Dalheimer, Fr. Schmid**

<i>Zusammenfassung des Workshops B1</i> .....	241
Radiochemische Analyse von Schwebstofffilter- und Niederschlagsproben im Deutschen Wetterdienst <i>A. Dalheimer, H. Diedrich-Roesch</i> .....	242
Schnelle Bestimmung von Strontium-89 und Strontium-90 mittels simultaner Cerenkov- und Proportionalzählrohrmessung <i>Karin Laerbusch und Claus Wiezorek</i> .....	246



## VERFAHREN ZUR BESTIMMUNG VON $^{131}\text{I}$ IN FLIESSGEWÄSSERN

### METHOD FOR DETERMINATION OF $^{131}\text{I}$ IN SURFACE WATER

S. Ulbrich, V. Hormann, M. E. Souti, E. Toma, A. Igbinosa, B. Hettwig, H. W. Fischer  
*Universität Bremen, Institut für Umweltphysik, Bremen, Deutschland*

#### Zusammenfassung

In der Nuklearmedizin eingesetztes  $^{131}\text{I}$  gelangt mit Patientenausscheidungen über das Abwassersystem in Fließgewässer. Um diese für direkte gammaspektroskopische Messungen zu niedrigen Konzentrationen messen zu können, ist eine Aufbereitungsmethode nötig. Im folgenden Beitrag wird ein an die IMIS-Messanleitungen angelehntes Verfahren beschrieben, nach dem das im Oberflächenwasser vorkommende  $^{131}\text{I}$  sowohl der anorganischen als auch der organischen Fraktion extrahiert werden kann. Grundlagen sind die Fällungen nach dem Bentonitverfahren für anorganisches, und die Fällung mit  $\text{Fe}^{3+}$ -Kationen für organisches Iod.

#### Summary

$^{131}\text{I}$  is used in nuclear medicine for thyroid therapy. After release from hospital the  $^{131}\text{I}$  remaining in the patient is excreted into the sewage and, with the cleared waste water, into the river. For the determination of low  $^{131}\text{I}$  concentrations in river water, a chemical extraction method is required. In the following we explain a method, which includes both the precipitation of inorganic and organic iodine. The method is based on the precipitation of inorganic bound iodine with bentonite and organic bound iodine with  $\text{Fe}^{3+}$  cations.

### 1 Motivation

#### 1.1 Transport des $^{131}\text{I}$ Iod

Wasser aus Kläranlagenabläufen, Klärschlämme und Flusssedimente gehören zu den routinemäßig auf radioaktive Strahlung untersuchten Umweltmedien. Neben einer Reihe an natürlichen Radionukliden wird häufig das in der Nuklearmedizin eingesetzte  $^{131}\text{I}$  nachgewiesen.

In der Nuklearmedizin wird  $^{131}\text{I}$  vorwiegend in der Schilddrüsenthherapie eingesetzt.  $^{131}\text{I}$  ist  $\beta^-$  und  $\gamma$  – Strahler. In der Therapie wird die  $\beta^-$  Strahlung genutzt, um das Schilddrüsengewebe zu bestrahlen.  $^{131}\text{I}$  wird in Form von Natriumiodid-Kapseln verabreicht. Es gelangt über den Gastrointestinaltrakt in das Blut und wird von dort hauptsächlich von der Schilddrüse aufgenommen.

Schilddrüsenthapien werden stationär durchgeführt und die Patienten aus Gründen des Strahlenschutzes in isolierten Stationen behandelt. Alle anfallenden Abwässer fließen in Speichertanks, die nach Erreichen des vorgeschriebenen Grenzwertes

durch radioaktiven Zerfall (Halbwertszeit von  $^{131}\text{I}$  ist 8,02 Tage) in das kommunale Abwasser-Kanalsystem entleert werden. Nach der Verordnung über den Schutz vor Schäden durch ionisierte Strahlen [1] gilt: Bei Abwassermengen  $\leq 10^5 \text{ m}^3/\text{a}$  ist die maximal zugelassene  $^{131}\text{I}$  Konzentration  $50\,000 \text{ Bq/m}^3$ , bei Abwassermengen  $> 10^5 \text{ m}^3/\text{a}$  liegt sie bei  $5\,000 \text{ Bq/m}^3$ .

In Deutschland ist die Entlassung des Patienten erst bei einer maximalen Gesamtkörperaktivität von  $250 \text{ MBq}$  erlaubt [2]. Ein Teil dieses noch im Körper vorhandenen  $^{131}\text{I}$  wird über Urin und Fäzes ausgeschieden und über die privaten Haushalte in das Kanalnetz eingetragen. Nach [3] ist dies ca. 90 % des Gesamtanteils an im Abwasser gemessenen  $^{131}\text{I}$ .

Im Abwasser-Kanalnetz wird das ausgeschiedene Iod (und damit die  $^{131}\text{I}$ -Konzentration) stark verdünnt. Bei Mischsystemen werden zudem Abwasser und Regenwasser gemeinsam im Kanal transportiert.

In der Kläranlage wird das Abwasser in verschiedenen Reinigungsstufen behandelt. Das geklärte Abwasser fließt durch den Vorfluter in den Fluss (in Bremen die Weser), der Klärschlamm wird entwässert und zum Teil als Dünger verwendet oder verbrannt.

In Forschungsprojekten an der Universität Bremen wird die Ausbreitung von  $^{131}\text{I}$  im Abwasserpfad untersucht und modelliert. Dies beinhaltet den Transport der Radionuklide durch das Kanalnetz zur angeschlossenen Kläranlage, die Prozesse innerhalb des Klärwerkes und im beaufschlagten Fließgewässer (Durchführung teilweise im Rahmen eines Projektes im Kompetenzverbund Strahlenforschung KVSF).

Zusätzlich ist die Universität Bremen gegenwärtig am OSPAR-Projekt beteiligt. Ziel dieses Projektes ist die Abschätzung des Eintrags von  $^{131}\text{I}$  in den Nordostatlantik aufgrund nuklearmedizinischer Anwendungen in Deutschland (siehe auch Beitrag „ $^{131}\text{I}$  in deutschen Kläranlagen und Fließgewässern“, H. W. Fischer et al.).

Für diese Projekte werden zuverlässige Nachweismethoden von  $^{131}\text{I}$  benötigt.

## 1.2 IMIS-Statistik

In Tabelle 1 sind die  $^{131}\text{I}$ -Konzentrationen in Klärschlamm, Kläranlagenablauf und Fließgewässer aus den IMIS-Routinemessungen von 2007 bis 2011 für alle Bundesländer aufgeführt, um die Größenordnungen der Konzentrationen in den verschiedenen Medien vergleichen zu können.

Tabelle 1:  $^{131}\text{I}$  im Abwasser/Wasserpfad Zeitraum 2007 – 2011 (alle Bundesländer)

	gesamt	< NWG	> NWG	Median	Intervall
Klärschlamm	1733	135	1598	43 Bq/kg (TM)	(0,1 – 2300) Bq/kg (TM)
<b>Kläranlagen- ablauf</b>	<b>1895</b>	<b>1064</b>	<b>831</b>	<b>130 mBq/l</b>	<b>(9 – 5310) mBq/l</b>
Fließgewässer	867	831	36	100 mBq/l	(2 – 460) mBq/l

8 % der  $^{131}\text{I}$  Konzentrationen im Klärschlamm lagen unterhalb der Nachweisgrenze, der Median der Messwerte liegt bei 43 Bq/kg (Trockenmasse TM).

Der Medianwert der gemessenen Konzentrationen im Kläranlagenablauf, die oberhalb der Nachweisgrenzen liegen, beträgt 130 mBq/l.

Sowohl bei Klärschlamm als auch bei Abwassern aus Kläranlagenabläufen ist eine direkte Messung im Gammaskpektrometer möglich.

Im Flusswasser sind die  $^{131}\text{I}$  –Konzentrationen um Größenordnungen geringer, 96 % der berichteten Messungen von Fließgewässern lagen unterhalb der jeweiligen Nachweisgrenzen.

## 2 Verfahren zum Nachweis von Radionukliden im Oberflächenwasser nach den IMIS-Messanleitungen des BMU

Bei einer Messzeit von 24 h und einem Probenvolumen von 1 l ist die erreichbare Erkennungsgrenze bei direkter Messung ca. 50 mBq/l. Die Verdünnung des Kläranlagenablaufs ist von der Hydrologie des beaufschlagten Flusses abhängig. In Bremen liegt der Vorfluter der Kläranlage zudem im Tidenbereich der Weser. Die erwarteten  $^{131}\text{I}$ -Konzentrationen sind  $\leq 5$  mBq/l und damit für die direkte Messung zu gering.

Aus den IMIS-Messanleitungen für „Die Überwachung radioaktiver Stoffe in der Umwelt und externer Strahlung“ wurden zwei Aufbereitungsverfahren für Oberflächenwasser getestet.

### 2.1 C-I-131-OWASS-01 „Verfahren zur Bestimmung von I-131 in Oberflächenwasser“ nach H. Mundschenk [4]

Diese Messanleitung wurde speziell für den Nachweis von gelöstem  $^{131}\text{I}$  in Oberflächenwasser entwickelt. Das Verfahren beruht auf dem Filtern des in anorganischer Form vorliegenden Iods nach der Reduktion von  $^{131}\text{I}$  zum Iodid über ein Silberchloridfilter.

In der Universität Bremen wurde das Verfahren mit Probenvolumina von 20 l und einer Filtergröße von  $\varnothing 38$  mm getestet. Die erreichte Nachweisgrenze lag bei 0,6 mBq/l mit einer Messzeit von 24 h mit dem Gammaskpektrometer.

Diese Methode stellte sich als sehr zeitaufwändig (3-7 h Aufbereitungszeit für 3 l Wasser) heraus und ergab schwankende und niedrige Ausbeuten von 20 bis 60 %. Nach Angaben des BfS und BfG wird diese Messanleitung nicht mehr verwendet und ist durch die C- $\gamma$ -SPEKT-OWASS-01 „Verfahren zur gammaspektrometrischen Bestimmung von Radionukliden in Oberflächenwasser“ ersetzt.

## **2.2 C- $\gamma$ -SPEKT-OWASS-01 „Verfahren zur gammaspektrometrischen Bestimmung von Radionukliden in Oberflächenwasser“ nach H. Mundschenk [5]**

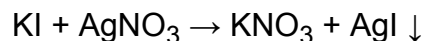
Nach dieser Messanleitung können die für IMIS berichtspflichtigen Nuklide wie z.B.  $^{134/137}\text{Cs}$ ,  $^{131}\text{I}$ ,  $^{60}\text{Co}$ ,  $^{40}\text{K}$  und  $^{144}\text{Ce}$  extrahiert und gammaspektroskopisch nachgewiesen werden.

Das Verfahren basiert auf der Fällung der Nuklide mit Hilfe von Flockungsmitteln nach dem Bentonitverfahren. In der Universität Bremen wurde das Verfahren für den alleinigen Nachweis von  $^{131}\text{I}$  modifiziert.

## **3 Modifiziertes Verfahren zu „C- $\gamma$ -SPEKT-OWASS-01“**

### **3.1 Extraktion des anorganischen Iods**

Einer Oberflächenwasserprobe von 50 l wird als Träger 10 ml Kaliumiodidlösung (mit 100 mg I<sup>-</sup>) hinzugefügt. Das im Wasser gelöste Iodat wird unter Zugabe von 1 g Natriumsulfit ( $\text{Na}_2\text{SO}_3$ ) zu Iodid reduziert und 60 g di-Natriumhydrogenphosphat ( $\text{Na}_2\text{HPO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ) unter Rühren zugegeben. Mit Silbernitrat-Lösung (10 ml  $\text{AgNO}_3$  mit 100 mg  $\text{Ag}^+$ ) fällt Silberiodid nach folgender Reaktion aus:



Da der Niederschlag sehr fein ist, wird der Sedimentationsprozess mit Hilfe einer Bentonitsuspension (Flygtol A) beschleunigt. Hierbei wird das ausgefällte AgI an die in der Lösung enthaltenen Bentonitteilchen sorbiert. Der pH-Wert wird mit 100 – 150 ml Ammoniak-Lösung (10m  $\text{NH}_4\text{OH}$ ) auf >8 eingestellt. Durch Zugabe eines Flockungsmittels (Kerafloc A 4005 S) entstehen größere und daher schneller sedimentierende Partikel (siehe Abb. 1).



Abb. 1: *Links: 50 l Flusswasserprobe in 60 l Fass  
Rechts: Niederschlag aus Bentonitfällung im Scheidetrichter*

Nach einer Sedimentationszeit von mindestens 12 h wird der Überstand abgehebert und der Niederschlag in einen Scheidetrichter überführt.

Durch Zentrifugieren (20 Minuten bei 5000 rpm) und Antrocknen im Trockenofen (2 h bei 100 °C) erhält die Probe eine plastische Konsistenz, die sich für die gamma-spektroskopische Messung gut in eine Ringschale einfüllen lässt.

Die Messung erfolgt in Gammapektrometern mit HP-Germanium-Detektoren in 10 cm dicken Bleiabschirmungen und einer relativen Effizienz von 50 %.

Bei einer Messzeit von 4 Tagen und einer Probengeometrie von  $D=70$  mm und 20 mm Höhe liegt die Erkennungsgrenze bei 0,5 mBq/l.

### 3.2 Bestimmung der Ausbeuten mit Abwasser aus Kläranlagen

Im Rahmen des OSPAR-Projektes untersucht die Universität Bremen regelmäßig Abwasser aus verschiedenen deutschen Kläranlagenabläufen (siehe auch Beitrag „I-131 in deutschen Kläranlagen und Fließgewässern“, H. W. Fischer et al.). Für die Ausbeutebestimmung wurden die  $^{131}\text{I}$ -Konzentrationen der Abwässer direkt und nach Fällung gamma-spektroskopisch gemessen. Die in den Messanleitungen angegebenen möglichen Ausbeuten von 90 % für  $^{131}\text{I}$  konnten nicht erreicht werden, die Ausbeuten schwankten stattdessen zwischen 11 und 76 Prozent.

Nach der C- $\gamma$ -SPEKT-OWASS-01, bzw. der modifizierten Version wird Iod als Iodid ausgefällt. Es ist zu erwarten, dass ein Teil des in das Abwassersystem gelangten Iods an im Wasser gelöste Huminstoffe gebunden wird [6]. Um eine höhere und konstantere Ausbeute zu erzielen, wird daher in einem weiteren Schritt eine Fällung dieser Huminstoffe vorgenommen.

### 3.3 Extraktion des organischen Iods

Um an gelöstes organisches Material gebundenes Iod zu extrahieren, wird Eisen(III)-chlorid als Fällungsmittel verwendet. Die Ausbeute ist dabei von pH-Wert und dem molaren Verhältnis des Fe(III) zu gelöstem organischen Kohlenstoff (DOC, Dissolved Organic Carbon) abhängig. Nach Nierop 2002 [7] kann 80-90 % des DOC bei  $\text{pH} < 4$  und einem molaren Verhältnis  $\text{Fe(III)/DOC} > 0,1$  gefällt werden. Hierzu wird Fe(III) im Überschuss ( $> 0,2 \text{ g FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O pro l}$ ) eingesetzt, um auch bei hohen DOC-Konzentrationen alles Material ausfällen zu können.

Der pH-Wert des nach der Bentonitfällung abgeheberten Überstands wird mit 90 ml 4m  $\text{HNO}_3$  auf etwa 3 eingestellt. Das im Wasser gelöste Eisen(III)-chlorid wird dem Überstand unter Rühren zugegeben, zum Absetzen des Niederschlages wird die Lösung über Nacht stehen gelassen. In Abb. 2 ist die Flockenbildung direkt nach Zugabe der Eisenlösung in einem Vorversuch zu sehen. Der Niederschlag wird nach Abhebern des Überstandes für die Messung im Gammaskpektrometer in einen Marinellibecher gefüllt und mit Tapetenkleister verrührt, um die Sedimentation während der Messung zu vermeiden.



Abb. 2: *Links: Flockenbildung nach Zugabe von Fe(III)-Lösung  
Rechts: Niederschlag nach Eisenfällung mit Tapetenkleister verrührt im Marinellibecher*

Insgesamt wird eine Aufbereitungszeit von ca. 3 h benötigt.

## 4 Kombination beider Methoden

Für die im Rahmen des OSPAR-Projekts angelieferten Klärwerksproben wurden, wenn möglich, beide Fällungsschritte durchgeführt und aus den Teilausbeuten die Gesamtausbeute bestimmt. Die Ergebnisse sind in Tabelle 2 zusammengefasst. Die Proben stammen aus unterschiedlichen Kläranlagen und wurden zu unterschiedlichen Zeiten genommen.

Tabelle 2: Ausbeutebestimmungen mit Abwässern aus Kläranlagenabläufen

Probe Nr.	C(I-131)* [mBq/l]	Bentonit-Fällung-Ausbeute [%]	Fe-Fällung-Ausbeute [%]	Gesamtausbeute [%]
1	180±23	60±8	26±4	86±25
2	192±18	68±7	30±3	98±19
3	221±24	76±8	15±2	91±21
4	173±18	72±9	17±3	89±22
5	194±21	46±6	26±5	72±22
6	279±23	87±8	15±3	102±19
7	419±27	63±5	18±2	81±13
8	173±21	25±4	25±5	50±21
*Direktmessung vor Fällung				

Für die Bestimmung der Gesamtausbeuten wurden nur Proben mit einer Konzentration > 150 mBq/l verwendet, da bei geringeren Konzentrationen der Gesamtfehler zu hoch ist. Die ermittelten Gesamtausbeuten liegen im Intervall von 50 % – 100 %. Die <sup>131</sup>I-Ausbeuten der Bentonit- bzw. Fe-Fällungen variieren sehr stark. Dies spricht für die Annahme, dass die Verteilung des <sup>131</sup>I auf die anorganische und organische Fraktion im Kläranlagenablauf sowohl zeitlich als auch örtlich variabel ist. Da nach Anwendung dieser Methode möglicherweise ein Teil des organischen gebundenen Iods noch in Lösung verbleibt, ist mit Ausbeuten zu rechnen, die etwas niedriger als 100 % liegen.

## 5 Zusammenfassung und Ausblick

Der Nachweis von <sup>131</sup>I im Kläranlagenablauf durch das Bentonitverfahren in Anlehnung an die Messanleitung C-γ-SPEKT-OWASS-01 allein liefert keine zuverlässigen Messwerte, da der damit bestimmte anorganische <sup>131</sup>I-Anteil im Wasser offenbar nicht konstant ist. Es ist daher notwendig, im Probenaufbereitungsverfahren auch den organischen Anteil für die Messung am Gammaskopfmeter zu fällen.

Die Kombination der Verfahren Bentonitfällung und Fe-Fällung soll eine zuverlässig hohe Gesamtausbeute von <sup>131</sup>I liefern. Um die Verfahren zu verbessern, werden aktuell folgende Arbeiten durchgeführt:

- Die einzelnen Schritte der Verfahren werden überprüft und gegebenenfalls korrigiert, um die Reproduzierbarkeit und Zuverlässigkeit der Methoden zu verbessern.

- Es werden verschiedene Bentonitarten und Flockungsmittel getestet, um eine maximale Fällungsquote zu erreichen.

## 6 Danksagung

Dieses Projekt wird gefördert durch:



Bundesministerium  
für Bildung  
und Forschung

Förderkennzeichen 02NUK015H

Die Universität Bremen dankt dem BfG für die freundliche Unterstützung und Beratung bezüglich der IMIS-Messanleitungen für Oberflächenwasser.

## 7 Literatur

- [1] StrlSchV, Verordnung über den Schutz vor Schäden durch ionisierende Strahlen (Strahlenschutzverordnung), Stand vom 24.2.2012
- [2] Strahlenschutz in der Medizin, Richtlinie zur Verordnung über den Schutz vor Schäden durch ionisierende Strahlen, Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit, RS II 4-11432/1, Oktober 2011
- [3] Empfehlungen der Strahlenschutzkommission, Ermittlung der Vorbelastung durch Radionuklid-Ausscheidungen von Patienten der Nuklearmedizin, SSK, 2004
- [4] H. Mundschenk, C-I-131-OWASS-01 „Verfahren zur Bestimmung von I-131 in Oberflächenwasser“, BMU, Messanleitungen für Oberflächenwasser, Leitstelle C, Stand Juni 2008
- [5] H. Mundschenk, C-γ-SPEKT-OWASS-01 „Verfahren zur gammaspektrometrischen Bestimmung von Radionukliden in Oberflächenwasser“, BMU, Messanleitungen für Oberflächenwasser, Leitstelle C, Stand Juni 2008
- [6] G. Rädlinger und K. G. Heumann, "Transformation of iodide in natural and wastewater systems by fixation on humic substances", Environ. Sci. Technol. 34 (2000), S. 3932-3936
- [7] K. Nierop, Dissolved organic matter, aluminium and iron interactions: precipitation induced by metal:carbon ratio, pH and competition, The Science of the Total Environment 300 (2002), S. 201–211



## MESSUNG VON STRONTIUM-ISOTOPEN IM HIDEX 300 SL MITTELS TDCR-ČERENKOV-COUNTING

### DETERMINATION OF STRONTIUM-ISOTOPES USING HIDEX 300 SL WITH TDCR-ČERENKOV-COUNTING

S. Wisser<sup>1</sup>, E. Frenzel<sup>2</sup>, T. Oikari<sup>3</sup>

<sup>1</sup> *FCI, Mainz, Deutschland*

<sup>2</sup> *Straubenhardt, Deutschland*

<sup>3</sup> *Hidex Oy, Turku, Finnland*

#### Zusammenfassung

Durch die Fortschritte in der LSC-Messtechnik steht eine neue Schnellmethode zur Analytik von Sr-89/Sr-90 zur Verfügung. Mit dem TDCR-Verfahren (Triple-to-Double-Coincidence-Ratio) in Verbindung mit der Messung von Čerenkov-Strahlung können die Proben unmittelbar nach der radiochemischen Aufbereitung im Labor ohne nennenswerte Wartezeiten und ohne Kalibrierung analysiert werden. Die schnellere Verfügbarkeit von Messergebnissen ermöglicht den Aufsichtsbehörden und Strahlenschutzfachleuten eine zeitnahe Reaktion nach einem kerntechnischen Unfall.

Die TDCR-Technologie kann gleichermaßen zur routinemäßigen Analytik von Sr-90/Y-90 verwendet werden. Diese Methode ist für die Bestimmung der Sr-90/Y-90-Aktivität unmittelbar nach der radiochemischen Aufbereitung geeignet. Dabei wird zunächst der Anteil von Y-90 über TDCR-Čerenkov-Counting bestimmt, nach Zugabe von LSC-Cocktail wird die Summe von Sr-90 und Y-90 durch TDCR-LSC bestimmt. Die bisher vorliegenden Messergebnisse der neuen Schnellmethode sind sehr vielversprechend. Die Zählhausbeute im Messgerät Hidex 300 SL für die TDCR-LSC-Messung von Sr-90 liegt bei über 97 % - bei der TDCR-Čerenkov-Messung beträgt die Zählhausbeute für Sr-89 und Y-90 mehr als 60%.

#### Summary

A new rapid method for the determination of Sr-89/Sr-90 has been introduced due to the advances in the LSC-Technology. By means of the TDCR-Technique (Triple-to-Double-Coincidence-Ratio) in combination with Čerenkov-Counting, the samples can be measured directly after the sample preparation without significant waiting times. The prompt availability of results allows the competent authorities and radiation protection experts a faster reaction after a nuclear incident.

The TDCR-Technique can also be applied for the routine analysis of Sr-90/Y-90. This method is also suitable for the determination of Sr-90/Y-90 directly after the radiochemical sample preparation. On the first step, the activity of Y-90 has to be determined by TDCR-Čerenkov-Counting. After adding LSC-Cocktail, the sum of Sr-90 und Y-90 can then be determined by TDCR-LSC measurement. The results

obtained so far are very promising. The counting efficiencies obtained with Hidex 300 SL for the TDCR-LSC-measurement of Sr-90 were above 97%. The counting efficiencies for Sr-89 and Y-90 by TDCR-Čerenkov-Counting were higher than 60%.

## **1 Bedeutung von Sr-Isotopen für den Strahlenschutz**

Bei kerntechnischen Zwischenfällen - aber auch beim bestimmungsgemäßen Betrieb von kerntechnischen Anlagen - können Radionuklide in die Atmosphäre gelangen. Die potenziell freigesetzten radioaktiven Isotope stammen insbesondere von den Elementen Jod, Tellur, Cäsium, Strontium sowie von Edelgasen. Wegen der relativ langen Halbwertszeit von 28,8 Jahren kommt dem Radionuklid Sr-90 mit seiner hochenergetischen Tochter Y-90 besondere radiologische Bedeutung zu. Die Messung des Verhältnisses von Sr-89/Sr-90 ist von großer Bedeutung für den praktischen Strahlenschutz, da die Dosisfaktoren von Sr-90 gegenüber denen von Sr-89 bis um einen Faktor 20 größer sind [1]. Nach einem kerntechnischen Zwischenfall kann das Aktivitätsverhältnis von Sr-89/Sr-90 auf über 30:1 ansteigen. Zur Analytik dieser beiden Strontium-Isotope sind radiochemische Verfahren sowie eine anspruchsvolle Messtechnik erforderlich. Mit den bisherigen Messverfahren dauert es selbst nach der radiochemischen Aufbereitung oft noch mehrere Tage, bis die ersten Ergebnisse vorliegen [2].

## **2 Das LSC-Messgerät Hidex 300 SL**

Die hier beschriebenen Messungen wurden mit dem Flüssigszintillationsmessgerät Hidex 300 SL durchgeführt. Dieses LSC-Gerät wurde im Jahr 2007 vom finnischen Hersteller Hidex Oy eingeführt. Hidex Oy ist der weltweit einzige kommerzielle Messgerätehersteller, der die auf drei identischen Photomultipliern beruhende TDCR-Technik einsetzt. Der Hidex 300 SL ist ein moderner Flüssigszintillationszähler mit einem automatischen Probenwechsler und einer Detektionseinheit, die aus drei Photomultiplirröhren besteht, in deren Fokus sich die Probe befindet. Zur Reduzierung der Untergrundstrahlung ist die Messzelle allseitig mit 10 cm aktivitätsarmem Blei umgeben.



Abb. 1: Das LSC-Gerät Hidex 300 SL

Der Hidex 300 SL kann alle beta-strahlenden Radionuklide direkt messen und muss bei Anwendung der TDCR-Technik und optimaler Einstellung nicht kalibriert werden (Absolutmessverfahren). Somit ist ein externer Standard nicht erforderlich. Nur bei doppelt markierten Proben mit variablem Quench wird ein externer Standard benötigt.

### 3 Das TDCR-Čerenkov-Verfahren

Die Methode basiert auf wissenschaftlichen Arbeiten der Physikalisch-Technischen Bundesanstalt in Braunschweig zur Erweiterung des bestehenden TDCR-Verfahrens auf die TDCR-Čerenkov-Zählung [3]. Detaillierte Informationen zu den erforderlichen Einstellungen und Ergebnisse ausführlicher Untersuchungen des Hidex 300 SL wurden bereits 2012 veröffentlicht [4]. Das TDCR-Verfahren ist deutlich mächtiger als andere Methoden zur Bestimmung des so genannten *freien Parameters*, da es ganz ohne Referenzquellen auskommt [2].

Der Vorteil des TDCR-Verfahrens besteht somit darin, dass eine Kalibration für reine Betastrahler entfallen kann. Der vom Messgerät automatisch ausgegebene TDCR-Wert - das Verhältnis der dreifachen Koinzidenzen zu den zweifachen Koinzidenzen - entspricht bei optimaler Geräteeinstellung der Zählausbeute. Dies erleichtert insbesondere die Vorgehensweise bei der Čerenkov-Messung.

Durch die oben erwähnten Fortschritte in der LSC-Messtechnik können die Radionuklide Sr-89/Sr-90 bzw. Sr-90/Y-90 mittels TDCR-Technik gemessen werden. Wie in Tabelle 1 ersichtlich, bietet sich eine Čerenkov-Messung für Sr-89 und Y-90 an, da die dazugehörigen maximalen Beta-Energien deutlich über dem Schwellenwert von ca. 260 keV für das Entstehen von Čerenkov-Licht in Wasser liegen. Mit der TDCR-LSC-Messung kann anschließend die Summe der im Vial vorhandenen Betastrahler

ermittelt werden. Da es sich um eine Schnellmethode handelt, kann der Beitrag von Sr-90 bei der TDCR-Čerenkov-Messung vernachlässigt werden.

*Tabelle 1: Eigenschaften von Sr-89, Sr-90 und Y-90*

Radionuklid	$T_{1/2}$	$E_{\beta_{\max.}}$ (MeV)
Sr-89	50,5 d	1,49
Sr-90	28,8 y	0,546
Y-90	64 h	2,29

Es wird empfohlen, für das hier beschriebenen Messverfahren stets Plastikvials zu verwenden und die TDCR-Čerenkov-Messungen im Tritium-Messfenster des Hidex 300 SL durchzuführen (Kanäle 5 - 400). Für die TDCR-LSC-Messungen der genannten Radionuklide sollte das Messfenster zwischen den Kanälen 130 und 1000 liegen. Da die unterhalb des Schwellenwerts von ca. 260 keV auftretenden Betateilchen bei der Čerenkov-Messung nicht detektiert werden können, ist die Zählausbeute bzw. der TDCR-Wert entsprechend zu korrigieren.

Dabei erhält man die *Nachweiswahrscheinlichkeit* des betreffenden Radionuklids für die TDCR-Čerenkov-Messung. Das Nettoergebnis der Zählrate dividiert durch die Nachweiswahrscheinlichkeit ergibt die Aktivität des Radionuklids im Vial.

### 3.1 Vorgehensweise für Sr-89/Sr-90

Unmittelbar nach der Probenvorbereitung bzw. radiochemischen Trennung wird die Messung durchgeführt. Zunächst wird Sr-89 mittels TDCR-Čerenkov-Counting bestimmt. Nach Zugabe von LSC-Cocktail wird die Summe von Sr-89/Sr-90 im LSC-Modus ermittelt. Der Anteil von Sr-90 wird durch einfache Differenzbildung berechnet. Aufgrund der Messung unmittelbar nach der Probenvorbereitung kann der Aufwuchs von Y-90 vernachlässigt werden [2]. Sollte die Messungen zu einem späteren Zeitpunkt stattfinden, kann der Aufwuchs von Y-90 mit den bekannten Formeln berechnet und vom Ergebnis der Messungen abgezogen werden.

#### 3.1.1 Messergebnisse für Sr-89/Sr-90

Die im Folgenden aufgeführten Untersuchungen fanden bei der LUFA-ITL GmbH in Kiel (Probenvorbereitung und Analytik) sowie beim Deutschen Wetterdienst in Offenbach (Probenvorbereitung) und dem Karlsruher Institut für Technologie (Analytik) statt. Es wurde zunächst bei der LUFA-ITL GmbH eine Messserie mit relativ hohen Aktivitäten im Vial durchgeführt. Dabei wurden die Messungen unmittelbar nach der radiochemischen Trennung vorgenommen, bei einer Messzeit der Proben 1 bis 7 von nur 60 Sekunden (TDCR-Čerenkov-Counting) bzw. 300 Sekunden (TDCR-LSC-Messung). Im nächsten Schritt wurde eine Probe mit einer deutlich niedrigeren Aktivität an Sr-89/Sr-90 verwendet (Probe A5), die beim Deutschen Wetterdienst hergestellt und am KIT in Karlsruhe gemessen wurde. Hier betrug die Messzeit bei der TDCR-Čerenkov-Messung 600 Sekunden und bei der TDCR-LSC-Messung 1000 Sekunden. Die erhaltenen Messergebnisse sind in nachfolgender Tabelle 2 zusammengefasst.

Tab.2: Messergebnisse für Sr-89/Sr-90 mittels TDCR-Verfahren

	Berechnete Sr-90 Aktivität (LSC)	Berechnete Sr-89 Aktivität (Čerenkov)	Sollwert Sr-90 Aktivität	Sollwert Sr-89 Aktivität	Verhältnis Sr-89/ Sr-90
Probe	Bq/Vial	Bq/Vial	Bq/Vial	Bq/Vial	
1	65	112	65	102	1:1,6
2	59	405	58	407	7:1
3	70	820	72	814	11:1
4	47	1614	46	1627	35:1
5	11	2023	12	2034	170:1
6	-1	102	0	102	-
7	23	4	24	0	-
A5	0,362	3,51	0,334	3,31	10:1

Die Zählzubeute bei der TDCR-Čerenkov-Messung (Sr-89) lag bei ca. 60 %, für die TDCR-LSC-Messung (Summe Sr-90 + Sr-89) betrug sie ca. 98 %. Die berechneten Ergebnisse von Sr-90 basieren auf der Differenzbildung von TDCR-LSC und TDCR-Čerenkov-Messung. Das berechnete Ergebnis von Sr-89 geht auf die gemessenen TDCR-Čerenkov-Werte zurück. Die Nachweiswahrscheinlichkeit ( $\epsilon$ ) für Sr-89 wurde durch folgende Näherung bestimmt [2]:

$$\epsilon_{\text{Sr-89}} = 0,6672 * \text{TDCR}_{\text{corr}} + 0,0828$$

$$(\text{TDCR}_{\text{corr}} = \text{CPM}_{\check{\text{C}}\text{er}} * \text{TDCR}_{\check{\text{C}}\text{er}} - \text{CPM}_{\text{Nullprobe}} * \text{TDCR}_{\text{Nullprobe}}) / (\text{CPM}_{\check{\text{C}}\text{er}} - \text{CPM}_{\text{Nullprobe}})$$

Die Ergebnisse unterstreichen die Vorteile der Methode, innerhalb kurzer Zeit zuverlässige Ergebnisse für Sr-89/Sr-90 zu liefern, die Abweichungen von weniger als 10 % ergeben. Selbst bei einem Sr-89/Sr-90 Verhältnis von 170:1 liegt die Abweichung unterhalb von 10 %.

### 3.2 Vorgehensweise für Sr-90/Y-90

Unmittelbar nach der Probenvorbereitung kann bereits die erste Messung durchgeführt werden. Zunächst wird Y-90 mittels TDCR-Čerenkov-Counting bestimmt. Nach Zugabe von LSC-Cocktail wird die Summe von Sr-90/Y-90 im LSC-Modus bestimmt. Der Anteil von Sr-90 wird durch einfache Differenzbildung ermittelt. Da keine weiteren Radionuklide aufwachsen, kann die Messung auch zu einem späteren Zeitpunkt erfolgen. In diesem Fall sollten die Čerenkov-Messung und die LSC-Messung aber unmittelbar nacheinander stattfinden.

#### 3.2.1 Messergebnisse für Sr-90/Y-90

Die nachfolgend aufgeführten Untersuchungen fanden bei der LUF-ITL GmbH in Kiel (Probenvorbereitung und Analytik) statt. Es wurde wiederum eine erste Messserie mit relativ hohen Aktivitäten im Vial durchgeführt, bei einer Messzeit von nur 60 Sekunden (TDCR-Čerenkov-Messung) und 300 Sekunden (TDCR-LSC-Messung). Dabei wurden die Messungen zu unterschiedlichen Zeitpunkten innerhalb eines

Monats vorgenommen. Die erhaltenen Messergebnisse sind in nachfolgender Tabelle 3 zusammengefasst.

Tb.3: Messergebnisse für Sr-90/Y-90 mittels TDCR-Verfahren; 1. Serie (LUFA)

	<b>Berechnete Y-90 Aktivität (Čerenkov)</b>	<b>Aktivität von Sr-89/Y-90 (LSC)</b>	<b>Berechnete Sr-90 Aktivität</b>	<b>Sollwert Sr-90 Aktivität</b>	<b>Messzeitpunkt (2012)</b>
<b>Prob e</b>	<b>Bq/Vial</b>	<b>Bq/Vial</b>	<b>Bq/Vial</b>	<b>Bq/Vial</b>	
1	0	149	149	148	29.03., 13:36 h
2	33	178	145	148	30.03., 12.13 h
3	88	237	149	148	02.04., 07.11 h
4	101	248	147	148	03.04., 08.09 h
5	120	261	141	148	05.04., 10.41 h
6	143	284	141	148	16.04., 07.55 h
7	144	287	143	148	26.04., 10.00 h

Die Zählausbeute bei der TDCR-Čerenkov-Messung (Y-90) lag bei über 70 %, für die TDCR-LSC-Messung (Summe Sr-90 + Y-90) betrug sie ca. 98 %. Die berechneten Ergebnisse von Sr-90 basieren auf der Differenzbildung von TDCR-LSC und TDCR-Čerenkov-Messung. Das berechnete Ergebnis von Y-90 stammt jeweils aus den gemessenen TDCR-Čerenkov-Werten. Die Nachweiswahrscheinlichkeit ( $\epsilon$ ) für Y-90 wurde durch folgende Näherung bestimmt [2]:

$$\epsilon_{Y-90} = 0,6886 * TDCR_{Corr} + 0,1678$$

$$(TDCR_{Corr} = CPM_{\check{C}er} * TDCR_{\check{C}er} - CPM_{Nullprobe} * TDCR_{Nullprobe}) / (CPM_{\check{C}er} - CPM_{Nullprobe})$$

Die Messergebnisse zeigen, dass die Anwendung der TDCR-Čerenkov-Methode für die Messaufgabe Sr-90/Y-90 für die Routineüberwachung ohne Wartezeit gute Werte liefert. Schon nach weniger als einer Stunde nach Beendigung der radiochemischen Probenvorbereitung liegt das berechnete Ergebnis für Sr-90-Wert in der Routineüberwachung beim Sollwert. Die nachfolgenden Messungen bis zum zeitlichen Abstand von knapp vier Wochen liegen ebenfalls im Bereich des Sollwertes, bei einer Abweichung von weniger als 5 %.

Um die Methode im Bereich niedrigerer Aktivitäten zu überprüfen, wurde im Februar 2013 eine zweite Probenserie beim Deutschen Wetterdienst hergestellt und am Karlsruher Institut für Technologie gemessen. Die Ergebnisse sind in Tabelle 4 aufgeführt.

Tab.4: Messergebnisse für Sr-90/Y-90 mittels TDCR-Verfahren; 2. Serie (DWD, KIT)

	Berechnete Y-90 Aktivität (Čerenkov)	Aktivität von Sr-89/Y-90 (LSC)	Berechnete Sr-90 Aktivität	Sollwert Sr-90 Aktivität	Abweichung (%)
Probe	Bq/Vial	Bq/Vial	Bq/Vial	Bq/Vial	Bq/Vial
1	1,214	2,351	1,137	1,006	13
2	0,107	0,219	0,111	0,100	11
3	0,049	0,115	0,066	0,050	32
4	0,023	0,053	0,031	0,025	24

Die Ergebnisse der zweiten Messserie sind ebenfalls zufriedenstellend. Bei den beiden Proben mit Sollwerten für Sr-90 unterhalb 0,1 Bq sind die Abweichungen vom Sollwert signifikant. Hier wären längere Messzeiten angebracht gewesen, um eine bessere Zählstatistik zu erhalten.

Es ist vorgesehen, die Methode im Bereich niedriger Aktivitäten weiter zu optimieren und eine Low-Level-Messreihe durchzuführen.

#### 4 Schlussfolgerungen

Die Messergebnisse zeigen, dass die Anwendung der TDCR-Čerenkov-Methode für die Messaufgabe Sr-90/Y-90 für die Routineüberwachung ohne Wartezeiten gute Werte liefert. Schon nach weniger als einer Stunde nach Beendigung der radiochemischen Probenvorbereitung liegt der Sr-90-Wert bei der Routineüberwachung von Sr-90/Y-90 praktisch beim Sollwert. Die nachfolgenden Messungen bis zum zeitlichen Abstand von knapp vier Wochen sind im Bereich des Sollwertes mit mehr als 95 % Genauigkeit. Die Messwerte liegen im Bereich der relativen Unsicherheiten der Probenvorbereitung, die inklusive Pipettieren mit ca. 10 % abgeschätzt werden. Im Bereich niedrigerer Aktivitäten ist die Messzeit entsprechend anzupassen, um eine bessere Zählstatistik zu erhalten und die Messunsicherheit zu reduzieren.

Die Sr-89/Sr-90 Ergebnisse unterstreichen die Vorteile der Methode, innerhalb kurzer Zeit bei akzeptablen Messzeiten zuverlässige Ergebnisse zu liefern, die Abweichungen von weniger als 15 % ergeben. Selbst bei einem Sr-89/Sr-90 Verhältnis von 170:1 liegt die Abweichung unterhalb von 10 %. Damit erfüllt die Methode eindeutig die Anforderungen an eine Schnellmethode, Verhältnisse dieser beiden Radionuklide bis 30:1 zu detektieren. Die Nachweisgrenzen bei beiden Verfahren für die genannten Radionuklide werden in der gleichen Größenordnung liegen, die mit der klassischen LSC-Messtechnik erzielt werden.

Weitere Tests der Methode im Low-Level-Bereich sind geplant und das Spektrum der TDCR-Anwendungen wird sicherlich noch auf andere Radionuklide erweitert werden.

#### 5 Danksagung

Die Autoren bedanken sich bei folgenden Institutionen und Personen für die Unterstützung im Rahmen der Methodenentwicklung, Probenvorbereitung und Analytik: PTB Braunschweig (Herr Dr. Kossert), LUFA-ITL GmbH Kiel (Herr Otto, Herr Schrade), DWD Offenbach (Frau Diedrich-Roesch, Herr Dr. Dalheimer, Herr Dr.

Steinkopff), KIT Karlsruhe (Frau Dr. Hoepfener-Kramar, Frau Zieger, Herr Genzer, Herr Wilhelm).

## 6 Literatur

- [1] Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (Hrsg.): Bekanntmachung der Dosiskoeffizienten, Äußere Exposition - Ingestion und Inhalation. Beilage 160 a und b zum Bundesanzeiger vom 28.8.2001
- [2] E. Frenzel, K. Kossert, T. Oikari, R. Otto, S. Wisser: Neue Schnellmethode in der LSC-Messtechnik: Die Messung von Sr-89/Sr-90 und Sr-90/Y-90 mittels TDCR-Čerenkov-Zählung. Strahlenschutzpraxis - Zeitschrift für den sicheren Umgang mit ionisierender und nicht ionisierender Strahlung, 1/2013, S. 26-33
- [3] K. Kossert: Activity standardization by means of a new TDCR-Čerenkov counting technique. Applied Radiation and Isotopes; 68 (2010); S. 1116-1120.
- [4] C. Wanke, K. Kossert, O.J. Nähle: Investigations on TDCR measurements with the HIDEX 300 SL using a free parameter model. Applied Radiation and Isotopes; 70 (2012); S. 2176 - 2183.



## **SCHNELLMETHODE ZUR SR-89- / SR-90-BESTIMMUNG IN MILCH UND PFLANZLICHEN NAHRUNGSMITTELN DURCH DIREKTE EXTRAKTION OHNE VERASCHUNG**

Dr. Bechtler, Ralf

*Landesanstalt für Umwelt, Messungen und Naturschutz Baden-Württemberg, LUBW*

### **Kurzfassung**

Eine erhöhte Freisetzung von radioaktivem  $^{89}\text{Sr}$  und  $^{90}\text{Sr}$  erfordert eine schnellstmögliche Bestimmung dieser Nuklide in der Umwelt. Dabei sind die beiden Radiostrontiumisotope getrennt zu ermitteln, um eine eventuelle Gefährdung für die Bevölkerung, insbesondere durch das hoch radiotoxische  $^{90}\text{Sr}$  in weniger als zwei Tagen abzuschätzen. Das in der Landesanstalt für Umwelt, Messungen und Naturschutz existierende Verfahren, entsprechend der Messanleitung des BMU, liefert routinemäßig erst nach sieben bis zehn Tagen ein Ergebnis. Im Rahmen dieser Arbeit gelang es, eine Schnellmethode zur Bestimmung von  $^{89}\text{Sr}$  und  $^{90}\text{Sr}$  durch Flüssig-Flüssig-Extraktion mit dem komplexbildenden Kronenether Dicyclohexyl[18]Krone-6 in unterschiedlichen Probenmedien zu entwickeln. Ein für die Extraktion von veraschten Proben bereits existierendes Verfahren des Max-Rubner-Instituts in Kiel diente als Grundlage und wurde so modifiziert, dass eine Extraktion von Wasser, Milch und Gras ohne Veraschung möglich wurde. Aus Wasser und Milch kann die Extraktion durch Zentrifugieren und säulenchromatographische Reinigung direkt erfolgen. Gras muss vor der Extraktion zusätzlich durch heiße Salpetersäure aufgeschlossen werden. Durch Fällung erfolgte die Isolation, d.h. Abtrennung von eventuell mitextrahierten Störnukliden wie Barium, und Abscheidung der Strontiumisotope auf einem Filter als Strontiumsulfat. Die radiochemische Bearbeitung ist innerhalb von maximal 6h möglich. Gemessen wurde die sich aus dem Zerfall von  $^{89}\text{Sr}$  und  $^{90}\text{Sr}$  sowie der Nachbildung des  $^{90}\text{Y}$  ergebende Gesamtaktivität des Filterpräparates mit einem Proportionalzählrohr. Die Ermittlung der Radiostrontium-Aktivitäten erfolgt durch lineare Regression der gemessenen Gesamtzählraten. Mit Hilfe des in diesem Zusammenhang entworfenen Auswerte-Formulars werden die Aktivitäten durch Eingabe weniger Parameter und der gemessenen Gesamtzählraten automatisch berechnet. Dabei ermöglicht die visuelle Darstellung der linearen Regression eine Einschätzung des vorliegenden Aktivitätsverhältnisses von  $^{89}\text{Sr}$  zu  $^{90}\text{Sr}$ . Das Auswerte-Formular wird vom Laborpersonal im Störfall routinemäßig verwendet. Im Rahmen der Experimente konnten die Aktivitäten der Radiostrontiumisotope unter anderem für kraftwerkstypische Aktivitätsverhältnisse von  $^{89}\text{Sr}$  zu  $^{90}\text{Sr}$  hinreichend genau ermittelt werden. Für die Schnellmethode wird eine Nachweisgrenze von 0,14 Bq erreicht. Durch die nur 20-stündige Messzeit sowie der Auswertung mittels linearer Regression liegen die Ergebnisse spätestens nach zwei Tagen vor. Am  $^{89}\text{Sr}$ - /  $^{90}\text{Sr}$ -Ringvergleich 2010 vom Bundesamt für Strahlenschutz konnte erfolgreich teilgenommen werden.

## ERFAHRUNGEN BEI DER BESTIMMUNG VON $^{89}\text{Sr}$ UND $^{90}\text{Sr}$ MITTELS SCHNELLMETHODEN

C. Kowalik, J. Füger

*Thüringer Landesanstalt für Umwelt und Geologie, Landesmessstelle für  
Umweltradioaktivität, Jena, Deutschland*

### Zusammenfassung

Schnellmethoden, insbesondere die zur Bestimmung von  $^{89}\text{Sr}$  und  $^{90}\text{Sr}$ , besitzen einen hohen Stellenwert innerhalb der Überwachung der Umweltradioaktivität. Im Bedarfsfall ist es zwingend erforderlich, innerhalb kurzer Zeit verlässliche analytische Daten zu erhalten, um entsprechende Bewertungen vornehmen zu können bzw. Empfehlungen zu geben.

Ziel der Untersuchungen, sowohl an Modell- als auch Realproben (z.B. Trinkwasser, Milch), war es, unter Berücksichtigung der Schritte Probenvorbereitung, Messung und Auswertung die Anforderungen an Schnellmethoden zu erfüllen. Die Nutzung der Festphasenextraktion mittels kommerzieller Sr-Resin<sup>®</sup>-Säulen (4,4'(5')-Di-tert-butylcyclohexanol-18-kronen-6-ether) der Firma Triskem zur radiochemischen Abtrennung der Sr-Isotope erwies sich dabei als geeignet. Die anschließenden Messungen erfolgten am FHT 770 T12 – Multi Low-Level Alpha/Beta Sample Counter (Thermo Scientific). Die daraus resultierenden Ergebnisse beinhalten die summarischen Aktivitäten aller vorhandenen Sr-Isotope, wie z.B.  $^{89}\text{Sr}$  und  $^{90}\text{Sr}$ . Die Berechnungen zu den jeweiligen Einzelaktivitäten für  $^{89}\text{Sr}$  und  $^{90}\text{Sr}$  erfolgen im Anschluss über den mathematischen Algorithmus der linearen Entfaltung auf der Grundlage der Arbeiten von G. Kanisch.

Die Ergebnisse sowohl für die Modellproben, als auch die Umweltmatrices Oberflächenwasser, Milch Blattgemüse sowie Wiesen- und Weidebewuchs zeigen, dass diese Schnellmethode für die Bestimmung von  $^{89}\text{Sr}$  und  $^{90}\text{Sr}$  prinzipiell geeignet ist und damit zukünftig im Intensivfall in Thüringen eingesetzt werden wird.

### Summary

Quick methods of the measurement of  $^{89}\text{Sr}$  and  $^{90}\text{Sr}$  have a great importance in the supervision of the environmental radioactivity. It is necessary to receive in short time dependable analytical data to be able to carry out suitable assessments or to give recommendations.

The aim of the investigations was to be guaranteed the demands for these methods (test preparation, measurement and evaluation). The use of the solid phase extraction by means of commercial Sr Resin<sup>TM</sup> columns (4.4' (5')-Di-tert-butylcyclohexanol-18-kronen-6-aether) (Triskem) to the radiochemical separation of the Sr isotopes was suitable. The measurements occurred to the FHT 770 T12 – Multi Low Level Alpha/Beta Sample Counter (Thermo Scientific). The results contain the summary activities

of all available Sr isotopes, as for example  $^{89}\text{Sr}$  and  $^{90}\text{Sr}$ . The calculations of the single activities occur about the mathematical algorithm of the linear development on the basis of the works of G. Kanisch.

The first results show, this method is suitable for the analysis of  $^{89}\text{Sr}$  and  $^{90}\text{Sr}$  and is used therefore in future in Thuringia.

## 1 Einleitung

Der Einsatz von Schnellmethoden zur Bestimmung von  $^{89}\text{Sr}$  und  $^{90}\text{Sr}$  ist im Intensivfall unerlässlich, um zeitnah Ergebnisse zu erhalten, die zur weiteren Bewertung herangezogen werden können. Den Ausgang bildeten Überlegungen, welche Anforderungen an eine solche Schnellmethode zu stellen sind:

- *Nachweisgrenze*  
Die geforderte Nachweisgrenze beträgt im IMIS-Intensivbetrieb 1 Bq/l für Milch bzw. Wasser sowie 1 Bq/kg(FM) für Lebens-/Futtermittel.
- *Präzision/Genauigkeit*  
Die Übereinstimmung mit einem sogenannten "wahren" Wert sollte unter Berücksichtigung einer entsprechenden Messunsicherheit gewährleistet sein.
- *Zeitvorgaben*  
Die Zeitvorgaben sind momentan wie folgt definiert: Die Ergebnisse sollen am Ende des Folgetages nach Probeneingang vorliegen.
- *Verhältnis  $^{89}\text{Sr}/^{90}\text{Sr}$*   
Hier sollte es möglichst keine Einschränkungen geben.

Unter Beachtung dieser vier Vorgaben wurden für die Matrices Milch, Oberflächenwasser, Blattgemüse sowie Wiesen- und Weidebewuchs Schnellmethoden entwickelt und optimiert, wobei dabei die Schritte Probenvorbereitung, Messung und Auswertung Berücksichtigung fanden.

## 2 Entwicklung der Schnellmethoden

### 2.1 Probenvorbereitung

Die Probenvorbereitung setzt sich aus zwei wesentlichen Schritten zusammen. In einem ersten Schritt müssen die Proben in eine  $\text{HNO}_3$ -saure Lösung überführt werden. Dazu werden bei der Milch der Ionenaustauscher Chelite<sup>®</sup> P (Na<sup>+</sup>-Form), bei dem es sich um eine Styrol-Divinylbenzol-Copolymer-Matrix als Gerüst mit Aminomethylphosphonsäure-Gruppen [ $\text{NH}_2\text{-CH}_2\text{-PO}_3\text{H}_2$ ] handelt, eingesetzt, um Eiweiße, Fette und  $\text{Ca}^{2+}$ -Ionen abzutrennen. Die Proben des Blattgemüses sowie des Wiesen- und Weidebewuchs werden verascht und anschließend in der Mikrowelle mit  $\text{HNO}_3$  aufgeschlossen. Bei den Wasserproben erfolgt eine Einengung über den Rotationsverdampfer. Anschließend werden die Rückstände jeweils mit  $\text{HNO}_3$  aufgenommen, so dass diese Lösungen dann für den zweiten Schritt der Probenvorbereitung, der radiochemischen Trennung, zur Verfügung stehen.

Die radiochemische Trennung erfolgt mittels Festphasenextraktion über kommerzielle Sr-Resin<sup>®</sup>-Säulen der Firma Triskem. Das Sr-Resin<sup>®</sup> besteht aus einem Kronenether (4,4'(5')-Di-tert-butylcyclohexanol-18-kronen-6-ether) gelöst in Octanol. Zum Einsatz kommen 2 ml Säulen mit einer Partikelgröße von 100 – 150  $\mu\text{m}$ .



Abbildung 1: links: Sr-Resin®-Säule, Mitte: Einsatz einer Vakuumbbox bei der Trennung, rechts: SrCO<sub>3</sub>-Präparat

Nach der Trennung erfolgt die Herstellung des zur Messung benötigten SrCO<sub>3</sub>-Präparats durch Fällung mittels gesättigter Ammoniumcarbamatlösung.

## 2.2 Messung

Die Messungen erfolgen am FHT 770 T12 – Multi Low-Level Alpha/Beta Sample Counter der Firma Thermo Scientific. Die Messzeit beträgt 50.400s, d.h. 28 Messintervalle à 30min. Dabei sollte die Messung, wenn möglich über Nacht durchgeführt werden, um die vorgegebene Zeit bis zur Abgabe der Messwerte, optimal auszunutzen. Am Ende der Messung stehen die summarischen Counts für <sup>89</sup>Sr und <sup>90</sup>Sr zur Verfügung.

## 2.3 Auswertung

Die Berechnungen zu den entsprechenden Einzelaktivitäten für <sup>89</sup>Sr und <sup>90</sup>Sr erfolgen über den mathematischen Algorithmus der linearen Entfaltung auf der Grundlage der Arbeiten von G. Kanisch. Die Verfahren der linearen Entfaltung finden dann Anwendung, wenn mit den entsprechenden Messungen mehrere Ergebnisgrößen simultan registriert werden, d.h. wie in diesem Fall, durch die Messung des SrCO<sub>3</sub>-Präparats am FHT summarisch die Anteile von <sup>89</sup>Sr und <sup>90</sup>Sr erfasst werden. Dazu sind neben den, durch die Messung ermittelten Counts, eine Vielzahl weiterer Angaben/Parameter notwendig, die sich in feste und variable Größen unterscheiden lassen. Nachfolgend sind die wesentlichen Größen aufgeführt:

- *notwendige feste Größen*

Halbwertszeit <sup>90</sup> Sr	$t_{\text{HW-}}^{\text{90}}_{\text{Sr}}$	10510 d
Halbwertszeit <sup>89</sup> Sr	$t_{\text{HW-}}^{\text{89}}_{\text{Sr}}$	50,5 d
Halbwertszeit <sup>90</sup> Y	$t_{\text{HW-}}^{\text{90}}_{\text{Y}}$	64,1 h
Efficiency <sup>90</sup> Sr, <sup>89</sup> Sr, <sup>90</sup> Y (Bestimmung vorab)		
- *notwendige variable Größen*
  - Probennahmedatum (Bezugsdatum)
  - Probenmenge in l bzw. kg(FM)
  - Zeitpunkt der Extraktion
  - Masse des Präparats (in mg)
  - Messdatum & Messzeit (Dauer)

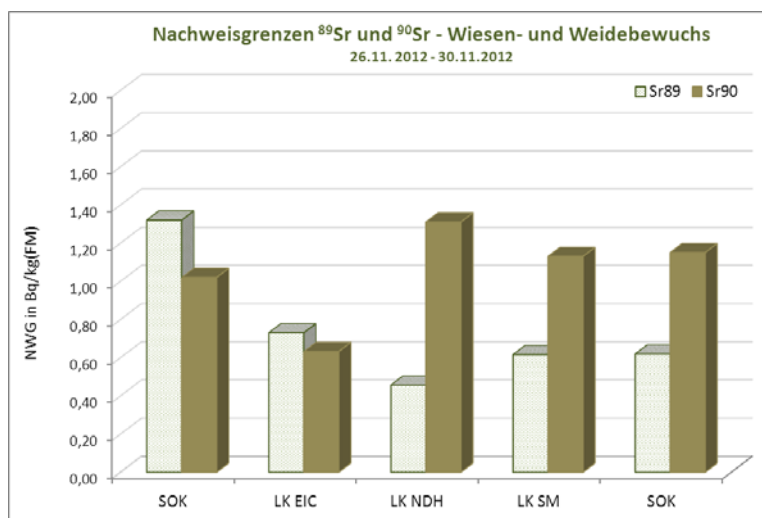
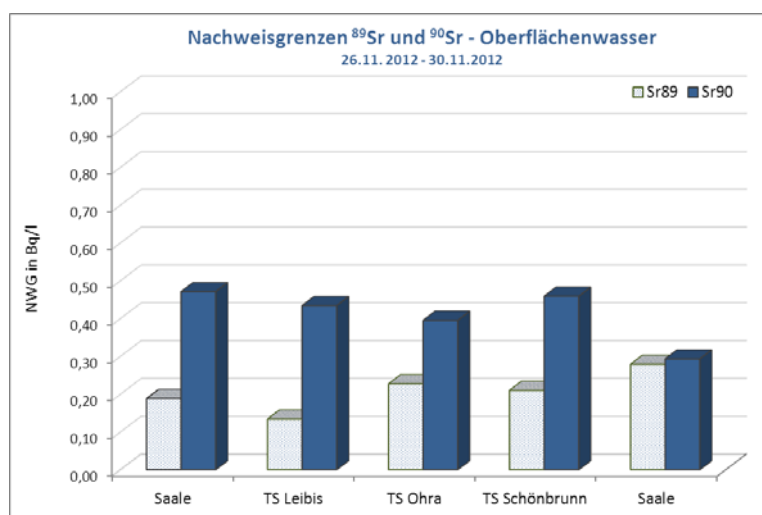
Counts der Nulleffekt-Messung  
 Counts der Präparat-Messung  
 Sr-Ausbeute

Die rechnerische Umsetzung der Lösung dieses Problems erfolgte in Excel in Kombination mit einem VisualBasic-Modul durch G. Kanisch [1]. Anschließend wurden die Darstellungen in Excel optimiert, so dass nach dem Eintragen aller notwendigen Größen, eine automatische Berechnung der Werte für  $^{89}\text{Sr}$  und  $^{90}\text{Sr}$  unter Angabe der charakteristischen Grenzen entsprechend DIN ISO 11929 erfolgt.

### 3 Beispiele – IMIS-Übung "Herbst 2012"

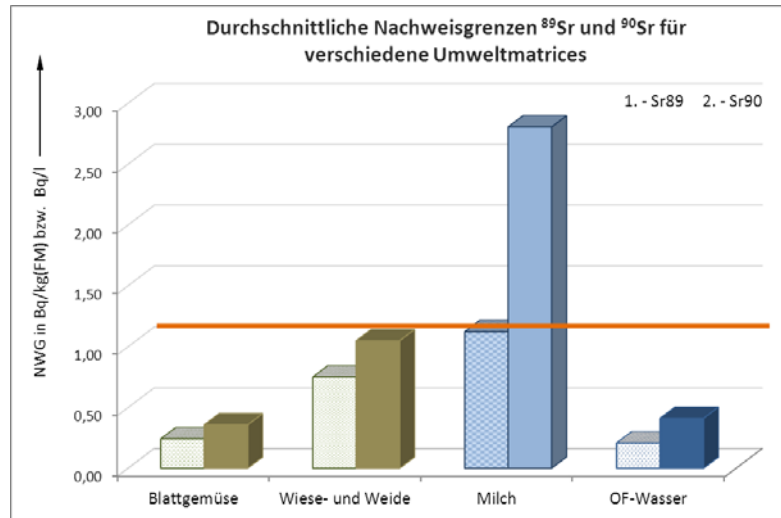
Im Rahmen der IMIS-Übung "Herbst 2012" (26. November – 30. November 2012) kamen die entsprechenden Schnellmethoden für die verschiedenen Matrices zum Einsatz. So wurden im Rahmen der Übung über den Zeitraum von einer Woche täglich vier Proben (Milch, Oberflächenwasser, Blattgemüse, Wiesen- und Weidebewuchs) radiochemisch auf die Nuklide  $^{89}\text{Sr}$  und  $^{90}\text{Sr}$  untersucht.

Da der Probeneingang (auf Grund des Übungsgeschehens) bereits am Morgen erfolgte, konnten die Ergebnisse für die verschiedenen Matrices jeweils am Folgetag gegen Mittag übermittelt werden. Nachfolgend sind einige ausgewählte Ergebnisse dargestellt .



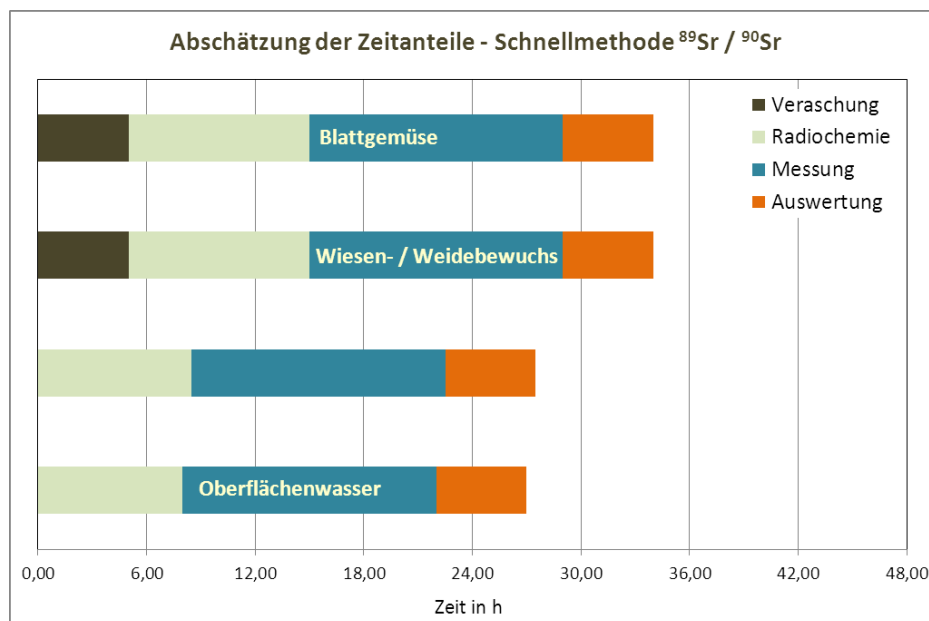
#### 4 Zusammenfassung

Vergleicht man die unter Punkt 1 aufgeführten Erfordernisse an die Schnellmethoden mit den erreichten Ergebnissen, lassen sich folgende zusammenfassende Schlüsse ziehen. Die geforderten Nachweisgrenzen wurden mit einer Ausnahme (<sup>90</sup>Sr, Milch) erreicht. Dabei wurden diese entsprechend DIN ISO 11929 berechnet.



Aus den Ergebnissen resultieren zwei Fragen, die zukünftig weiter diskutiert werden sollten. Zum einen, muss gewährleistet sein, dass die Berechnung der Nachweisgrenzen für alle Messstellen vergleichbar ist und zum anderen, ob die Möglichkeit gegeben ist, Kompromisse hinsichtlich der Nachweisgrenzen zu finden, insbesondere im Hinblick auf in Kraft zusetzende Grenzwerte bei radiologischen Notfallsituationen.

Die geforderten Zeitvorgaben können bei optimalen Bedingungen umgesetzt werden.



Allerdings ist hier der Zeitpunkt des Probeneingangs ein wesentlicher Punkt, der entscheidend von der Dauer Probennahme sowie von den Fahrzeiten abhängt, so dass

unter Umständen eine Verschiebung der Arbeitszeit bzw. ein Schichtbetrieb notwendig wird.

Die Sicherstellung der Präzision bzw. Genauigkeit sowie die Anwendungsmöglichkeiten auf möglichst große Verhältnisse  $^{89}\text{Sr}/^{90}\text{Sr}$  wurden mittels dotierter Standardlösungen getestet. Dabei ergaben sich für  $^{89}\text{Sr}$  durchschnittliche Messunsicherheiten von ca. 5% und Wiederfindungsraten zwischen 97% - 101%. Die Ergebnisse waren unabhängig vom vorliegenden Verhältnis  $^{89}\text{Sr}/^{90}\text{Sr}$ . Bei  $^{90}\text{Sr}$  lagen die Messunsicherheiten zwischen 25% - 50% sowie die durchschnittliche Wiederfindungsraten um 125%. Die Ergebnisse waren hier abhängig vom vorliegenden Verhältnis  $^{89}\text{Sr}/^{90}\text{Sr}$ , d.h. eine Vergrößerung des Verhältnisses führte zu einer deutlichen Erhöhung der Messunsicherheit und Verschlechterung der Wiederfindungsrate.

Unabhängig von noch einigen offenen Fragen und Problemen lassen sich folgende wesentliche Ergebnisse festmachen:

Die Schnellmethode zur Bestimmung von  $^{89}\text{Sr}$  und  $^{90}\text{Sr}$  nach radiochemischer Trennung mittels Festphasenextraktion, Messung am FHT und anschließender Anwendung mathematischer Algorithmen der linearen Entfaltung zur Berechnung der Aktivitäten von  $^{89}\text{Sr}$  und  $^{90}\text{Sr}$  ist geeignet, da die geforderten Nachweisgrenzen in der Regel erreicht wurden, die Zeitvorgaben bei optimalen Bedingungen umgesetzt werden und die Messunsicherheiten sowie Wiederfindungsraten in einem akzeptierbarem Rahmen liegen. Unerlässlich für die Anwendung dieser komplexen Methode ist allerdings das Vorhandensein von eingearbeitetem Fachpersonal.

## Literatur

- [1] Kanisch, G.: Johann Heinrich von Thünen-Institut, Hamburg, "Bestimmung von Messunsicherheiten und Nachweisgrenzen", Entwurf Messanleitungen, 06.02.2011.

## UMSETZUNG DER DIN ISO 11929 ZUR BESTIMMUNG DER CHARAKTERISTISCHEN GRENZEN IN DER SPEKTROMETRIE-SOFTWARE VON CANBERRA

G. Fritz , H.- J. Lange  
*Canberra GmbH, Rüsselsheim, Deutschland*

### Kurzfassung

Seit dem 01.01.2011 ist die DIN ISO 11929 zur Bestimmung der charakteristischen Grenzen in Kraft. Damit ergeben sich neue Regeln insbesondere zur Berechnung der Nachweisgrenze sowie zum Berichtswesen bei einer kernphysikalischen Messung. Sie ersetzt die bisher gültige DIN 25482 sowie die darauf basierenden Vorschriften z.B. in der KTA.

Die Umsetzung dieser Regel in der Auswertung von kernphysikalischen Messungen erfordert einige Vorüberlegungen. Dies gilt auch und besonders für spektrometrische Messungen. Spezielle Aufmerksamkeit muss in diesem Zusammenhang der Bestimmung der Nachweisgrenze gewidmet werden, da diese unter bestimmten Umständen rein formal deutlich höher liegen kann als nach den alten Berechnungen. Damit ergibt sich unter Umständen die Problematik, dass ein Messgerät nicht mehr den Anforderungen einer vorgegebenen Richtlinien entspricht.

In diesem Beitrag werden zum Einen die Formeln zur Bestimmung der charakteristischen Grenzen dargestellt. Es wird weiterhin erläutert, durch welche bisher weitgehend vernachlässigten Parameter nunmehr die Bestimmung der Nachweisgrenze problematisch werden kann. Ein in der ISO 11929 neu auftretender Wert, nämlich der Beste Schätzer mit seinem Vertrauensbereich wird in seiner Bedeutung erläutert. Weiterhin wird die Implementierung in der Analysen- Software von Canberra dargestellt. In einem letzten Teil wird an einer beispielhaften Auswertung die oben erwähnte Problematik der höheren Nachweisgrenze, deren Ursache und das mögliche Vorgehen zur deren Korrektur erläutert.



## ENTWICKLUNG VON SPEKTROMETRIERENDEN SONDEN FÜR DEN NOTFALLSCHUTZ - STAND UND PERSPEKTIVEN

### DEVELOPMENT OF SPECTROMETRIC PROBES FOR EMERGENCY PREPAREDNESS – STATUS AND WAY FORWARD

M.Zähringer<sup>1</sup>, M.Bleher<sup>1</sup>, M. Dambacher<sup>2</sup>, C. Disch<sup>3</sup>, W.Eickhoff<sup>1</sup>, A. Fauler<sup>2</sup>,  
M.Fiederle<sup>3</sup>, W.Harms<sup>1</sup>, R.Luff<sup>1</sup>, U. Stöhlker<sup>1</sup>, A. Zwerger<sup>3</sup>

<sup>1</sup>*Bundesamt für Strahlenschutz (BfS), Salzgitter, Deutschland*

<sup>2</sup>*X-Ray Imaging Europe, Freiburg, Deutschland*

<sup>3</sup>*Freiburger Materialforschungszentrum (FMF), Freiburg, Deutschland*

#### Zusammenfassung

Spektrometrierende Sonden mit Detektoren mittlerer Energieauflösung (NaJ, LaBr<sub>3</sub> oder CZT) können Messnetz für die Überwachung der Ortsdosisleistung (ODL) sinnvoll ergänzen, um dessen Sensitivität und Spezifität als Frühwarnsystem zu verbessern. Nuklidspezifische Informationen in ausreichender örtlicher Auflösung ermöglichen im Ereignisfall frühzeitige gezielte Maßnahmen.

Mit der Zielsetzung der Entwicklung kostengünstiger und feldtauglicher gamma-spektrometrischer Systeme, die als Messsonden im ODL-Messnetz verwendet werden können, wird im Rahmen einer Forschungsk Kooperation mit Freiburger Materialforschungszentrum (FMF) der Universität Freiburg seit mehreren Jahren ein Projekt durchgeführt. In diesem werden Halbleiterdetektoren auf der Basis von Cadmium-Zink-Tellurid (CZT)-Kristallen entwickelt und mit einem ebenfalls neu entwickelten kostengünstigen und vielseitig verwendbaren Vielkanalanalysator in eine Sonde integriert. Die gesamte Entwicklungslinie ist modular konzipiert und basiert, wo immer möglich, auf Open-Source-Komponenten. Sie wird durch entsprechende Auswertesoftware und Datenaustauschverfahren ergänzt. Dadurch wird es möglich, in internationalen Kooperationen zusammenzuarbeiten, einzelne Komponenten verteilt zu entwickeln und dadurch Synergien zu nutzen.

#### Summary

Spectrometric probes with medium energy resolution (NaI, LaBr<sub>3</sub>, CZT) have the potential to enhance existing gamma dose rate monitoring networks as a early warning system by increasing the sensitivity and specificity. In an emergency situation nuclide specific information with sufficient spatial resolution can be made available to decision makers.

An ongoing research project between BfS and the Freiburg Material Research Centre (FMF) aims at the development of semiconductor detectors based on Cadmium-Zink-

Telluride which can be used for low cost ruggedized spectrometric systems suitable for deployment in an environmental network.

The new probe contains also a newly developed versatile multi channel analyser. The system has a modular design and is based – where ever possible - on open source components. It is complemented by specific analysis software using established data exchange formats. This facilitates international cooperation and exploits synergies through distributed development of components.

## 1 Einleitung

Das Integrierte Mess- und Informationssystem IMIS verfügt mit dem ODL-Messnetz über ein dichtes und flächendeckendes Messnetz mit 1800 Geiger-Müller-Sonden. Ergänzt wird dieses Messnetz durch die KFÜ-Ringe der Länder um kerntechnische Anlagen. Dieses stationäre Netz ist in der Lage, im Zehn-Minuten-Takt die wichtigsten Informationen über die Ausbreitung und Deposition einer radioaktiven Schadstoffwolke zu liefern. Das Messnetz liefert die räumliche Ausdehnung sowie eine grobe Abschätzung der Höhe der Kontamination, nicht aber die nuklidspezifische Zusammensetzung. Damit ist deren Verwendung in prognostischen Dosismodellen eingeschränkt. Die Empfindlichkeit der Früherkennung von künstlichen Erhöhungen ist begrenzt durch die Höhe natürlicher Schwankungen solange deren Beiträge zur ODL nicht unterschieden werden können

Die nuklidspezifische Information wird im gegenwärtigen IMIS durch relativ aufwändige, hochauflösende In-situ-Spektrometer gewonnen. Hierfür gibt es 40 fest installierte Systeme beim Deutschen Wetterdienst, sechs Messfahrzeuge des Bundesamtes für Strahlenschutz sowie je ein Messfahrzeug in den Messorganisationen der 16 Länder. Diese Systeme sind teuer, erfordern einen hohen Betreuungsaufwand und werden in einem Ereignisfall voraussichtlich nur zeitverzögert Informationen liefern, wenn die Einsatzfahrzeuge das Kontaminationsgebiet erreicht haben bzw. die Schadstoffwolke eine der DWD-Stationen erreicht hat.

Um diese Lücke zu schließen, werden Sonden entwickelt, die in Zukunft mit spektrometrischen Informationen das Messnetz flächendeckend ergänzen. Sie sollen preiswert sein, nuklidspezifische Informationen liefern - wenn auch nicht in der mit Reinstgermanium vergleichbaren hohen Qualität - und niedrigere Alarmierungsschwellen für künstliche Radioaktivität ermöglichen.

In der Zielvorgabe der messtechnischen Charakteristika sowie dem Preis sollten die neuen spektrometrierenden Sonden zwischen den einfachen unempfindlichen ODL-Sonden und den aufwändigen Reinstgermaniumdetektoren liegen. Die Systeme sollte Erhöhungen der künstlichen ODL von wenigen Nanosievert pro Stunde erkennen können. Als langfristige Zielvorgabe sollten die Sonden einmal die für den Intensivbetrieb von IMIS geforderten Nachweisgrenzen erreichen. Ein Detektorsystem muss für den Einsatz im Messnetz geeignet, d.h. wetterfest gekapselt, wartungsfrei und mechanisch robust sein. Die Auflösung sollte besser als 2,5% sein und nuklidspezifische Bodenkontaminationen im Bereich von einem Kilobecquerel sollen in weniger als einem Tag erkennbar sein. Das Projekt ist offen für Kooperationen und soll auch für andere Messnetzbetreiber von Nutzen sein.

## 2 Bisherige Ergebnisse

Das BfS betreibt zusammen mit dem Freiburger Materialforschungszentrum (FMF) seit einigen Jahren die Entwicklung von spektrometrierenden Sonden auf der Basis von Cadmium-Zink-Tellurid-Kristallen (CZT). Dieses Detektormaterial hat einen hohen spezifischen Widerstand ( $>10^{10} \Omega \cdot \text{cm}$ ) und eine Bandlücke von 1.4 – 2.2 eV und kann daher bei Temperaturen zwischen  $-30^\circ\text{C}$  und  $+50^\circ\text{C}$  als Halbleiterdetektormaterial eingesetzt werden [1]. Im Gegensatz zu Lanthanbromid enthält es keine intrinsische Kontamination und unterliegt keinem Patentschutz. Bei hohen Stückzahlen ist daher mit einem deutlich günstigeren Preis zu rechnen. Im Vergleich zu NaI-Detektoren ermöglicht es eine bessere Energieauflösung.

Auf der Basis von Redlen-Detektoren [2] mit den Abmessungen  $19 \times 19 \times 5 \text{ mm}^3$  wurde eine prototypische Sonde entwickelt. Sie verwendet zwei CZT-Detektoren mit Coplanar-Grid Kontakten [3], sowie einen ebenfalls neu entwickelten kostengünstigen und vielseitig verwendbaren Vielkanalanalysator, den sogenannten GMCA ("Gamma-ray analysis digital filter Multi Channel Analyzer") [4, 5]. Er kann optional für zwei Detektoren in einem geeigneten Koinzidenzmodus betrieben werden, so dass mit einem Stack von zwei Kristallen ein effektives Detektorvolumen von über  $3 \text{ cm}^3$  bei einer Auflösung von 2,5% erreicht wird (Vgl. Abb1) [6, 7].

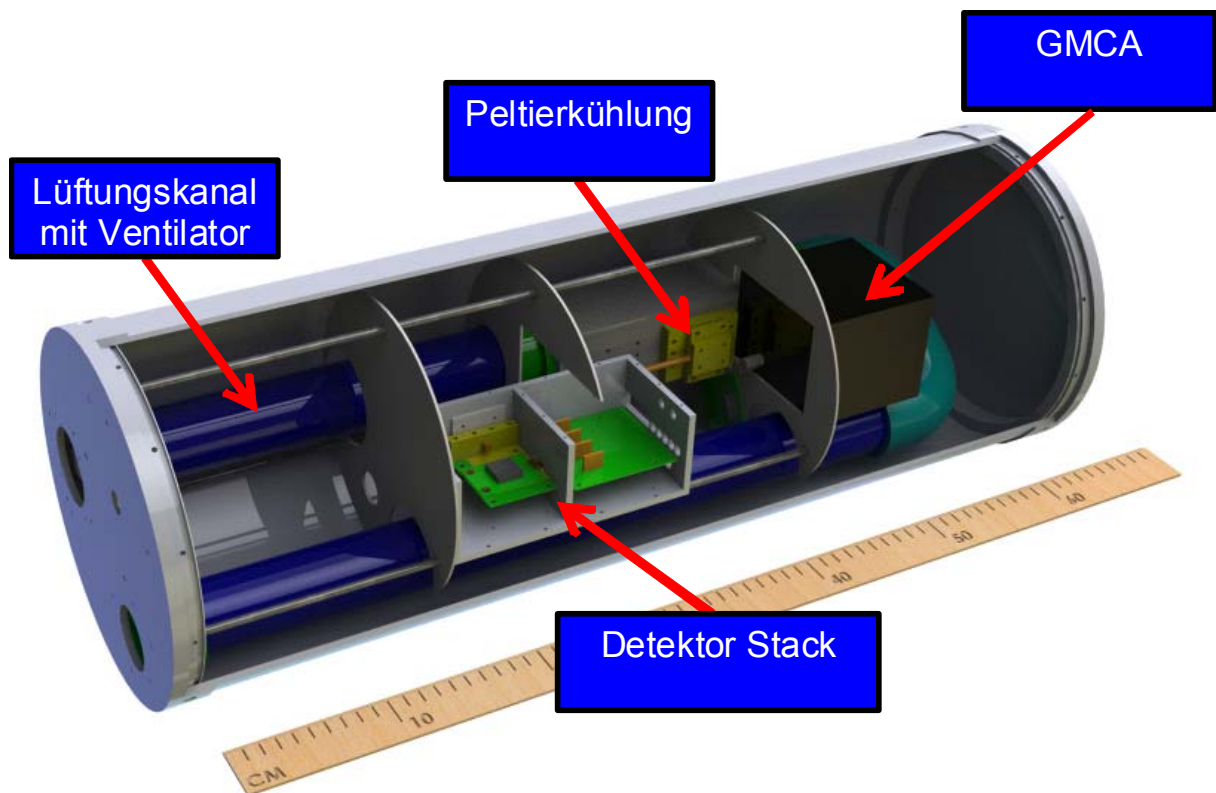


Abb. 1.: Prototypische spektrometrierende Sonde mit Detektor-Stack, GMCA, Peltierkühlung und Lüftungskanal mit Ventilator.

Obwohl das Detektormaterial bei bis zu  $50^\circ\text{C}$  Umgebungstemperatur betrieben werden kann, wurde eine Peltierkühlung mit einer Leistung von maximal 20 Watt eingebaut. Damit wird die Betriebstemperatur auf  $+10^\circ$  stabilisiert. Bei dieser Temperatur verbessert sich die Auflösung der Detektoren signifikant und liegt unter 2,5%.

Weitere Temperaturabsenkungen bringen vergleichsweise wenig zusätzlichen Gewinn und erhöhen nur den Energieverbrauch der Kühlung.

Der gegenwärtige Prototyp hat eine Höhe von 60cm, einen Durchmesser von 20cm und ein Gewicht von 10kg. Mit fortschreitender Entwicklung werden sich Größe und Gewicht verringern. Er arbeitet mit einer Koinzidenzschaltung, die vier verschiedenen Spektren liefert: je ein reguläres Spektrum für beide Detektorkristalle, ein Koinzidenzspektrum, bei dem nur koinzidente Ereignisse als Impulse summiert und gespeichert werden sowie das Koinzidenzsummenspektrum. Dieses registriert die Summenimpulse koinzidenter Ereignisse sowie die Impulse, die nicht koinzident in einem der beiden Detektoren gemessen wurden. Es entspricht damit dem Spektrum eines einzigen Detektorkristalls mit dem Volumen beider Einzelkristalle.

Abbildung 2 zeigt die jeweiligen Einzelspektren der Detektoren sowie die koinzidenten Spektren.

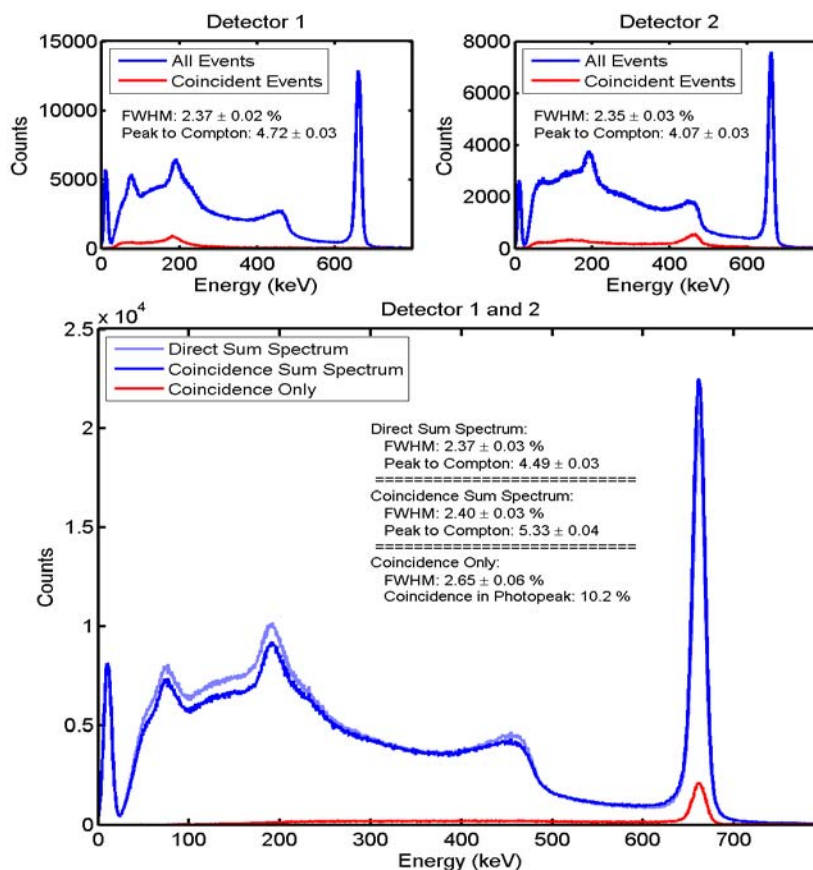


Abb. 2: Oben: Spektrum eines Einzelkristalls (Detektor 1 und 2) sowie das jeweilige Teilspektrum der Ereignisse, die koinzident mit einem Impuls im anderen Detektor gezählt wurden.

Unten: Summe der beiden Einzelspektren (hellblau) sowie das Koinzidenzsummenspektrum, das einen niedrigeren Compton-Untergrund aufweist. Unten rot das direkte Koinzidenzspektrum.

Die Datenaufnahme erfolgte über einen neu entwickelten digitalen Vielkanalanalysator, den GMCA. Dieser verfügt über zwei getrennte spektroskopische Kanäle und

erlaubt die Bestimmung der Energiespektren von zwei Detektoren gleichzeitig, wahlweise mit und ohne Koinzidenz.

Der GMCA ist aus zwei Komponenten aufgebaut: An erster Stelle steht der Analogteil, der für die Verstärkung der eingehenden Detektorsignale und die Vorbereitung auf die Digitalisierung durch die Analog-Digital-Wandler (ADC), welche auf der zweiten Komponente, dem Digitalteil aufgebracht sind. Die Pulsformung erfolgt nicht analog sondern im Anschluss an die Digitalisierung mit einer Auflösung von 12 Bit und einer Abtastrate von 40 Mhz in einem FPGA durch Verwendung von digitalen Filtern. Das ballistische Defizit der eingehenden Detektorereignisse wird mit Hilfe einer Entfaltung, welche trapezförmige Pulsformung verwendet, rekonstruiert [8]. Bis zu vier Spektren (mit und ohne Koinzidenz) werden gleichzeitig in SRAM gespeichert und können über einen Mikroprozessor ausgelesen werden. Letzterer kann über RS232, RS485 oder USB an einen Computer oder wahlweise Messwertsender angeschlossen werden.

Um die Detektoren mit Hochspannung und die Vorverstärker mit Betriebsspannung zu versorgen, wird an den GMCA zusätzlich eine weitere, eigenständig entwickelte Komponente angeschlossen. Diese besitzt bis zu vier Hochspannungsmodule mit jeweils bis zu 4 kV Spannung, wahlweise mit positiver oder negativer Polarität. Außerdem werden übliche Vorverstärkerspannungen wie  $\pm 6$  V,  $\pm 12$  V und  $\pm 24$  V zur Verfügung gestellt.

### 3 Betriebserfahrung und Sensitivität

Ein prototypischer Detektor wird – mit reparaturbedingten Unterbrechungen - auf dem Schauinsland seit September 2011 betrieben. Daten werden stündlich zu Spektren zusammengefasst und im BfS für die Auswertung gespeichert. Abb. 3 zeigt ein typisches Spektrum aus dem Routinebetrieb.

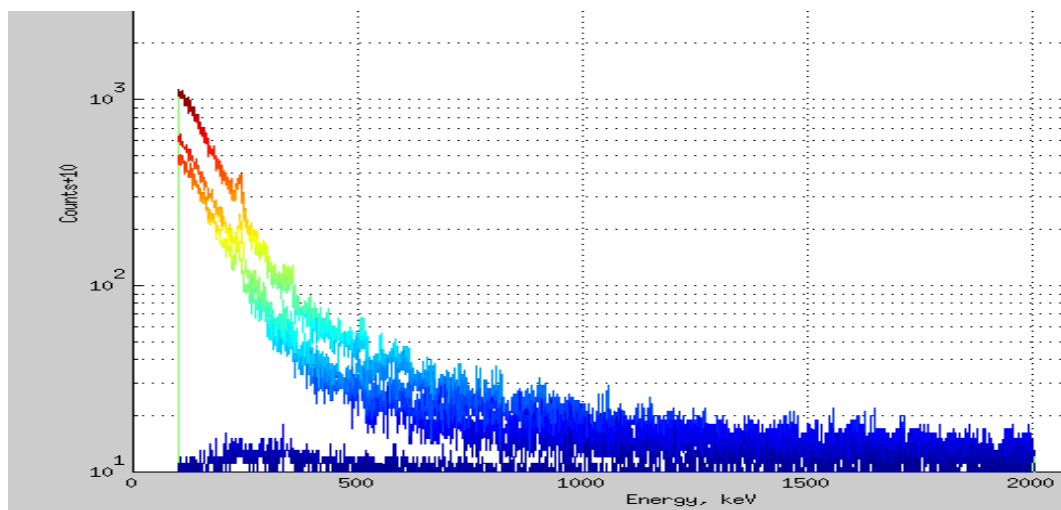
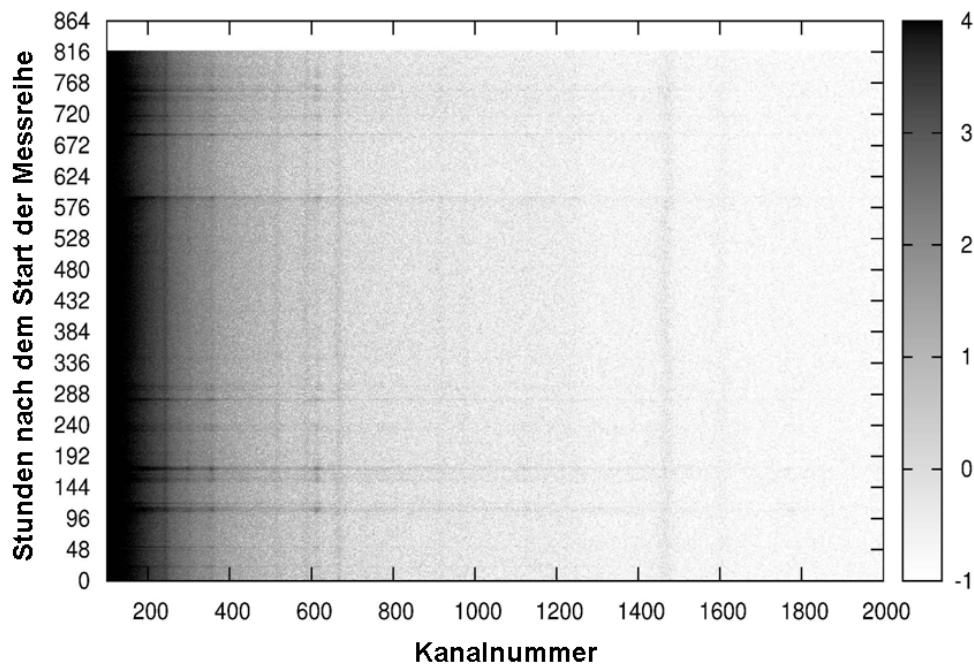


Abb. 3: Tagesspektrum einer CZT-Sonde mit zwei Detektoren in Koinzidenzschaltung. Dargestellt sind das Koinzidenzsummenspektrum (oben), die beiden Einzelspektren (Mitte) sowie das Spektrum ausschließlich koinzidenter Zählereignisse (unten) vom 22. Februar 2013.

Es handelt sich bei diesem Spektrum um ein Untergrundspektrum, bei dem die terrestrische Strahlung durch eine mehr als 1 m dicke Schneedecke praktisch unterdrückt

ist. Die Untergrundlinie des Spektrums zeigt einen sehr starken Gradienten. Dies ist auf die starke energieabhängige Efficiency zurückzuführen.

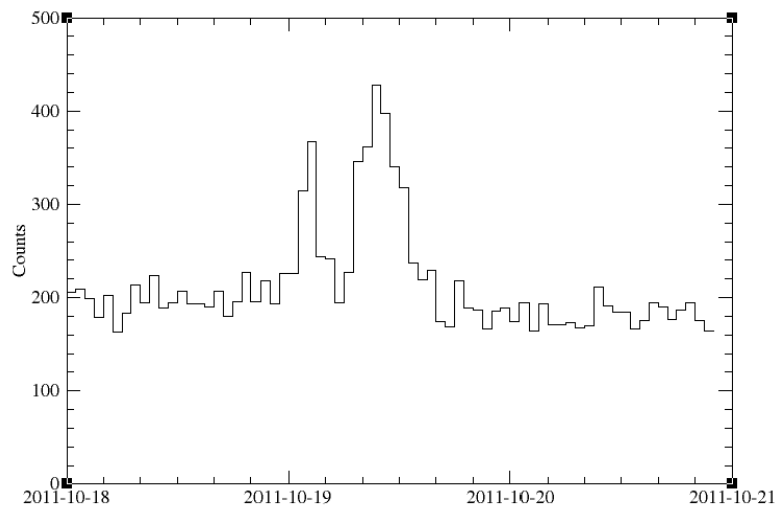
Abb. 4 zeigt einen sog. „Wasserfallplot“ der Spektren vom 2.10. bis 4.11.2011. Dabei wird eine große Zahl zeitlich hintereinander gemessener Spektren auf der senkrechten Achse aufgetragen. Die Kanalhalte werden durch Grautöne sichtbar gemacht. Man erkennt als horizontale Schatten deutlich die registrierten Regenereignisse. Man erkennt auch dass die sichtbaren Linien im Untergrundspektrum relativ stabil in bestimmten Kanälen abgebildet werden (senkrechte Linien).



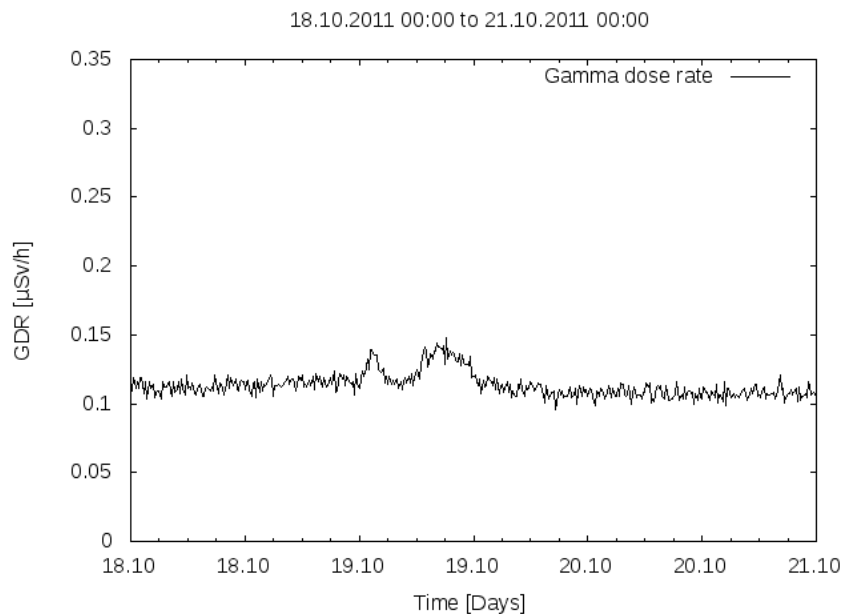
*Abb.4: Wasserfallplot der Spektren eines einzelnen CZT-Kristalls vom 2.10. bis 4.11.2011 auf dem Schauinsland. Aufgetragen sind die Kanäle (horizontal) gegen die Zeit (in Stunden). Das System wurde vor dem Betrieb so kalibriert, dass die Kanäle der Energie der Strahlung entsprechen. Die Grauwerteskala rechts bezieht sich auf den dekadischen Logarithmus der Zählereignisse im jeweiligen Kanal.*

Die intrinsische Photopeak-Efficiency einer Koinzidenzschaltung zweier CZT-Detektorkristalle beträgt ca. 8%. Bei einer aktiven Fläche von 3,8 cm<sup>2</sup> entspricht dies einer absoluten Efficiency von 3·10<sup>-5</sup> Zählereignissen bei einem zeitintegrierten Fluss von einem Gamma pro Quadratmeter. Sie ist damit eine Größenordnung niedriger als die in IMIS für in-situ-Messungen eingesetzten Reinstgermaniumdetektoren (10% rel. Efficiency). Die im Vergleich hierzu schlechtere Auflösung von 2,5%, die bezogen auf den 662 keV Peak von Cs-137 etwa einer Halbwertbreite von 16 keV entspricht, führt zudem zu einem entsprechend höheren Peakuntergrund. Die zu erwartenden Nachweisgrenzen liegen damit auch etwa eine Größenordnung über denen der in IMIS im Einsatz befindlichen in-situ-Systeme.

Abbildung 4a zeigt anschaulich die Sensitivität, hier am Beispiel einer Erhöhung des 609 keV Peaks nach einem natürlichen Regeneffekt, bei dem Radonfolgeprodukte ausgewaschen und auf dem Boden um den Detektor deponiert wurden. Zeitgleich wurde die Ortsdosisleistung gemessen. Sie ist in Abb. 4b wiedergegeben.



**Abb. 4a:** Zeitlicher Verlauf der Zählrate unter dem 609 keV Peak des Detektors während eines Regenereignisses. Pro Ein-Stunden-Intervall werden bis zu 200 zusätzliche Zählereignisse registriert. Das Signal liegt ein Mehrfaches über der Varianz des Untergrundes.



**Abb. 4b:** Zeitgleiche Aufnahme der am selben Ort gemessenen Ortsdosisleistung. Die Erhöhung um ca. 30 nSv/h entspricht einer Gesamtdosition von Radonfolgeprodukten (B-214 und Pb-214) von ca. 6 kBq/m<sup>2</sup>.

Man erkennt aus dieser Zeitreihe, dass Radonnukliddepositionen in der Größenordnung von wenigen Kilobecquerel pro Quadratmeter zu einem signifikanten nuklid-spezifischen Signal im Detektor führen. Damit ist das System grundsätzlich zum Einsatz für die Umweltüberwachung des Bodens im Notfallschutz geeignet. Die erreichten Nachweisgrenzen liegen im Bereich weniger kBq/m<sup>2</sup>.

#### 4 Ausblick

Der Schwerpunkt der weiteren Entwicklung wird zum Einen in der Erprobung der Sonde sowie deren Teilkomponenten im Routinebetrieb unter den Einsatzbedingungen im Messnetz sein. Hier sind Betriebserfahrungen bezüglich der Ausfallsicherheit und Fehleranfälligkeit der Baukomponenten und der Kapselung des Systems gegen Feuchtigkeit etc. zu sammeln. Einzelkomponenten wie zum Beispiel der GMCA werden bereits in Kooperationen mit der CTBTO, der Polytechnischen Universität Barcelona und dem Bundesamt für Seeschifffahrt und Hydrographie erprobt. Des Weiteren sind die Systeme schrittweise zu verkleinern und in den Routinebetrieb des Messnetzes zu integrieren.

Ergänzend hierzu müssen Auswerteverfahren entwickelt werden, die die spezifischen Eigenschaften des Detektors und dessen Einsatzgebietes berücksichtigen. Zum Beispiel kann der kontinuierliche Betrieb und die Verfügbarkeit einer hohen Zahl von Untergrundspektren vor Eintritt einer radioaktiven Kontamination verwendet werden, die Baseline eines Peaks mit hoher statistischer Präzision zu bestimmen und damit die Nachweisgrenze zu reduzieren. Erwähnenswert ist ferner die mit steigender Energie stark abfallende Baseline typischer Umweltspektren. Ein gegenwärtig laufendes Vorhaben im Rahmen des Umweltforschungsprogramms des BMU erkundet die Möglichkeit, innovative Konzepte der Spektrenentfaltung auf diesen Detektortyp anzuwenden. Dabei soll versucht werden, neben dem Photopeak auch die Kenntnis der nuklid-spezifischen Detektorantwort im gesamten Spektrenbereich auszunutzen.

Mit Abschluss des Projektes wird dem BfS ein kostengünstiges System zur Verfügung stehen, das mit seinen Eigenschaften der ortsfesten Zählrohre mit denen der in-situ-Gammaspektrometrie verbindet.

#### Literatur

- [1] T.E. Schlesinger, J.E. Toney, H. Yoon, E.Y. Lee, B. A. Brunett, L. Franks, R.B. James, "Cadmium zinc telluride and its use as a nuclear radiation detector material", *Materials Science and Engineering* 32 (2001)
- [2] Redlen Technologies, <http://www.redlen.com>
- [3] P. N. Luke, "Single-polarity charge sensing in ionization detectors using coplanar electrodes", *Applied Physics Letters* 65 (1994)
- [4] M. Dambacher, "Entwicklung eines digitalen Detektorsystems zur spektroskopischen Überwachung der Umweltradioaktivität auf Basis von (Cd,Zn)Te Detektoren", Universität Freiburg, Dissertation (2012)
- [5] A. Zwerger, "Entwicklung von spektroskopischen und ortsauflösenden CdTe Detektorsystemen", Universität Freiburg, Dissertation (2013)
- [6] C. Disch, M. Dambacher, A. Zwerger, A. Fauler, W. Eickhoff, U. Stoehlker, M. Fiederle, "Digital Spectroscopic System Based on Large Volume Stacked Coplanar Grid (Cd,Zn)Te Detectors", *IEEE TNS* (2012)
- [7] C. Disch, "Entwicklung von großvolumigen CdTe- und (Cd,Zn)Te-Detektorsystemen", Universität Freiburg, Dissertation (2013)
- [8] A. Georgiev, W. Gast, "Digital pulse processing in high resolution, high throughput, gamma-ray spectroscopy", *IEEE TNS* 40 (1993)



## **SITZUNG SCHNELLMETHODEN UND (NEUE) ANALYTTISCHE VERFAHREN II**

Sitzungsleiter: **Hr. Zähringer Hr. Peter**  
*Dionnerstag, 7.3.2013, 10:40 bis 11:20*

### **Zusammenfassung**

Herr Fritz von der Firma Canberra stellte die neue Norm ISO18589-7 für in-situ-Gammamessungen vor. Die neue Norm ist der neueren Entwicklung in der Messtechnik angepasst (digitale Elektronik, elektrische Kühlung) und erlaubt mehr Flexibilität. So sind beispielsweise nun auch Detektoren mit anisotroper Richtungscharakteristik möglich, die entsprechenden Kalibrierprozeduren sind zwar aufwändiger und komplexer, mit neuer Software jedoch benutzerfreundlich durchzuführen.

Herr Rauch vom MPI für Kernphysik in Heidelberg stellte neue Messungen von Xe-133 in der hohen Troposphäre vor. Er ging sehr detailliert auf die Messtechnik mit einem Proportionalzählrohr und einer vorgeschalteten Gaschromatographischen Reinigung und Konzentration ein. Die Messungen wurden wenige Wochen nach dem Reaktorunfall von Fukushima durchgeführt und liefern wertvolle einzigartige Daten über den vertikalen Transport in der Atmosphäre.

## IMPLEMENTIERUNG DER DIN ISO 11929 IN SPEKTROMETRIE-SOFTWARE UND DABEI AUFTRETENDE PROBLEME

### IMPLEMENTATION OF ISO 11929 IN SPECTROMETRY SOFTWARE AND PROBLEMS ARISING FROM THE IMPLEMENTATION

G. Fritz , H.-J. Lange  
*Canberra GmbH, Rüsselsheim, Deutschland*

#### Zusammenfassung

Auf der Basis der seit dem 01.01.2011 gültigen ISO 11929 zur Bestimmung der charakteristischen Grenzen ergeben sich neue Regeln insbesondere zur Berechnung der Nachweisgrenze sowie zum Berichtswesen. Deren Implementierung in die Software-Umgebung von Genie-2000 wird im Folgenden erläutert. Ebenso wird auf Probleme hingewiesen, die sich rein formal bei der Bestimmung der Nachweisgrenze ergeben, wenn dominierende Typ B - Unsicherheiten vorliegen, die bisher nicht berücksichtigt wurden.

#### Summary

Based on the ISO 11929 rule about determination of characteristic limits, which is valid since 01.01.2011, new regulations are given, especially for the calculation of the minimum detectable activity and reporting. The implementation of this regulation into the Genie-2000 spectrometry software is shown in this paper. In addition, problems are shown, which arise from the calculation of the minimum detectable activity, if there are dominant type B uncertainties, which were not taken into account in previous calculations.

#### 1 Motivation und mathematische Formulierung

Der GUM (Guide to Uncertainty in Measurement), gültig seit Ende der 80-er Jahre des 20. Jahrhunderts, gibt Regeln für die Bestimmung von Messunsicherheiten. Die konsequente Anwendung dieser Regeln, insbesondere unter Berücksichtigung der Bayes-Statistik, führt zu Formeln zur Bestimmung der charakteristischen Grenzen, die sich von denen der bisher gültigen DIN 25482 deutlich unterscheiden. Es ist nicht Aufgabe dieses Papiers, diese im Einzelnen herzuleiten. Sie sollen im Folgenden nur angegeben und kurz erläutert werden.

Die in der ISO 11929 angeführten charakteristischen Grenzen sind:

Erkennungsgrenze der Aktivität  $EKG = A^* = \varphi * k_{1-\alpha} \cdot u(0)$

Nachweisgrenze der Aktivität  $NWG = A^\# = A^* + k_{1-\beta} \cdot u(A^\#)$

Grenzen des Vertrauensbereichs der Aktivität

$$A^{\triangleleft} = A - k_{1-\gamma/2} \cdot u(A)$$

$$A^{\triangleright} = A + k_{1-\gamma/2} \cdot u(A)$$

Bester Schätzwert der Aktivität

$$\hat{A} = A + \frac{u(A) \cdot \exp(-A^2 / [2 \cdot u^2(A)])}{\omega \cdot \sqrt{2 \cdot \pi}}$$

In diesen Formeln steht

A für die Aktivität

u() für die Unsicherheit der in der Klammer angegebenen Größe

$k_{1-\alpha}$ ,  $k_{1-\beta}$ ,  $k_{1-\gamma/2}$  für die statistischen Unsicherheiten 1. und 2. Art sowie den Bayesschen Vertrauensbereich

$\varphi$  für den Kalibrierfaktor (s. unten)

Dabei ist zunächst auf den Begriff des Besten Schätzwertes hinzuweisen. Er ergibt sich dadurch, dass bei Ergebnissen nahe der Erkennungsgrenze und einer entsprechend hohen Messunsicherheit der ins Negative reichende Anteil der Gauss-Verteilungsfunktion abgeschnitten wird. Dieser Wert wird nur bei hohen Unsicherheiten relevant und liefert einen Schätzwert, der wenige Prozent höher liegt als das primäre Ergebnis der Aktivitätsbestimmung. Siehe dazu Abb. 1. Angedeutet sind in dieser Grafik die Abweichungen des Besten Schätzwertes vom primären Messergebnis der Aktivität für die Fälle von 50 und 100% Messunsicherheit.

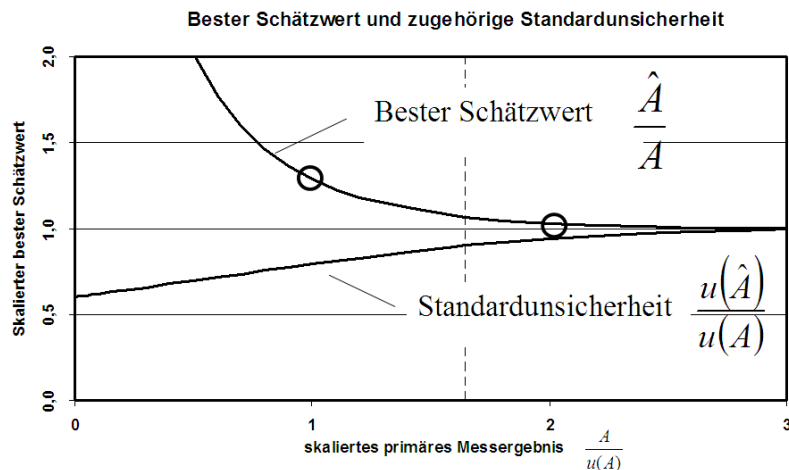


Abb. 1: Bester Schätzwert als Funktion des primären Messergebnisses

Weiterhin ist die Nachweisgrenze ein Punkt der Diskussion. Sie ergibt sich als Funktion ihrer eigenen Unsicherheit. Dieser Ausdruck lässt sich in eine quadratische Gleichung umformen. Sie hat allerdings den Nachteil, dass sich im Nenner eine Differenz ergibt, die bei zu großen relativen Unsicherheiten des Kalibrierfaktors  $\varphi$  zu einer deutlichen Erhöhung der Nachweisgrenze führt. Dies führt zu Konsequenzen, die unten ausführlich diskutiert werden.

Nachfolgend ist die quadratische Gleichung mit ihren Komponenten angegeben:

$$A^{\#} = \frac{-b \pm \sqrt{b^2 - 4ac}}{2a}$$

$$b = -(2k_{1-\alpha} * u(0) + k_{1-\beta}^2) * \varphi$$

$$c = (k_{1-\alpha}^2 - k_{1-\beta}^2) * u^2(0) * \varphi^2$$

$$a = \left( 1 - k_{1-\beta}^2 * \frac{u^2(\varphi)}{\varphi^2} \right)$$

## 2 Implementierung der Algorithmen in Genie-2000 von Canberra

Die Implementierung der ISO 11929 ist unter der Analysenfunktion ‚Nachweisgrenzen‘ im Spektrometriefenster von Genie-2000 hinterlegt (siehe Abb. 2). Der in der ersten Zeile erwähnte Vertrauensfaktor bezieht sich auf die als gleich angenommenen Faktoren  $k_{1-\alpha}$  und  $k_{1-\beta}$ , der Faktor der nächsten Zeile ist der so genannte Bayessche Vertrauensfaktor  $k_{1-\chi/2}$  zur Bestimmung der Grenzen des Vertrauensbereichs.

Folgende Funktionalitäten werden zur Berechnung der einzelnen charakteristischen Grenzen eingesetzt:

### 2.1 Bestimmung der Erkennungsgrenze

Sie wird berechnet für jede einzelne Linie des fraglichen Nuklids. Die niedrigste aller Linien- Erkennungsgrenzen wird zur Nuklid- Erkennungsgrenze.

### 2.2 Bestimmung der Nachweisgrenze

Sie wird berechnet für jede einzelne Linie des fraglichen Nuklids. Die niedrigste aller Linien- Nachweisgrenzen wird zur Nuklid- Nachweisgrenze.

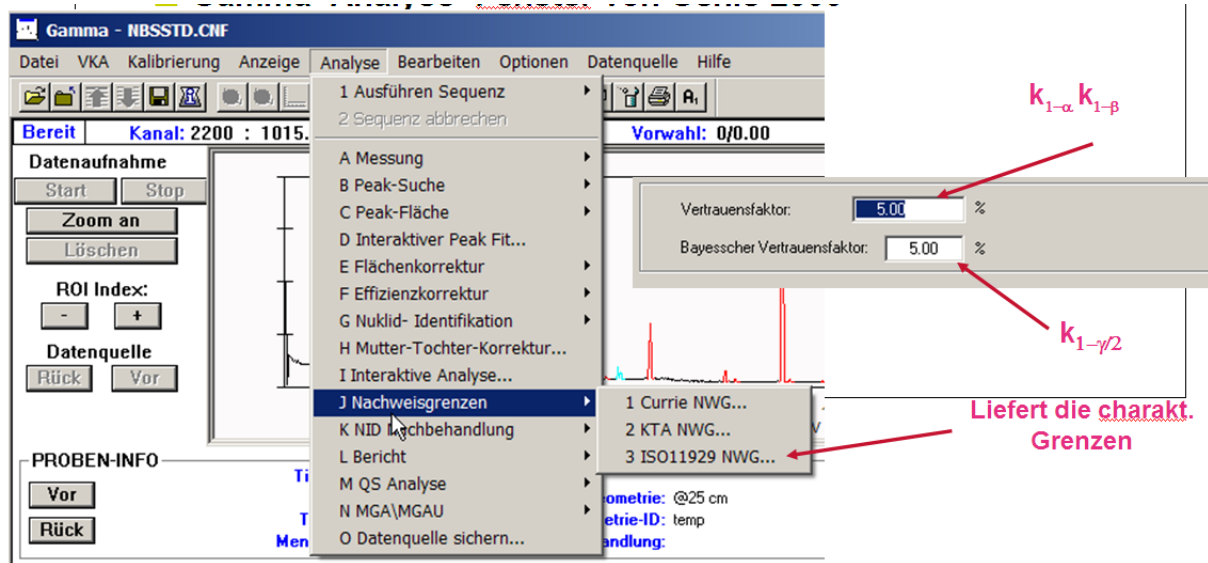


Abb. 2: Implementierung der ISO 11929- Algorithmen in Genie-2000

## 2.2 Bestimmung des Besten Schätzwertes und seines Vertrauensbereiches

Bei Nukliden mit einer einzigen Linie wird die Aktivität auf Basis dieser einzelnen Linie berechnet. Aus der Unsicherheit der Aktivität ergibt sich der Beste Schätzwert sowie der Vertrauensbereich.

Bei Nukliden mit mehreren ungestörten Linien werden zunächst aus den einzelnen Linien- Aktivitäten und deren Unsicherheiten das gewichtete Mittel und seine Unsicherheit bestimmt. Daraus ergeben sich sodann der Beste Schätzwert und sein Vertrauensbereich.

Am aufwändigsten ist die Situation bei Interferenzen. Auch hier werden die einzelnen Linien- Aktivitäten und deren Unsicherheiten, jedoch ohne Berücksichtigung von Interferenzen errechnet. Diese Werte werden zu Komponenten einer Interferenz- Matrix, die zu einer Nuklid- Aktivität mit zugehöriger Unsicherheit führt. Diese beiden Größen wiederum sind dann die Basis für den besten Schätzwert und seinen Vertrauensbereich.

Mit Aufruf der Funktion zur Berechnung der charakteristischen Grenzen gem. der ISO 11929 wird auch ein Bericht erzeugt, der den Vorgaben der ISO 11929 entspricht. Der Bericht enthält alle oben angegebenen Messergebnisse.

## 3 Interpretation der Messergebnisse

Nach Durchführung einer Messung besteht der erste Schritt der Ergebnis- Interpretation darin, die bei der Messung erzielte Nachweisgrenze für jedes einzelne Nuklid mit der in der Richtlinie geforderten Nachweisgrenze zu vergleichen. Sind die erzielten Nachweisgrenzen kleiner als die geforderten, so ist das Messverfahren geeignet und seine Ergebnisse können verwendet werden. Andernfalls ist das Verfahren zu ändern oder anzupassen (z.B. Verlängerung der Messzeit o.ä.).

In einem zweiten Schritt werden die Nuklid- Erkennungsgrenzen mit den jeweiligen Aktivitäten verglichen. Für den Fall, dass die Aktivität kleiner als die Erkennungsgrenze ist, gilt das Nuklid als nicht vorhanden. Im anderen Fall ist es detektiert, und der Beste Schätzwert seiner Aktivität ist zusammen mit den zugehörigen Vertrauensgrenzen anzugeben.

Ein Bericht, der diesen Anforderungen entspricht, wird von Genie-2000 erzeugt.

#### 4 Probleme bei der Interpretation der Messergebnisse

Nachfolgend wird ein Vergleich der Auswertung eines Spektrums mit der alten Nachweisgrenzen- Norm DIN 25482 mit einer entsprechenden Auswertung unter Verwendung der ISO 11929 gezeigt. Bei der Messung handelt es sich um ein Untergrundspektrum eines Ganzkörper- Zählers über 12 Stunden. Es enthält neben Cs-137 nur natürliche Strahler. In den Tabellen 1 und 2 sind einige der Nuklide herausgegriffen und ihre Aktivität und Nachweisgrenze gelistet. Die daraus folgenden Konsequenzen sollen hier interpretiert werden.

*Tabelle 1: Vergleich von Messergebnissen bei Verwendung unterschiedlicher Normen*

Nuklid	Aktivität (alt)	Aktivität (neu)	NWG (DIN/ KTA)	NWG (ISO)	Verhältnis NWGneu/NWGalt
K-40	2884	2885	103	117	+ 14%
Co-57	--	--	12.6	18.7	+ 43%
Co-60	--	--	13	14.6	+ 12%
Cs-137	12.7 +/- 33%	12.7 +/- 33%	13	13.6	+ 4%
Bi-214	70.8	70.8	21	26.7	+ 27%

*Tabelle 2: Vergleich der Messergebnisse für mehrere Linien des Bi-214*

Energie	NWG (alt)	NWG (ISO)	Faktor
609	21.0	26.7	+ 27%
768	265	289	+ 9 %
806	1035	1168	+ 13%
1764.5	72.6	94.5	+ 30 %
1847.4	587	1050	+ 79 %

Aus Tabelle 1 ist ersichtlich, dass sich für die ausgewählten Nuklide kein Unterschied bei den Aktivitäten ergibt. Das ist auch nicht zu erwarten, so lange die Unsicherheiten in den Aktivitäten nicht zu groß sind.

Die Nachweisgrenzen jedoch sind nach der neuen Norm bis zu 43 % höher als bisher. Tabelle 2 zeigt im Falle des natürlichen Nuklids Bi-214 Effekte, die noch stärker sind, insbesondere für die Linie bei 1847.4 keV, bei der die neu ermittelte Nachweisgrenze um fast 80 % höher ist als bisher.

Bei genauer Interpretation des Algorithmus zur Nachweisgrenzenberechnung der ISO 11929 sollte jedoch zwischen alter und neuer Norm kein Unterschied bestehen, so lange keine zusätzlichen Typ B- Unsicherheiten auftreten. Diese Typ B- Unsicherheiten schlagen sich in der Unsicherheit des Kalibrierfaktors nieder. Dieser wiederum besteht aus einem Produkt aus Messzeit, Emissionswahrscheinlichkeit des Gamma-Quants, Probenmenge und Detektor- Effizienz. Es zeigt sich, dass die zusätzliche Unsicherheit nur aus der Unsicherheit der Detektor- Effizienz kommen kann. Die Effizienz selbst hat an den Stützpunkten der Kalibrierung nur Unsicherheiten im Bereich von 5 % (siehe Abb. 3), die verwendete Interpolationskurve jedoch hat im Bereich von ca. 100 keV (bei Co-57) sowie oberhalb des höchsten Kalibriermesspunktes (1332 keV) Unsicherheiten, die sich im Bereich von ca. 30 % bewegen (siehe Abb. 4).

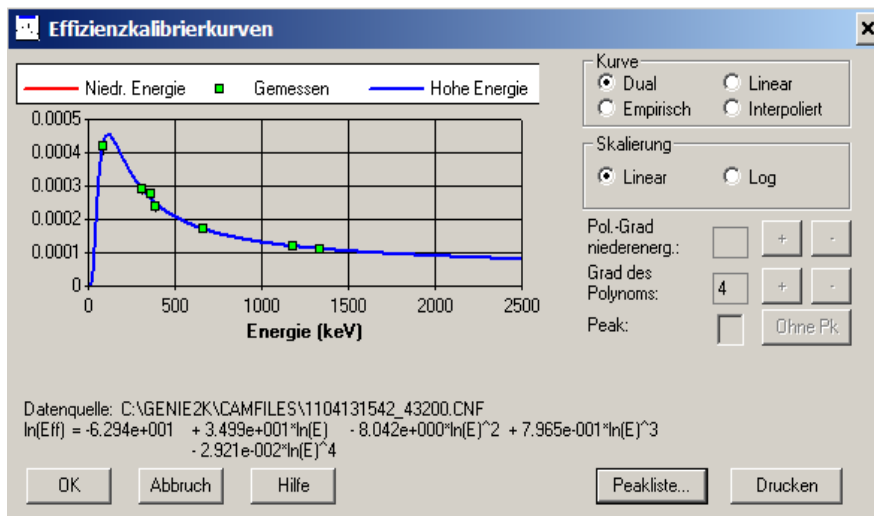


Abb. 3: Effizienzkurve der Messanordnung

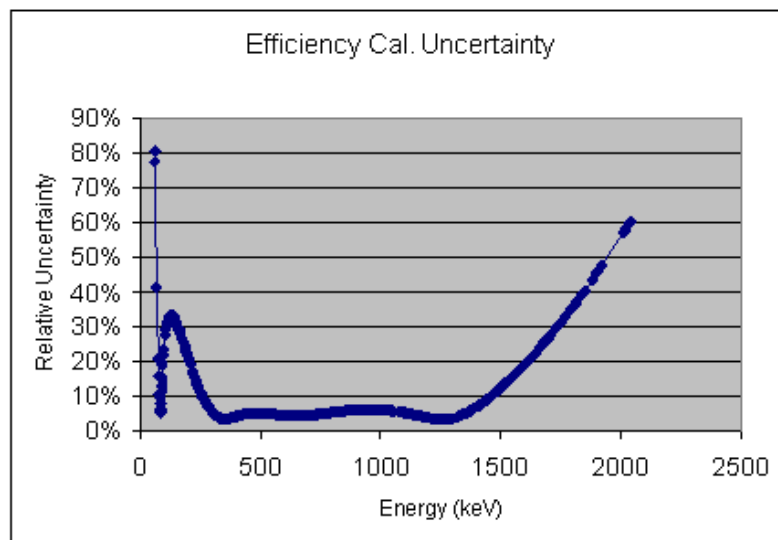


Abb. 4: Unsicherheiten der Effizienzkurve

## 5 Zusammenfassung und Folgerungen

Als Konsequenz aus dem hier gezeigten Messergebnissen ergibt sich, dass die neue ISO- Norm nunmehr Unsicherheiten berücksichtigt, die bei Verwendung der Norm DIN 25482 ignoriert wurden. Damit ergeben sich realistischere Aussagen über die

Nachweisgrenzen. Andererseits kann sich daraus ergeben, dass ein Messverfahren nicht mehr für den Messzweck geeignet ist. Im hier beispielhaft angeführten Fall bedeutet das, dass die verwendete Effizienzkurve für die Bestimmung von Co-57 und der hohen Linie von Bi-214 (z.B. auch für die Bestimmung von Y-88 bei 1836 keV) schlecht geeignet ist. Wenn also die Bestimmung dieser oder anderer Nuklide in diesem Energiebereich erforderlich ist, so muss der Anwender seine Effizienzkalibrierung verfeinern, indem er weitere Messpunkte hinzufügt. Dies kann sowohl durch Einsatz von Kalibrierstrahlern als auch dadurch erfolgen, dass der Anwender weitere Effizienzpunkte in die Kurve einfügt, die sich aus anderen Überlegungen ergeben. Eine wesentliche Verbesserung können hier beispielsweise mathematische Effizienzkalibrierungen liefern, bei denen die Effizienzen für viele Stützstellen berechnet werden können und die Unsicherheit der Effizienzfunktion an den relevanten Energien minimiert wird.



## NACHWEIS VON AUSGETRETENEM $^{133}\text{Xe}$ AUS DEM KERNKRAFTWERK FUKUSHIMA DAI-ICHI IN DER OBEREN TROPOSPHÄRE IN DEUTSCHLAND

H. Simgen<sup>1</sup>, F. Arnold<sup>1</sup>, F. Kaether<sup>1</sup>, S. Lindemann<sup>1</sup>, **L. Rauch<sup>1</sup>**, H. Schlager<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Max-Planck-Institut für Kernphysik, Saupfercheckweg 1, D-69117 Heidelberg,  
Germany

<sup>2</sup>DLR Oberpfaffenhofen, Münchner Straße 20, D-82234 Weßling, Germany

### Kurzfassung

Nach mehreren Kernschmelzen im japanischen Kernkraftwerk Fukushima Dai-ichi im März 2011 konnten große Mengen an radioaktivem Gas in die Atmosphäre entweichen. In dem Vortrag wird gezeigt, dass in verschiedenen Gebieten über Deutschland in Höhen zwischen 8km und 12km eine erhöhte Konzentration des radioaktiven Isotops  $^{133}\text{Xe}$  gemessen werden konnte. Die in dieser Höhe einzigartigen Messungen machen es möglich  $^{133}\text{Xe}$  als einen Tracer für globale atmosphärische Zirkulationsmodelle zu verwenden.

Die Luftproben, in der Größenordnung von einem Liter, konnten bereits kurz nach dem Unfall am 23. März und 14. April 2012 mit dem Forschungsflugzeug Falcon des Deutschen Zentrums für Luft und Raumfahrt genommen werden. Zunächst wurde die geringe Konzentration an Xenon aus den Luftproben durch einen Gaschromatographen extrahiert. Das extrahierte Gas wurde zusammen mit einem Xenon-Methan Gemisch in speziell miniaturisierte Proportionalitätszählrohre gefüllt, die für hoch sensitive Messungen bei sehr niedrigem Untergrund entwickelt wurden.

Zusätzlich zur passiven Abschirmung kosmischer Strahlung im Untergrundlabor wurden die Zählrohre innerhalb eines Bleischilds und einem aktiven Myon-Vetosystems betrieben um den Untergrund weiter zu reduzieren.

Mit dieser Messung konnte gezeigt werden, dass die Ankunft der radioaktiven Wolke in Deutschland in der oberen Troposphäre früher stattfand als in Bodennähe. Dies ist ein Hinweis für einen schnellen vertikalen Fluss von Luftmassen in der japanischen Region. Eine computergestützte Simulation der erwarteten  $^{133}\text{Xe}$  Konzentration über forward trajectory simulations wird derzeit am Deutschen Zentrum für Luft und Raumfahrt erstellt.

Die beschriebene Messtechnik könnte für den Strahlenschutz von erheblicher Bedeutung sein, da bereits kleinste Luftmengen dank ultrasensitiver Zählrohre ausreichend sind um Spuren von Radionukliden in Luft nachzuweisen.

## SEDIMENTDATIERUNG MITTELS GAMMASPEKTROSKOPIE

H. W. Fischer<sup>1</sup>, D. Pittauerová

<sup>1</sup>Universität Bremen, Institut für Umweltphysik, Bremen, Deutschland

### Kurzfassung

Die Datierung von Umweltproben stellt einen wichtigen Beitrag zu aktuellen Projekten beispielsweise in der Klimaforschung dar. Sedimente sind wertvolle Archive für eine Vielzahl von Umwelt- und Klimaparametern – weltweit werden Sedimentkerne erbohrt und untersucht. Eine gebräuchliche Datierungsmethode verwendet  $^{14}\text{C}$ , die Messunsicherheit ist allerdings spätestens ab Beginn des industriellen Zeitalters unakzeptabel hoch.

Die wohl jedem Gammaskopiker aus vielen Umweltproben bekannten Signale der  $^{238}\text{U}$ -/ $^{226}\text{Ra}$ -Zerfallsreihe stellen mit der 46,5-keV-Linie des  $^{210}\text{Pb}$  ( $T_{1/2} = 22,2$  a) eine interessante Ergänzung für den Bereich der letzten 100 bis 150 Jahre dar. In vielen Sedimenten findet sich zusätzlich zum im Material selbst durch Zerfall entstandenen und ständig weiter entstehenden („supported“)  $^{210}\text{Pb}$  ein zusätzlicher („unsupported“, „excess“) Anteil aus atmosphärischem Eintrag, der seinen Ursprung in der Freisetzung von  $^{222}\text{Rn}$  aus Boden und Gestein hat. Dieser im Sediment abgelagerte Anteil wird nicht ständig nachgebildet und bietet bei der Annahme konstanten Eintrags eine auf den ersten Blick einfache Möglichkeit der Datierung.

Bei genauerer Betrachtung zeigen sich jedoch eine Vielzahl von experimentellen und die Modellierung betreffenden Problemen, die die Methode und die Interpretation der Ergebnisse erschweren. Genannt seien hier die starke Selbstabsorption der Proben bei nur 46,5 keV Photonenenergie und die oft anzutreffende Abweichung des Tiefenprofils vom „idealen“ exponentiellen Abfall, Hinweis auf nicht-konstante Ablagerungsbedingungen. Andererseits bietet die Gammaskopie die Möglichkeit, über die Linien der  $^{222}\text{Rn}$ -Töchter  $^{214}\text{Pb}$  und  $^{214}\text{Bi}$  den  $^{226}\text{Ra}$ -Gehalt und damit die Menge des nachgebildeten  $^{210}\text{Pb}$  zu bestimmen – andernfalls wäre eine chemische Abtrennung von  $^{226}\text{Ra}$  mit nachfolgender Messung notwendig. Darüber hinaus geben weitere häufig im Spektrum nachweisbare Signale zusätzliche Informationen –  $^{137}\text{Cs}$ , in Europa bisweilen sogar mit zwei Maxima (aus Bombenfallout und Tschernobyl) im Tiefenprofil zu finden, kann oft als absoluter Marker verwendet werden.

Für den kundigen Gammaskopiker eröffnet sich die Möglichkeit mit einer einzigen, überdies zerstörungsfreien, Messung pro Sedimentschicht eine Vielzahl von Informationen zu ermitteln, die möglicherweise auf keinem anderen Weg zu erhalten wären.

## RADON-DICHTHEITSPRÜFUNG

D. Pittauerová<sup>1</sup>, B. Hettwig<sup>1</sup>, H. W. Fischer<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Universität Bremen, Institut für Umweltphysik, Bremen, Deutschland

### Kurzfassung

<sup>226</sup>Ra ist eines der natürlichen Radionuklide, die routinemäßig in unserem Labor analysiert werden. Dies geschieht zum einen, um NORM / TENORM Materialien unter Strahlenschutzaspekten zu beurteilen aber auch für andere Anwendungen im Umweltbereich. Ein Beispiel dafür ist die Untersuchung von <sup>226</sup>Ra als Grundlage für das sogenannte „supported“ <sup>210</sup>Pb um durch Analyse des „excess“ <sup>210</sup>Pb eine Chronologie der jüngeren Sedimente durchführen zu können.

Die gammaspektrometrische Analyse von <sup>226</sup>Ra ist mit einigen Schwierigkeiten verbunden. Es kann direkt über die 186 keV Linie erfasst werden. Die Probe muss dann nicht ins radioaktive Gleichgewicht gestellt werden. Als Schwierigkeit taucht hier jedoch die Interferenz mit der stärksten Gammalinie des <sup>235</sup>U auf, die zudem auch noch wieder von anderen Linien natürlicher Radionuklide gestört wird. Bei den Proben von überwiegend geringer Aktivitätskonzentration ist weiter die Intensität der <sup>226</sup>Ra-Linie nicht ausreichend, um ein Ergebnis mit akzeptabler Messunsicherheit zu erhalten.

Daher ist es ein weit verbreitetes Verfahren der Gammaspektrometrie, <sup>226</sup>Ra nach Erreichen des radioaktiven Gleichgewichts, über geeignete Linien seiner Folgeprodukte (<sup>214</sup>Pb und <sup>214</sup>Bi) zu bestimmen. Dieses Verfahren setzt die längere Abdichtung der Probe in einem radondichten Behälter voraus. Diese scheinbar einfache Aufgabe führt oft zu nicht befriedigenden Ergebnissen. Die zeigte sich für uns auch in einem Ringvergleich des BfS ("Boden Ringveruch VII-2006"). Die Mehrheit der Teilnehmer unterschätzte die <sup>226</sup>Ra-Aktivität u. a. vermutlich wegen des Problems der Radon-Dichtheit der benutzten Behälter.

Nach Einführung einer neuen luftdichten Folie zur Durchführung von Routinemessungen wurden von uns zur Verifizierung der Dichtheit Zeitreihenmessungen zum Aktivitätsanstieg der <sup>226</sup>Ra-Folgeprodukte mit dieser Folie durchgeführt. Als Probenmaterial wurde der in o. a. Ringversuch verwendete Boden, mit einer Aktivitätskonzentration von etwa 1200 Bq/kg <sup>226</sup>Ra, benutzt. Zum Vergleich wurden auch andere Materialien und Geometrien, die unten aufgeführt sind, in die Messungen einbezogen:

- - gelötete Blechdose. Hier zeigte sich die beste <sup>222</sup>Rn-Dichtheit, allerdings eine erhöhte Schwächung der Gammalinie des zu analysierenden <sup>210</sup>Pb (46,5 keV).
- - Plastikschaalen versiegelt mit Folie
- - Gepresste Wachstabletten versiegelt mit Folie.
- Die Ergebnisse des Experiments und ihre praktischen Auswirkungen werden in dem Beitrag diskutiert.

## UMWELTÜBERWACHUNG MIT IN-SITU-GAMMA-SPEKTROMETER

### ENVIRONMENTAL MONITORING WITH IN-SITU GAMMA SPECTROEMTER

S. Reinhardt

*ENVINET GmbH, Haar bei München, Deutschland*

#### Zusammenfassung

Die In-situ Gammaskopie ermöglicht die großflächige und kontinuierliche Überwachung der Radionuklide und deren Zusammensetzung in der Umwelt. Im Vergleich zur Gamma Ortsdosisleistungsmessung gibt die zusätzliche spektrale Information die Möglichkeit ein schnelleres und effektiveres Vorgehen im Fall einer künstlichen Strahlungsexposition in der Umwelt durchzuführen. Die Kenntnis bzw. Eingrenzung der möglichen Nuklide, die für die erhöhte Gamma-Ortsdosisleistung verantwortlich sind, unterstützen verantwortliche Stellen in der schnellen Erkennung der Lage, Festlegung der Maßnahmen und Verfolgung des zeitlichen und örtlichen Verlaufs der Strahlungsexposition. Diese können dann durch dezidiertes Vorgehen Risiken für Mensch und Umwelt eingrenzen.

#### Summary

The in-situ gamma spectroscopy allows large area and continuous monitoring of the radio nuclides and there composition in the environment. In comparison to the gamma dose rate measurement the additional spectral information gives the possibility for a quick and effective action in the case of a man-made radiation exposition in the environment. The knowledge respectively localization of the possible nuclides, which a responsible for the increased dose rate, supports responsible organization in the quick identification of the situation, definition of the actions and tracking of the temporal and local process of the radiation exposition. Due to dedicate actions the risk for people and environment is reduced.

#### 1 Einleitung

Eine schnelle und frühzeitige Erkennung von Veränderungen in der Umwelt ermöglicht eine schnelle und angepasste Reaktion. Hierdurch können Schäden und dadurch entstehende Kosten und die Risiken reduziert werden. Im Bereich der radioaktiven Überwachung, die z. B. bei landesweiten Messnetzen oder kerntechnischer Anlagen durchgeführt werden, wird hierfür unter anderem die Ortsdosisleistung gemessen, die die Strahlenbelastung für den Menschen charakterisiert. Für die Messung der Ortsdosisleistung der Gammastrahlung werden in Messnetzen üblicherweise Geiger-Müller Detektoren für den großräumigen und kontinuierlichen Einsatz verwendet (z. B: vom Bundesamt für Strahlenschutz in Deutschland [1] oder STUK in Finnland [2]). Die Verwendung von Geiger-Müller Detektoren bietet die Vorteile eines einfachen und robusten Detektors für den Nachweis der Gamma Ortsdosisleistung mit dem Nachteil,

dass dieser nur die Gesamt Ortsdosisleistung messen kann ohne Informationen über deren Zusammensetzung. Somit ist es mit einem Geiger-Müller Detektor nicht möglich ohne weiteres natürliche Fluktuationen wie z. B. durch Regen verursachten Anstieg der Gesamt-Gamma Ortsdosisleistung von künstlichen Ereignissen zu trennen. Dies führt dazu das Schwellenwerte zur Alarmierung so gesetzt werden, dass natürliche Schwankungen keine Alarmierung auslösen wodurch die Frühwarnmöglichkeit des Systems etwas gemindert wird. Auch ist es nicht möglich ohne zusätzliche Untersuchung/Informationen die genaue Ursache für eine erhöhte Ortsdosisleistung zu bestimmen. Die Verwendung von spektroskopischen Systemen können deutlich besser zwischen natürlichen Fluktuationen und künstlichen Beiträgen unterscheiden abhängig von der Energieauflösung des Systems.

## 2 Spektroskopische Detektoren

Für den großflächigen und kontinuierlichen Einsatz werden an einen Detektor verschiedenste Anforderungen gestellt:

- Wartungsarm
- Einfache Handhabung
- Geringe Unterhaltskosten
- Unempfindlich gegenüber Wetter-/Temperaturschwankungen
- Ausfallsicherheit
- Empfindlichkeit

Für einen spektroskopischen Detektor kommen noch die Anforderungen an die Energieauflösung hinzu.

Für die Gammaskopie kommen üblicherweise Halbleiterdetektoren und Szintillatoren zum Einsatz.

Bei den Halbleiterdetektoren ist der Standard hochreine Germanium Detektoren, die aber gekühlt werden müssen (um die 80 K) wodurch ihr langfristiger Einsatz im Freien aufwendig ist. Im Gegenzug erreichen Germanium Detektoren eine Energieauflösung, die um eine Größenordnung besser ist als bei anderen Systemen, die hier präsentiert werden. Ein anderes Halbleiter-Material ist (Cd,Zn)Te, das auch bei Raumtemperatur verwendet werden kann aber eine Auflösung von 2-3 % besitzt (Angaben zur Auflösung beziehen sich immer auf Cs-137 bei 662 keV). Um die Auflösung stabil zu halten muss dieser Detektor in der Temperatur stabilisiert werden [3].

Bei den Szintillatoren werden häufig NaI(Tl) oder LaBr<sub>3</sub>(Ce) als Material genommen. NaI(Tl) besitzt eine Auflösung von 7 % und LaBr<sub>3</sub>(Ce) von 3 %. Aus beiden Materialien lassen sich Kristalle mit mehreren Zentimeter Kantenlänge züchten und haben dadurch eine höhere Empfindlichkeit im Vergleich zu anderen Materialien wie (Cd,Zn)Te, die kleiner in ihren Abmessungen sind. Für den Einsatz ist keine aktive Kühlung oder Temperaturstabilisierung notwendig und somit werden hierfür notwendige mechanische und elektrische Komponenten überflüssig.

### 3 Beispiel einer Sonde zur In-Situ Umweltüberwachung

Am Beispiel eines NaI(Tl) Detektor (Typ SARA IGS710, ENVINET GmbH) wird der Einsatz einer spektroskopischen Sonde zur In-Situ Umweltüberwachung dargestellt.

#### 3.1 Beschreibung der Sonde

Die Hülle der Sonde ist ein Aluminium Gehäuse der Schutzklasse IP68 und somit für den dauerhaften Einsatz im Freien geeignet (Abb. 1). Der Detektor ist ein 1,5“ x 1,5“ NaI(Tl) Kristall (alternativ 3,0“ x 3,0“ NaI(Tl) (IGS810) oder 1,5“ x 1,5“ LaBr3(Ce) (IGS910)) dessen Lichtpulse mit einem Photomultiplier detektiert und mit einem Multi-Channel-Analyser analysiert wird. Im Detektor wird das Spektrum mittels einer konfigurierbaren Nuklid-Bibliothek ausgewertet und die Ergebnisse werden im Detektor zwischengespeichert. Die Abfrage der Daten kann mittels LAN oder über GPRS erfolgen. Da keine temperaturregulierenden Elemente vorhanden sind, ist die Leistungsaufnahme niedrig (2,5 W). Die Kompensation des Temperaturdrifts von der Energiekalibrierung erfolgt mittels des in der Natur natürlich vorkommenden Isotops K-40 bei 1460 keV.



Abb. 1: Ansicht eines In-Situ Gamma Spektrometers basierend auf einem NaI(Tl) Detektor

#### 3.2 Automatische Spektrenanalyse und Alarmierung

Die Analyse der Spektren erfolgt über die Detektion der Photopeaks und deren Vergleich mit einer Nuklidbibliothek. Da die Sonde ein Webinterface bietet, können die Nuklide und Schwellenwerte für jedes einzelne Nuklid zur Alarmierung einfach eingestellt werden (Abb. 2).



Abb. 2: Eingabeseite zur Konfiguration der Nuklidbibliothek und Schwellenwerte.

Werden Peaks im Spektrum gefunden, die nicht in der Nuklidbibliothek eingetragen sind, so werden diese als unbekannte Peaks protokolliert und auf Verletzung von eingestellten Schwellen geprüft.

Bei den Schwellenwerte können für jedes Nuklid bis zu drei unterschiedliche Schwellen definiert und mit verschiedenen Schwellenwertprüfungseinstellungen

kombiniert werden. Hierdurch lassen sich praktisch alle Alarmierungsszenarien im Falle einer detektierten künstlichen Strahlungsexposition konfigurieren.

Die Analyse bestimmt die nuklidspezifische Gamma Dosisleistung für die erkannten Nuklide/Peaks sowie die gesamte Gamma Ortsdosisleistung bezogen auf H\*(10) in  $\mu\text{Sv/h}$ .

### 3.4 Datenspeicherung und Berichterstellung

Für einen begrenzten Zeitraum speichert die Sonde Spektren und Analyseergebnisse für die verschiedenen Zeitintervalle (5/10 Minuten, 1 Stunde, 24 Stunden) auf einen internen Speicher im ANSI 42.42 Format und sichert somit die Datenverfügbarkeit auch bei einer nicht ununterbrochenen Kommunikation zwischen Sonde und Überwachungszentrale. Durch das ANSI 42.42 Format kann das Spektrum und die Ergebnisse in anderen Programmen/Datenbanken weiter verarbeitet werden. Die gespeicherten Spektren und Ergebnisse lassen sich in einem Browser durch die Benutzeroberfläche der Sonde als Bericht ausgeben (Abb. 3).

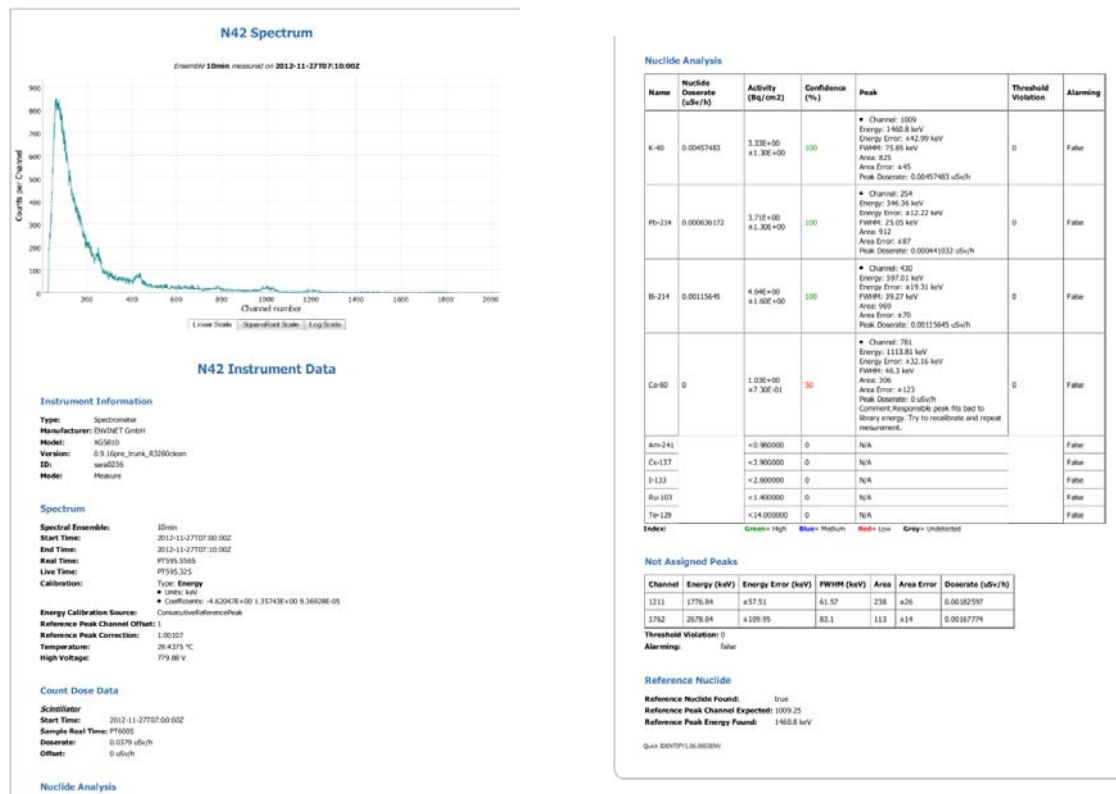


Abb. 3: Automatisch generierter Bericht durch die webbasierte Benutzeroberfläche der Sonde.

### 3.2 Langzeitmessungen

Die Sonde ist für den dauerhaften und kontinuierlichen Betrieb ausgelegt. Im dargestellten Datensatz wird gezeigt wie die Dosisleistung durch Radon-Auswaschungen aus der Atmosphäre bei Regen gut detektierbar ist und somit von künstliche Beiträge schnell und einfach zu unterscheiden ist.

Ein Vergleich zwischen einem Spektrum vor und während einem Regenereignis mit dem Anstieg der Peaks für Pb-214 und Bi-214 ist in Abb. 4 dargestellt. Die Gamma Ortsdosisleistung hat sich bei diesem Regenereignis um ca. 40 nSv/h erhöht.

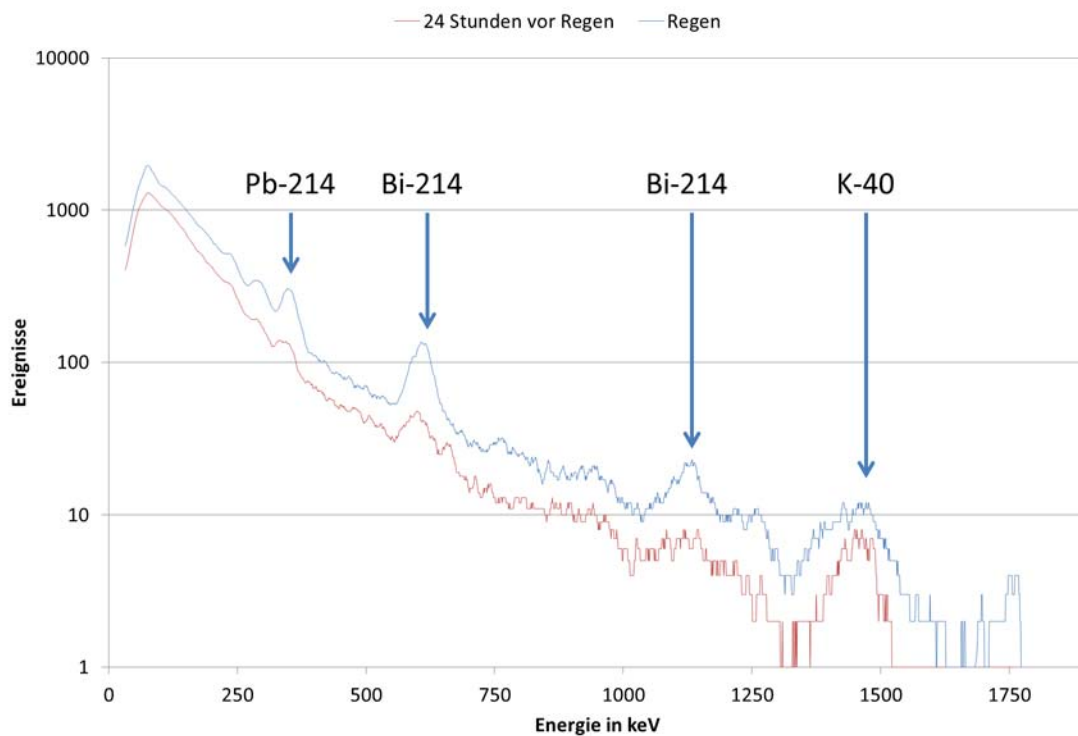


Abb. 4: Vergleich eines Spektrums bei und vor einem Regenereignis (1 Stunden Spektren).

In Abb. 5 ist auf der linken Seite das energieaufgelöste Spektrum über einen Zeitraum von 10 Monaten dargestellt. Es sind gut die Anstiege der Pb-214 und Bi-214 zu erkennen, die durch Radon-Auswaschungen aus der Atmosphäre durch Regen zustande kommen. Durch die eindeutige Signatur kann bei einem spektroskopischen Detektor Erhöhung der Ortsdosisleistung durch Regen, im Vergleich zu künstlichen Ereignissen, eindeutig identifiziert werden.



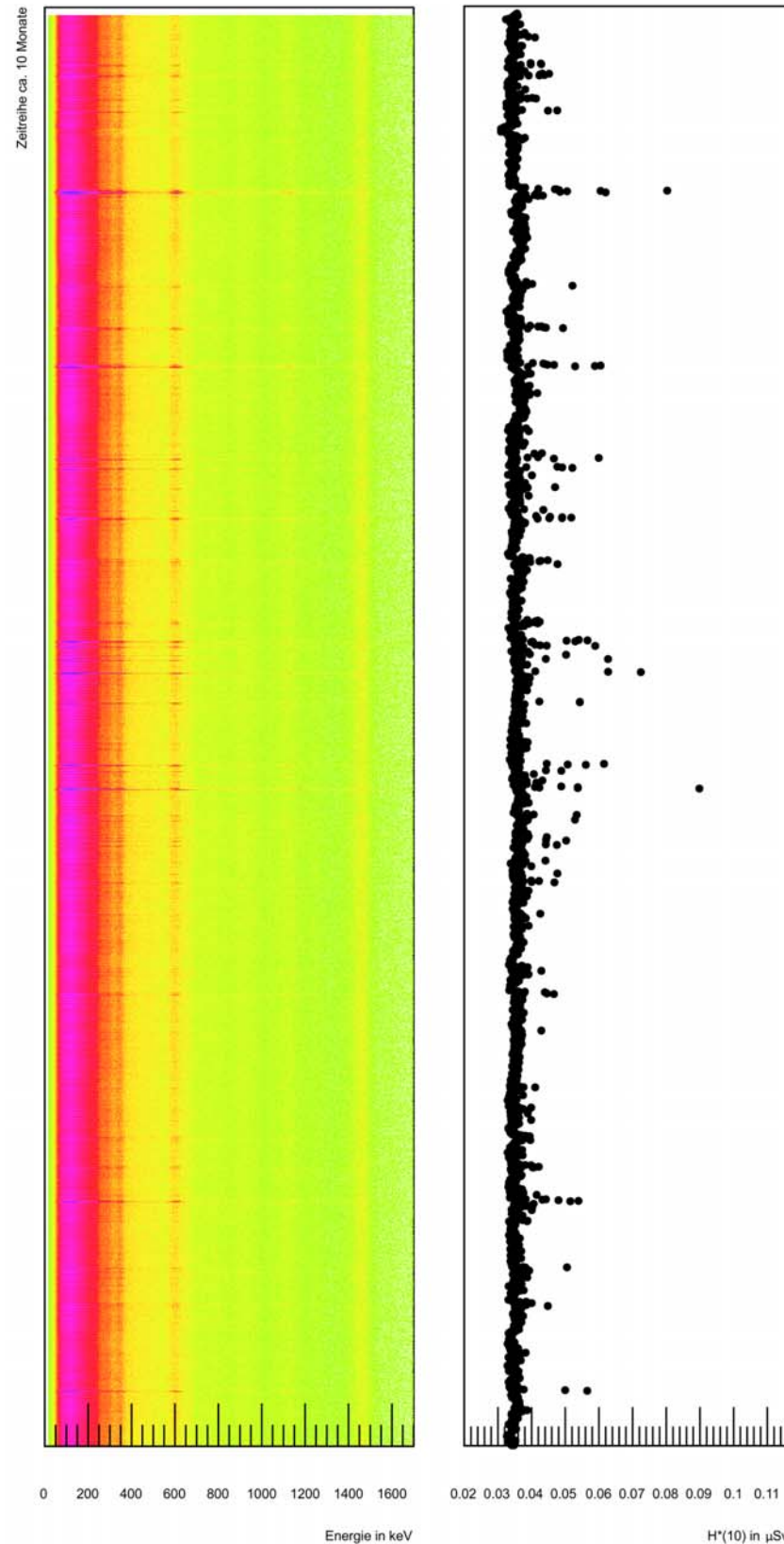


Abb. 5: Links: Spektroskopische Zeitreihe über ca. 10 Monaten (rot hohe Intensität, grün niedrige Intensität). Rechts: Gamma Ortsdosisleistung für das denselben Zeitraum.

#### 4 Schlussfolgerungen

Die Verwendung von spektroskopischen Sonden einzeln oder als Teil eines Messnetzes ermöglicht eine bessere Überwachung der vorhandenen Strahlung. Die Verwendung von NaI(Tl) Detektoren bieten durch ihre Eigenschaften der kostengünstigen Beschaffung und Unterhalts auch den Vorteil einer hohen Empfindlichkeit durch große Detektorvolumen. Durch die in der Sonde automatisierte Spektrenanalyse, Schwellenwertauswertung und Reportgenerierung ist diese für einen autonomen Betrieb in einem Messnetz geeignet. Damit lassen sich auch Messnetze mit einem größeren Anteil von spektroskopischen Sonden realisieren.

#### 5 Literatur

- [1] ODL Deutschland – Bundesamt für Strahlenschutz <http://odlinfo.bfs.de> (22.04.2013)
- [2] STUK [http://www.stuk.fi/sateilytieto/sateilytilanne/en\\_GB/sateilytilanne/](http://www.stuk.fi/sateilytieto/sateilytilanne/en_GB/sateilytilanne/) (22.04.2013)
- [3] M. Dambacher, „Entwicklung eines digitalen Detektorsystems zur spektroskopischen Überwachung der Umweltradioaktivität auf Basis von (Cd,Zn)Te Detektoren“, Dissertation Universität Freiburg (2012)

## WORKSHOP B1 „SCHNELLMETHODEN UND (NEUE) ANALYTISCHE VERFAHREN

Moderation: A. Dalheimer<sup>1</sup>, S. Schmid<sup>2</sup>

<sup>1</sup>*Deutscher Wetterdienst, Frankfurterstraße 135, 63067 Offenbach, Deutschland*

<sup>2</sup>*Bundesamt für Strahlenschutz (BfS), Freiburg, Deutschland*

### Zusammenfassung

Der Workshop war sehr gut besucht. Es wurden zwei Einführungsvorträge gehalten, wobei unter anderem ein Schnellverfahren zur Parallelmessung von Sr-89/ Sr-90 mittels Flüssigszintillationszähler (LSC, Tscherenkow-Messung) und Proportionalzähler vorgestellt wurde. Das Verfahren liefert gute Nachweisgrenzen. Diskutiert wurde die relativ große Messunsicherheit bei Vorliegen von Messwerten oberhalb der Nachweisgrenze.

Auch mit Rückblick auf die angesprochenen Themen des Workshops 2009 in Freiburg mit dem Thema „Radiochemische Trennverfahren“ können als Fazit aus dem Workshop folgende Aussagen getroffen werden:

- Säulenchromatographische Verfahren auf Basis der Triskem-Materialien haben sich für die radiochemische Abtrennung der Sr-Isotope und der Alphastrahler allgemein durchgesetzt.
- Für die Abtrennung von Strontium-Isotopen existieren mittlerweile Methoden zur Direktextraktion aus der Probenmatrix.
- Vor allem bei Aerosolproben mit hohen Luftdurchsätzen bereitet nach wie vor die Abtrennung von Po-210 Schwierigkeiten. Eine möglichst vollständige Abtrennung ist aber nötig, da dessen Alpha-Energie im Bereich der Nuklide Pu-239/240 sowie des Tracers U-232 liegt, und somit die Qualität der Messergebnisse stark beeinflussen kann.
- Ein besonders zeitkritischer und bei vielen Matrices bezüglich der Konditionen kritischer Schritt bleibt die Veraschung der jeweiligen Probenmatrix.
- Ein Problem stellen die in vielen Laboratorien immer knapper werdenden Personalressourcen dar.

Es wurde diskutiert, ob eine Tracerzugabe vor oder nach der Veraschung erfolgen sollte, da dies möglicherweise einen Einfluss auf die Ausbeutebestimmung hat. Diese Frage konnte aber abschließend nicht geklärt werden.

Ziel von Schnellmethoden ist im Allgemeinen das Vorliegen eines Messergebnisses am Tag nach dem Probeneingang im Labor. Der Einsatz von besonderen Schnellmethoden für den Intensivbetrieb bringt allerdings einen erhöhten Dokumentations- und Trainingsaufwand gegenüber modifizierten Routinemethoden mit sich.

Auch unter dem Gesichtspunkt allgemein knapper werdender Personalressourcen wurde diskutiert, in wieweit routinemäßig eingesetzte Verfahren im Ereignisfall soweit modifiziert werden können, dass ein eigenständiges Verfahren für den Intensivbetrieb überflüssig wird.

## **RADIOCHEMISCHE ANALYSE VON SCHWEBSTOFFFILTER- UND NIEDERSCHLAGSPROBEN IM DEUTSCHEN WETTERDIENST**

### **RADIOCHEMICAL ANALYSIS OF AEROSOL FILTERS AND PRECIPITATION SAMPLES BY THE GERMAN WEATHER SERVICE**

A. Dalheimer, H. Diedrich-Roesch

*Deutscher Wetterdienst, Frankfurterstraße 135, 63067 Offenbach, Deutschland*

#### **Zusammenfassung**

Der Deutsche Wetterdienst (DWD) führt routinemäßig Untersuchungen von Luft- und Niederschlagsproben auf die Isotope U-234, U-235, U-238, Am-241, Pu-238, Pu-239/240 sowie auf Sr-89 und Sr-90 durch. In dem vorgestellten Verfahren erfolgt die Abtrennung der Alphastrahler und der Strontium-Isotope aus derselben Probe mittels eines mehrstufigen Extraktionschromatographieverfahrens. Alphastrahlende Nuklide werden nach elektrolytischer Abscheidung alphaspektrometrisch gemessen, Sr-89 und Sr-90 werden simultan mit einem 3-Fenster-LSC-Verfahren bestimmt. Das Verfahren wird im DWD sowohl im Routinebetrieb, als auch, mit geringen Modifikationen, im Intensivbetrieb eingesetzt.

#### **Summary**

The German Weather Service routinely analyses air and precipitation samples for the isotopes U-234, U-235, U-238, Am-241, Pu-238, Pu-239/240, Sr-89 and Sr-90. In the presented method, the separation of alpha emitters and strontium isotopes from the same sample is done by a multi-stage extraction chromatography procedure. Alpha-emitting nuclides are electrodeposited and measured by alpha spectrometry, Sr-89 and Sr-90 will be simultaneously determined using a three-window LSC-method. The analysis procedure is used in routine operation, as well, with minor modifications in the intensive operation.

#### **1 Einleitung**

Der Deutsche Wetterdienst hat den gesetzlichen Auftrag, Luft und Niederschlag auf radioaktive Beimengungen zu untersuchen. Zu diesem Zweck wird ein bundesweites Messnetz von 48 Stationen betrieben. An 41 Stationen werden Proben von Schwebstofffiltern und Niederschlag entnommen. Alle Proben werden gammaspektrometrisch gemessen. Ein Teil dieser Proben wird nach der Gammaskpektrometrie mit einem radiochemischen Trennungsgang auf die Isotope U-234, U-235, U-238, Am-241, Pu-238, Pu-239/240 sowie auf Sr-89 und Sr-90 untersucht.

#### **2 Probenaufbereitung**

Die Aerosolfilter werden in High-Volume-Sammlern über einen Zeitraum von einer Woche beaufschlagt. Die Luftdurchsätze pro Woche liegen typischerweise bei ca.

150.000 m<sup>3</sup>. Nach gammaspektrometrischer Messung werden die Filter 5 h in einem Mikrowellen-Muffelofen bei einer Temperatur von 700 °C verascht. Die Asche der Filter eines Monats wird mit Tracerlösung versetzt und mit 5 M HNO<sub>3</sub> in einem Mikrowellen-Autoklav bei 230 °C und einem Druck von 100 bar 2h ausgelaugt.

Niederschlagsproben werden über einen Zeitraum von einem Monat gesammelt und bis zur Trockne eingedampft. Der Eindampfrückstand wird wie die Filterasche mit 5 M HNO<sub>3</sub> ausgelaugt.

## 2.1 Radiochemischer Trennungsgang

Der Trennungsgang beruht im Kern auf der Festphasen-Extraktionschromatographie mittels der Extraktions-Harze der Firma TRISKEM International. In Abbildung 1 ist das Verfahren schematisch dargestellt.

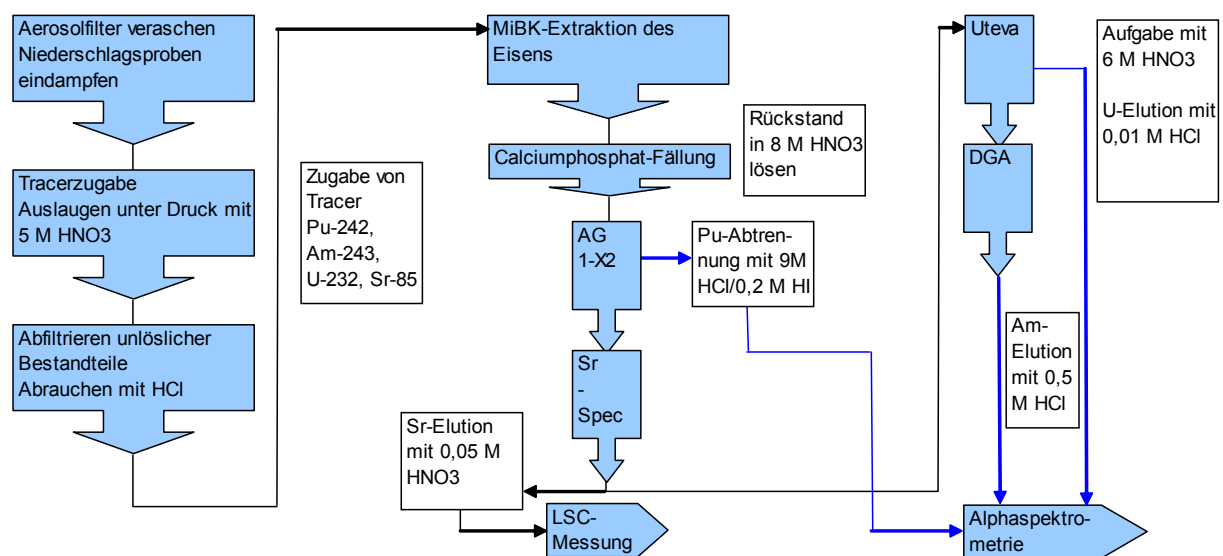


Abb. 1: Schematische Darstellung des radiochemischen Trennungsgangs

Nach der Auslaugung werden unlösliche Bestandteile abfiltriert und die salpetersauren Filtrate durch Abrauchen mit HCl in die Chloride überführt. Überschüssiges Eisen wird durch Extraktion mit Methyl-Isobutyl-Keton (MiBK) entfernt. Zur Anreicherung der Aktiniden wird anschließend eine Calciumphosphat-Fällung durchgeführt. Der Fällungsrückstand wird in 8 M HNO<sub>3</sub> aufgenommen. Die so erhaltene Lösung durchläuft zuerst die AG 1-X2 Ionenaustauschersäule und direkt im Anschluss die SrSpec-Säule. Die Pu-Isotope verbleiben auf der AG 1-X2-Säule, die Sr-Isotope auf der SrSpec-Säule. Das Eluat der kombinierten Säulen, das noch die U- und Am-Isotope enthält, wird zur Trockne eingedampft, in 6 M HNO<sub>3</sub> aufgenommen und auf eine UTEVA/DGA-Säulenkombination aufgegeben. Die U-Isotope verbleiben auf der UTEVA-Säule, die Am-Isotope auf der DGA-Säule.

Nach der Probenaufgabe werden die Säulenkombinationen AG 1-X2/SrSpec und UTEVA/DGA getrennt und einzeln weiterbearbeitet.

AG 1-X2: Das Th wird mit 10 M HCl heruntergewaschen; anschließend wird Pu mit 9 M HCl/0,2 M HI eluiert.

SrSpec: Die Elution des Sr erfolgt mit verdünnter  $\text{HNO}_3$ .

UTEVA: Eventuell noch vorhandene Verunreinigungen von Th oder Pu werden mit einigen Waschschritten entfernt. Die Elution der U-Isotope erfolgt mit verdünnter HCl.

DGA: Nach einigen Waschschritten zur Entfernung noch vorhandener SE wird das Am mit verdünnter HCl eluiert.

Die Alphastrahler werden elektrolytisch auf Edelstahl-Planchets abgeschieden und anschließend alphaspektrometrisch gemessen.

## 2.2 Messung und Auswertung

Die Messung der Sr-Präparate erfolgt nach der 3-Fenster-LSC-Methode wie in [1] beschrieben. Im Routinebetrieb werden 10 Messungen von je 100 Minuten durchgeführt. Die Auswertung erfolgt nach den Vorgaben der ISO 11929 [2] mit dem Programm UncertRadio [3], das als Download beim Thünen-Institut ([www.ti.bund.de](http://www.ti.bund.de)) verfügbar ist. Im Routinebetrieb werden typischerweise Nachweisgrenzen von 0,3 - 0,6  $\mu\text{Bq}/\text{m}^3$  bei Luftfiltern und 0,7 - 2,7 mBq/L im Niederschlag erreicht.

Die Alpha-Präparate werden je 48h gemessen und die Spektren ebenfalls ISO-konform ausgewertet. Die erreichbaren Nachweisgrenzen liegen zwischen 7,2 und ca. 70  $\mu\text{Bq}/\text{L}$  für Niederschlagsproben und 1,7 bis 14,3 nBq/ $\text{m}^3$  für Aerosolfilter.

## 3 Zeitbedarf in Normal- und Intensivbetrieb

Die Methode ist mit kleinen Modifikationen bei der Probenaufbereitung und verkürzten Messzeiten auch als Schnellmethode für den Intensivbetrieb geeignet.

Das Ziel von Schnellmethoden ist in der Regel, dass ein Messwert einen Tag nach Eingang der Probe im Labor vorliegen soll. Um dies bei der beschriebenen Methode zu erreichen, können die Messzeiten im Intensivbetrieb auf 3 h reduziert werden. Bei Aerosolfiltern kann nicht auf die zeitaufwändige Veraschung verzichtet werden, wogegen bei Niederschlagsproben auf das Eindampfen verzichtet werden kann, so dass ein zusätzlicher Zeitgewinn erreicht wird. Damit die einzelnen Arbeitsschritte direkt aufeinander folgen können, muss allerdings ein kontinuierlicher Betrieb im Labor organisiert werden.

*Tabelle 1: Zeitbedarf in Routine- und Intensivbetrieb (Beispiel Pu auf Aerosolfilter)*

Arbeitsschritt	Zeitbedarf Normalbetrieb	Zeitbedarf Intensivbetrieb
Veraschung	5,5 h	5,5 h
Auslaugung		
Trennungsgang	36,0 h	13,0 h
Messung/Auswertung	48,0 h	3,5 h
Gesamtdauer	89,5 h	22,0 h

Die Nachweisgrenzen verschlechtern sich durch die kürzeren Messzeiten und die geringeren Probenvolumina um etwa den Faktor 1000, erreichen aber die von der

AVV-IMIS [4] für den Intensivbetrieb geforderten Werte. Die chemischen Ausbeuten werden sogar etwas besser, da der Matrixanteil in den Proben geringer ist.

#### 4 Schlussfolgerungen

Die vorliegende Methode eignet sich für den flexiblen Einsatz sowohl im Normal- als auch im Intensivbetrieb. Der große Vorteil besteht darin, dass die Methode im täglichen Betrieb eingeübt wird und bei Bedarf nur mit geringen Änderungen bei der Probenvorbereitung und bei den Messzeiten für den Intensivbetrieb angewandt werden kann. Es müssen keine zusätzlichen Geräte oder Chemikalien vorgehalten werden; lediglich die Arbeitsorganisation muss in einem Intensivbetrieb angepasst werden.

#### 5 Literatur

- [1] Fachverband für Strahlenschutz, Moderne Routine- und Schnellmethoden zur Bestimmung von Sr-89 und Sr-90 bei der Umweltüberwachung, Fortschritte im Strahlenschutz (2008) p. 160.
- [2] ISO, Bestimmung der charakteristischen Grenzen (Erkennungsgrenze, Nachweisgrenze und Grenzen des Vertrauensbereichs) bei Messungen ionisierender Strahlung Grundlagen und Anwendungen, ISO, Genf (2011).
- [3] BMU, Messanleitungen für die Überwachung radioaktiver Stoffe in der Umwelt und externer Strahlung, Allgemeine Kapitel, [UncertRadio](#).
- [4] Allgemeine Verwaltungsvorschrift zum Integrierten Mess- und Informationssystem zur Überwachung der Radioaktivität in der Umwelt (IMIS) nach dem Strahlenschutzvorsorgegesetz (AVV-IMIS) vom 13. Dezember 2006, BAnz. 244a vom 29.12.2006

## **SCHNELLE BESTIMMUNG VON STRONTIUM-89 UND STRONTIUM-90 MITTELS SIMULTANER CERENKOV- UND PROPORTIONALZÄHLROHRMESSUNG**

### **FAST DETERMINATION OF STRONTIUM-89 AND STRONTIUM-90 BY SIMULTANEOUS CERENCOV- AND PROPORTIONAL-COUNTING**

Karin Laerbusch und Claus Wiezorek  
*Chemisches und Veterinäruntersuchungsamt MEL, Münster (Westf.)*

#### **Zusammenfassung**

Die hier präsentierte Methode zur simultanen Bestimmung von Sr-89 und Sr-90 kombiniert die Cerenkov-Messung (C) mit einer Proportionalzählrohr(Low-Level)-Messung (L). Dabei wird der Vorteil der sehr niedrigen Nachweisgrenze bei der Proportionalzählrohrtechnik genutzt. Außerdem führt die Parallelmessung an zwei verschiedenen Geräten zu weniger Engpässen.

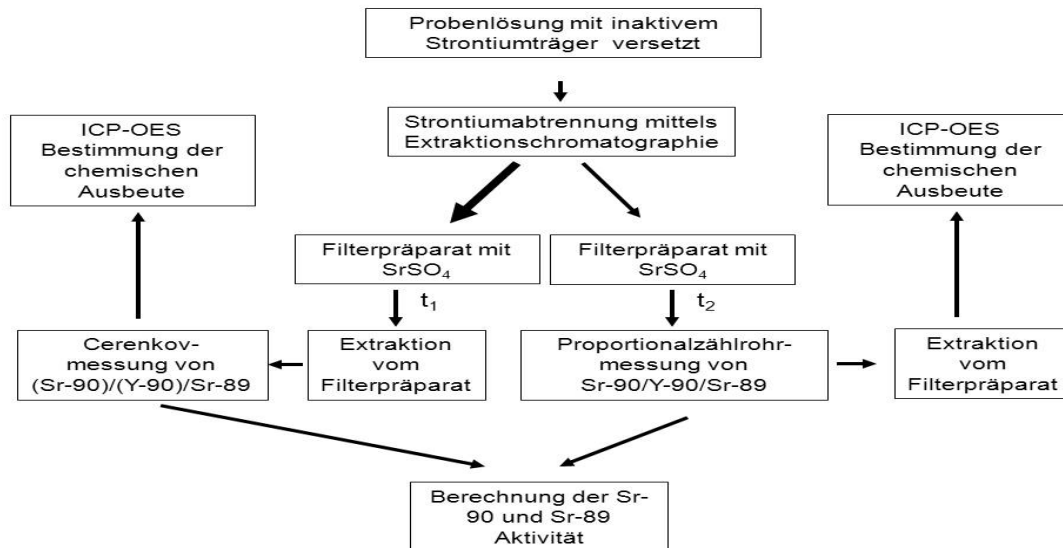
#### **Summary**

The presented method for simultaneous determination of Sr 89 and Sr90 combines the techniques of Cerenkov- and Proportional-Counting. Due to the low limit of detection of the latter technique, the method is very sensitive for the total radiostrontium. The distribution among two measurement devices offers the advantage of time saving.

#### **Methodik**

Die Methode ist anwendbar auf Wasser, Lebensmittel, Futtermittel und Umweltproben. Der Ablauf nach Trocknung, Veraschung und Lösung ist im folgenden Flussdiagramm beschrieben. Die Stärke der Pfeile symbolisiert den Probenanteil der dem entsprechenden Analysenzweig zugeführt wurde (Verhältnis C:L = 2,8:1), um den Unterschied in der Nachweisempfindlichkeit auszugleichen:





### Auswertung

Die Berechnung der Aktivitäten  $A$  erfolgt aus den Cerenkov- (C) bzw. Proportionalzählrohrmessungen (L) mit den entsprechenden Zählraten  $N$ , Messausbeuten  $\epsilon$ , chemischen Ausbeuten  $\eta$  und Y-90 Erbrütungen  $B_{t1}$  und  $B_{t2}$  in der Zeit zwischen Präparatherstellung und Mitte der Messzeiten:

$$N_C = \eta_C (A_{Sr89} \cdot \epsilon_{Sr89C} + A_{Sr90} \cdot \epsilon_{Sr90C} + A_{Y90} \cdot \epsilon_{Y90C})$$

$$N_L = \eta_L (A_{Sr89} \cdot \epsilon_{Sr89L} + A_{Sr90} \cdot \epsilon_{Sr90L} + A_{Y90} \cdot \epsilon_{Y90L})$$

$$A_{Sr89} = \frac{N_C / \eta_C - A_{Sr90} (B_{t1} \cdot \epsilon_{Y90C} + \epsilon_{Sr90C})}{\epsilon_{Sr89C}}$$

$$A_{Sr90} = \frac{\epsilon_{Sr89C} \cdot N_L / \eta_L - \epsilon_{Sr89L} \cdot N_C / \eta_C}{\epsilon_{Sr90L} \cdot \epsilon_{Sr89C} - B_{t1} \cdot \epsilon_{Y90C} \cdot \epsilon_{Sr89L} - \epsilon_{Sr90C} \cdot \epsilon_{Sr89L} + B_{t2} \cdot \epsilon_{Y90L} \cdot \epsilon_{Sr89C}}$$

Erste Messungen an Sr-89/Sr-90 Testlösungen zeigten unter Berücksichtigung der Messunsicherheiten gute bis zufriedenstellende Wiederfindungen der eingesetzten Aktivitäten:

10 Bq/L Sr-89 / 10 Bq/L Sr-90		2 Bq/L Sr-89 / 20 Bq/L Sr-90	
Sr-89 [Bq/L]	Sr-90 [Bq/L]	Sr-89 [Bq/L]	Sr-90 [Bq/L]
9,9	10,7	1,9	22,6
±12%	±12%	±15%	±11%

An diesen Testlösungen wurden bei Messzeiten von 1 Stunde Nachweisgrenzen von 0,002 Bq/L für Radiostrontium (ohne Differenzierung) erreicht. Die Nachweisgrenzen bei Unterscheidung der beiden Isotope betragen bei dem o.g. Verzweigungsverhältnis von 2,8:1 entsprechend 0,06 Bq/L (Sr-89) und 0,09 Bq/L (Sr-90).

# Maßnahmen des Qualitätsmanagementsystems

## Vorträge

**Sitzungsleitung:** Hr. Wershofen, Fr. Bieringer

<b>Zusammenfassung der Sitzung .....</b>	<b>249</b>
Ringversuche "Abwasser aus kerntechnischen Anlagen" <i>I. Krol, Ch. Hohmann, M. Bräuer, P. Radke .....</i>	<i>251</i>
Vergleichsprüfung mit Spinatpulver als Probenart für umweltrelevante Nuklide <i>N. Roos, D. Tait .....</i>	<i>258</i>
Nucleonica: Web-based Software Tools for Simulation and Analysis <i>J. Magill, R. Dreher, Z. Soti .....</i>	<i>268</i>

## Poster

Qualitätssicherung bei der Edalgasspurenanalyse <i>S. Schmid, H. Gohla, M. Konrad, T. Kumberg, C. Schlosser .....</i>	<i>276</i>
--	------------

## Workshop C1

**Moderation:** Hr. Lieser, Fr. Sandtner

Schulungen, Workshops, Tutorial im Bereich IMIS/Notfallschutzsysteme – Angebote, Erfahrungen, Erkenntnisse, weitere Planungen, Anforderungen <i>J. Lieser, I. Strilek .....</i>	<i>283</i>
Akkreditierung von Messstellen - muss das sein? <i>Claus Wiezorek, Susanne Sandtner .....</i>	<i>284</i>

## **SITZUNG „MASSNAHMEN DES QUALITÄTSMANAGEMENTSYSTEMS“**

Sitzungsleitung: **Hr. Wershofen, Fr. Bieringer**  
*Mittwoch, 6.3.2013, 11:30 - 12:30*

### **Zusammenfassung**

Frau Krol (BfS) berichtet im ersten Beitrag über Ringversuche zur Bestimmung der Aktivitätskonzentrationen von Radionukliden im Abwasser. Diese sind Bestandteil der externen Qualitätssicherung, die in der Richtlinie zur "Kontrolle der Eigenüberwachung radioaktiver Emissionen aus Kernkraftwerken" gefordert wird. Sie werden vom BfS seit 1978 jährlich in Zusammenarbeit mit der PTB durchgeführt. Der Teilnehmerkreis besteht zu 50 % aus Betreibern, zu 25 % aus beauftragten Sachverständigen (z. B. Landesmessstellen) sowie zu 25 % aus ausländischen Teilnehmern.

Zu analysieren sind jeweils eine Modell- und eine Realabwasserprobe. Im Modellabwasser sind durch Dotierung immer die Leitnuklide Co-60 und Cs-137 vorhanden, weitere Nuklide werden abwechselnd beigemischt. Die Realwasserprobe wird einem Übergabebehälter einer deutschen kerntechnischen Anlage entnommen, darin liegen die zu bestimmenden Aktivitätskonzentrationen teilweise im Bereich der Nachweisgrenzen.

Die statistische Auswertung der nuklidbezogenen Einzelmesswerte erfolgt mit Hilfe eines eigenen Programms auf der Grundlage der Norm DIN 38 402, Teil 42 (Auswertung von Ringversuchen). Die Auswertungen zeigen, dass sich die Qualität der Analysen bereits auf einem sehr hohen Niveau befindet, die regelmäßigen Ringversuche und die anschließender Diskussion mit den Teilnehmern führen weiterhin zu einer ständigen Verbesserung.

Herr Roos (MRI) stellt in seinem Beitrag eine Vergleichsprüfung mit Spinatpulver als Probenart für umweltrelevante Nuklide vor. Spinat ist laut AVV-IMIS ein Beispiel eines repräsentativen Umweltmediums für Blattgemüse. Für einen Ringversuch ist frischer Spinat allerdings nicht geeignet, da eine homogene Dotierung mit Radionukliden kaum möglich ist. Dies kann jedoch durch die Verwendung von Spinatpulver aus getrocknetem Spinat umgangen werden.

Für diesen Ringversuch wurde das Spinatpulver mit Sr-90 sowie I-131, Cs-134 und Cs-137 versetzt. Die Aktivitäten der Nuklide in den Proben betragen etwa 100 Bq/kg Sr-90, ca.180 Bq/kg I-131, 30 Bq/kg Cs-134 und 10 Bq/kg Cs-137, jeweils bezogen auf die Trockenmasse. Die Überprüfung der Homogenität wurde anhand von 14 Proben durchgeführt. An dem Ringversuch beteiligten sich 77 Laboratorien aus dem In- und europäischen Ausland. Neben den zugesetzten Nukliden sollten die Teilnehmer das natürliche Nuklid K-40 bestimmen. Für die Ermittlung der Trockenmasse wurde eine Schnellmethode vorgeschrieben. Hier gab es bei den Ergebnissen unerwartete Abweichungen bzw. Ausreißer. Der Gehalt an I-131 wurde in der Regel recht gut bestimmt, für die anderen gammastrahlenden Radionuklide

lagen die Werte tendenziell niedriger als der Sollwert. Die Ursachen dafür dürften in den komplexen Korrekturenrechnungen liegen, mit denen Summations- und Selbstabsorptionseffekte bei der gammaspektrometrischen Messung liegen, für die genaue und exakt reproduzierbare Eingangsdaten erforderlich sind. Bei der Sr-90-Bestimmung wurde der Labormittelwert zum Vergleich herangezogen, hier gab es nur wenige Ausreißer.

Ein wesentliches Ergebnis der anschließenden Diskussion ist, dass für die Erprobung des Ereignisfalls bei zukünftigen Ringversuchen die gemeinsame Dotierung von Ringversuchsmaterialien mit Sr-89 und Sr-90 angestrebt wird.

Im letzten Beitrag der Sitzung stellt Herr Magill das Software-Paket „Nucleonica“ vor. Ausgangspunkt der Entwicklung war die Karlsruher Nuklidkarte, die in einer ersten Version in elektronischer Form zur Verfügung gestellt wurde, jedoch noch keine tiefer gehende Interaktion ermöglichte. Inzwischen bietet „Nucleonica“ eine internetbasierte Sammlung von Werkzeugen aus dem Bereich kernphysikalischer Fragestellungen. So steht z. B. die Nuklidkarte mit interaktiven Links zur selektiven Suche zur Verfügung, die Informationen zu Kern- und Zerfallsdaten schnell zugänglich machen. Es können z. B. Aktivitäten in Zerfallsketten, der Aktivitätsverlauf als Funktion der Zeit von Nuklidmischungen berechnet werden, Gammaspektren mit und ohne Abschirmung für HPGe- und NaI-Detektoren können simuliert werden. Im Bereich der Dosimetrie sind Berechnungen mit und ohne Abschirmung möglich. Zahlreiche weitere Anwendungen sind implementiert. Mittlerweile gibt es bereits entsprechende Tools zur Nutzung von „Nucleonica“ mit Tablet-PCs und Smartphones. Im Rahmen von Trainingskursen wird der Umgang mit „Nucleonica“ vermittelt (Internet: [www.nucleonica.net](http://www.nucleonica.net)).

## **RINGVERSUCHE "ABWASSER AUS KERNTÉCHNISCHEN ANLAGEN"**

### **ROUND ROBIN TESTS "WASTE WATER FROM NUCLEAR INSTALLATIONS"**

I. Krol, Ch. Hohmann, M. Bräuer, P. Radke  
*Bundesamt für Strahlenschutz, Dienststelle Berlin, Deutschland*

#### **Zusammenfassung**

Seit 35 Jahren wird in Deutschland der Ringversuch „Abwasser aus kerntechnischen Anlagen“ in Zusammenarbeit mit der Physikalisch-Technischen Bundesanstalt durchgeführt. Die Teilnahme ist ein wichtiger Bestandteil der externen Qualitätssicherung für die Labore der Betreiber kerntechnischer Anlagen und beauftragter Sachverständiger. Die Ergebnisse der Ringversuche dokumentieren die gute Laborpraxis und die Anwendung moderner Methoden bei der Bestimmung von Aktivitätskonzentrationen von Radionukliden in Abwasserproben aus kerntechnischen Anlagen. Bei Vergleichsmessungen, die im Rahmen der Richtlinie zur "Kontrolle der Eigenüberwachung radioaktiver Emissionen aus Kernkraftwerken" durchgeführt werden, wird zur Beurteilung der Übereinstimmung von Analysenwerten die Vergleichbarkeit aus der statistischen Auswertung der jährlichen Ringversuche herangezogen.

#### **Summary**

For 35 years round robin tests "Waste water from nuclear installations" have been carried out in collaboration with the Physical Technical Federal Office in Germany. The participation is an important tool of external quality assurance for the laboratories of nuclear installations and commissioned official experts. The results demonstrate the good praxis in laboratories and the use of modern methods for the determination of activity concentrations of radio nuclides in waste water samples of nuclear installations. To compare measurements, which are carrying out in context of the "Surveillance of radioactive emissions from nuclear power plants", the reproducibility from the statistical analysis of the annual round robin tests is used for evaluation of conformability of analysis values.

#### **1 Einführung**

Die Richtlinie zur "Kontrolle der Eigenüberwachung radioaktiver Emissionen aus Kernkraftwerken" sieht im Rahmen der laborexternen Qualitätskontrolle neben einem Routinemessprogramm auch die Durchführung von Ringversuchen zur Bestimmung der Aktivitätskonzentrationen von Radionukliden in Abwasserproben vor [1]. Dieser jährlich bis 1992 vom Bundesgesundheitsamt (BGA) in Zusammenarbeit mit der Physikalisch-Technischen Bundesanstalt (PTB) durchgeführte Ringversuch ging mit der Übertragung der Thematik "Überwachung der Emissionen radioaktiver Stoffe über

Abwasser aus kerntechnischen Anlagen" 1993 vom BGA an das Bundesamt für Strahlenschutz (BfS) über.

## 2 Ziele und Durchführung der Ringversuche

Gemäß der Richtlinie zur "Kontrolle der Eigenüberwachung radioaktiver Emissionen aus Kernkraftwerken" müssen an diesem Ringversuch sowohl die Betreiber kerntechnischer Anlagen als auch die von den zuständigen Behörden beauftragten Sachverständigen, d.h. Landesmessstellen oder sonstige Institutionen, die Aktivitätsmessungen an Abwasserproben ausführen, teilnehmen. Zusätzlich zu diesem Teilnehmerkreis beteiligen sich seit vielen Jahren auch die Betreiber von ausländischen Kernkraftwerken, in deren Staaten derartige Ringversuche nicht angeboten werden.

Die Zielstellung des Ringversuches besteht hauptsächlich darin, den teilnehmenden Laboratorien Hinweise auf mögliche systematische Fehler bei der Aktivitätsmessung, Kalibrierung und chemischen Probenaufbereitung geben zu können. Der Ringversuch ist ein Instrument zur Qualitätskontrolle der einzelnen Laboratorien, mit dem der Stand der angewendeten Bestimmungsmethoden und Messtechnik dokumentiert wird. Dazu werden Proben analysiert, die Radionuklide enthalten, die bei der Überwachung radioaktiver Emissionen mit dem Abwasser aus Kernkraftwerken von Bedeutung sind [4].

Jeder Teilnehmer des Ringversuches erhält jeweils eine Modell- und eine Realabwasserprobe zur Analyse. Abbildung 1 zeigt am Beispiel des Modellwassers, wie oft (Anzahl in der Legende in Klammern angeführt) welche Radionuklide in welchen Aktivitätskonzentrationen zur Bestimmung angeboten wurden.

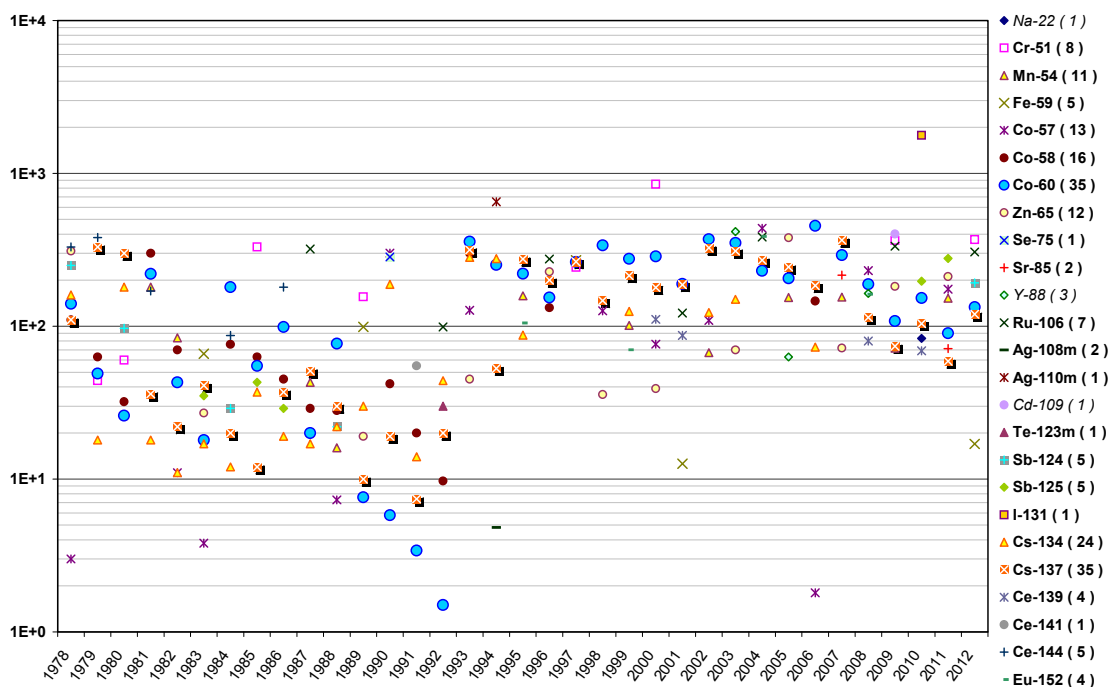


Abb. 1: Gesamtmittelwerte der Aktivitätskonzentration von Gammastrahlern in Modellwasserproben der jährlichen Ringversuche

Während das Modellabwasser künstlich durch Kontamination inaktiven Wassers mit bekannten Radionukliden und Aktivitäten hergestellt wird, wird das reale Abwasser aus einem Übergabebehälter einer deutschen kerntechnischen Anlage entnommen.

### 3 Statistische Auswertung

Die statistische Auswertung der nuklidbezogenen Einzelwerte der am Ringversuch teilnehmenden Labore erfolgt auf der Grundlage der Norm DIN 38 402, Teil 42 [2]. Der Ablauf ist schematisch in Abbildung 2 dargestellt. Dabei werden diejenigen Analysenwerte, die den Kriterien für die Definition der Ausreißertypen 1, 2 und 3 entsprechen, ermittelt. Bei der anschließenden Berechnung der statistischen Kenndaten für das jeweilige Radionuklid bleiben diese Werte unberücksichtigt.

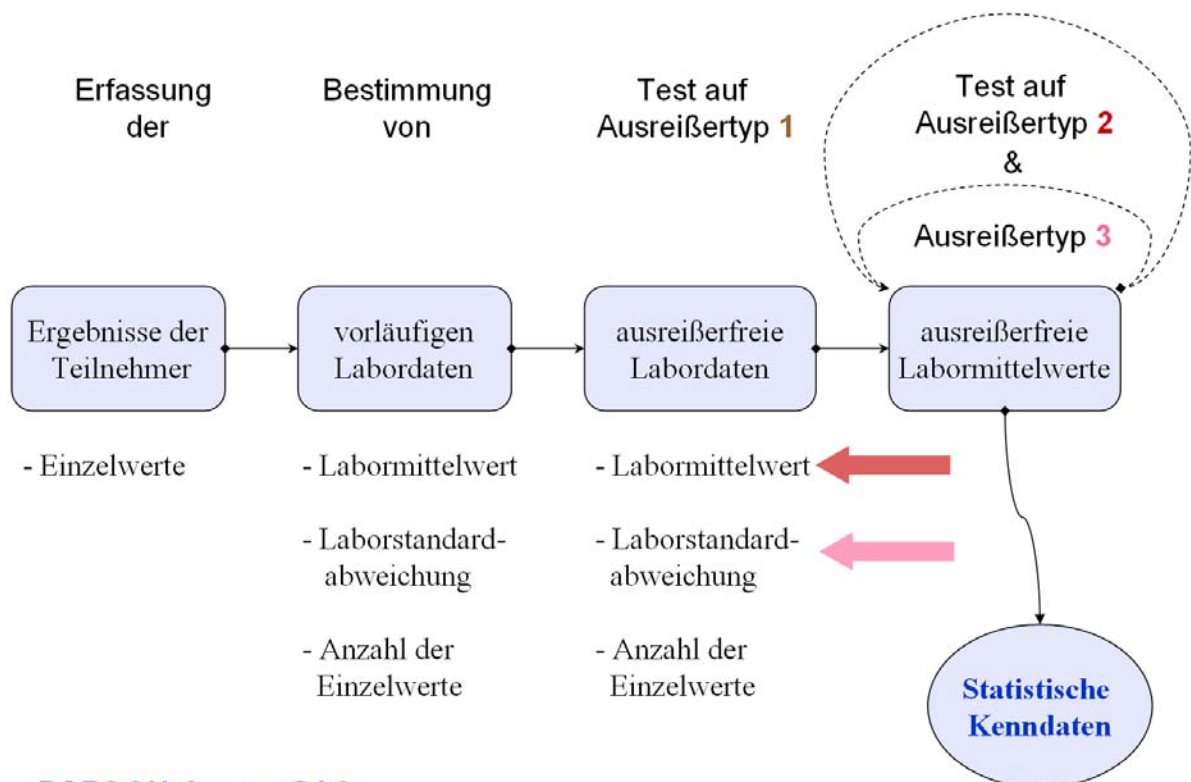


Abb. 2: Statistische Auswertung der Daten nach der Norm DIN 38402, Teil 42

Für jedes Radionuklid werden der Gesamtmittelwert, die Vergleichsstandardabweichung bzw. der sich daraus ergebende Streubereich mit einer statistischen Sicherheit von 95 %, die Vergleichbarkeit sowie die Wiederholbarkeit und - falls ein Sollwert vorhanden ist - die prozentuale Abweichung des Gesamtmittelwertes vom Sollwert berechnet.

### 4 Vergleichbarkeit – ein Kriterium zur Beurteilung von Analyseergebnissen

Während die Wiederholbarkeit ein Maß für die mittlere erreichbare Übereinstimmung von Ergebnissen bei Parallelbestimmungen in einem einzelnen Labor darstellt, wird die Vergleichbarkeit zur Einschätzung der Genauigkeit von Ergebnissen, die an ein und derselben Probe in unterschiedlichen Laboratorien unter verschiedenen

Bedingungen bestimmt wurden, herangezogen. Sie dient bei Vergleichsmessungen, die im Rahmen der Richtlinie zur "Kontrolle der Eigenüberwachung radioaktiver Emissionen aus Kernkraftwerken" durchgeführt werden, als entscheidende Größe, um zu beurteilen, ob zwei Analysenwerte als übereinstimmend bezeichnet werden können [5].

Die Vergleichbarkeit wird sowohl beeinflusst durch die angewendeten Bestimmungsmethoden und verwendeten Messgeräte als auch durch die Qualifikation des Personals. Bei Aktivitätsmessverfahren hängt die Vergleichbarkeit insbesondere von dem untersuchten Radionuklid bzw. der Radionuklidgruppe und der Aktivitätskonzentration ab. Zusätzlich können weitere Faktoren Einfluss haben:

- Physikalische und chemische Eigenschaften der Probe,
- Homogenität und zeitliche Stabilität der Probe,
- Chemische Ausbeute und Messunsicherheiten,
- Messgeometrien, Untergrund- und Nettozählraten sowie Messzeiten,
- Auswertprogramme.

Aus den jährlich von 1978 bis 1995 durchgeführten Ringversuchen liegt eine Vielzahl von Ergebnissen vor, aus denen für einzelne Radionuklide bzw. Radionuklidgruppen eine funktionale Abhängigkeit der Vergleichbarkeit  $R$  von der Aktivitätskonzentration  $a$  ermittelt wurde (siehe Abbildung 3). Hierbei bestimmen eine Konstante  $k_1$  im unteren und ein Faktor  $k_3$  im oberen Aktivitätskonzentrationsbereich den Wert der Vergleichbarkeit. Mögliche geringe Kontaminationen durch andere Proben und die jeweilige Nachweisgrenze der Bestimmungsmethode verhindern, dass die Vergleichbarkeit bei sehr geringen Aktivitätskonzentrationen unter einen konstanten Wert sinkt. Bei hohen Konzentrationen hingegen bestimmt der lineare Faktor, der die systematischen Unsicherheiten der Bestimmung repräsentiert, ausschließlich den Wert der Vergleichbarkeit. Die zählstatistischen Unsicherheiten werden durch den Faktor  $k_2$  berücksichtigt.

$$R(a) = k_1 + k_2 \cdot \sqrt{a} + k_3 \cdot a$$

*Abb. 3: Berechnung der Vergleichbarkeit aus der Aktivitätskonzentration*

Abbildung 4 zeigt, dass die Werte der Vergleichbarkeit, die aus den Ringversuchen der Jahre 1996 bis 2011 aus der Gruppe der Gammastrahler berechnet wurden, überwiegend deutlich unterhalb der 1995 aus Ringversuchen der Jahre 1978 bis 1995 berechneten Vergleichbarkeit (rote Kurve in der Abbildung) liegen. Die Durchführung des jährlichen Ringversuches mit anschließender Diskussion der Ergebnisse mit den Teilnehmern hat somit sichtbar zu einer Anhebung der Qualität der Analysen und einer besseren Vergleichbarkeit der Analyseergebnisse geführt.



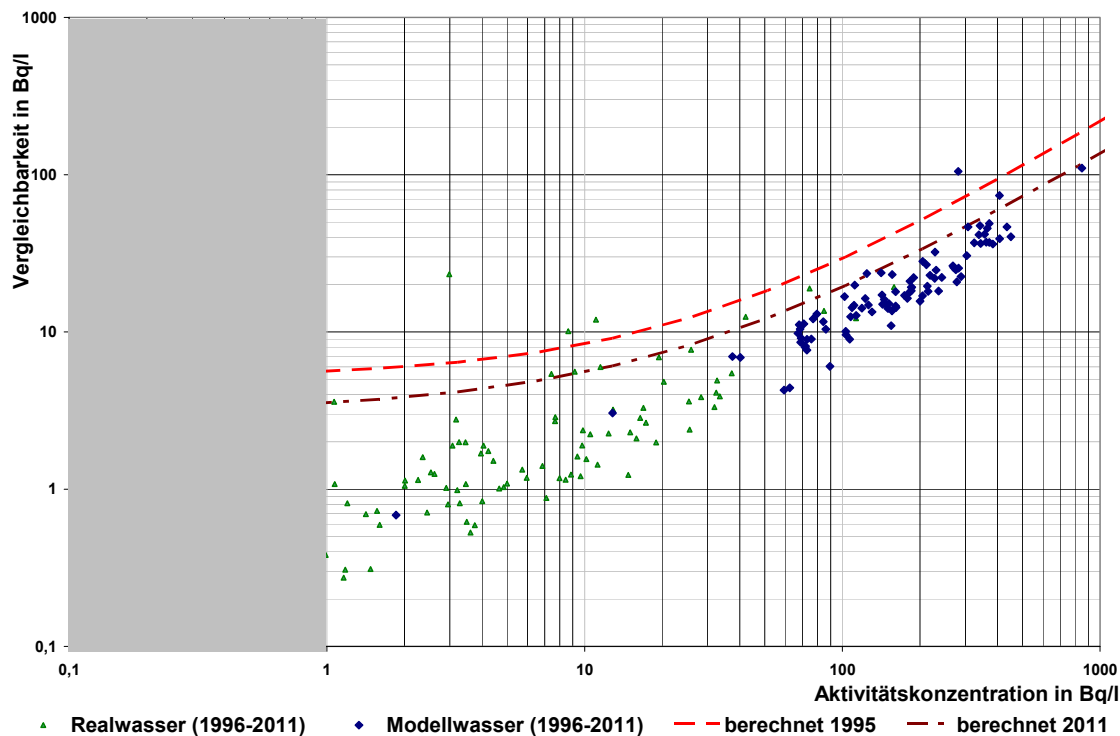


Abb. 4: Vergleichbarkeit bei der Bestimmung von Gammastrahlern aus Ringversuchen der Jahre 1996 bis 2011

## 5 Ergebnisse und Bewertung der der Laboratorien

Eine Übersicht ausgewählter Kenndaten aus den Ringversuchen der letzten zehn Jahre für die beiden gammastrahlenden Leitnuklide Co-60 und Cs-137 zeigt Tabelle 1. Aus der guten Übereinstimmung der ausreißerfreien Gesamtmittelwerte mit den Sollwerten  $c_S$  resultieren sehr geringe relative Differenzen  $\Delta$  zu den jeweiligen Sollwerten. Hierdurch wird ebenfalls der gesamten Teilnehmergruppe eine hervorragende Qualität der Analysenergebnisse bestätigt.

Tabelle 1: Ausgewählte Kenndaten aus Ringversuchen der Jahre 2003 bis 2012 für die Radionuklide Co-60 und Cs-137 in Modellwasserproben

Radionuklid	Co-60			Cs-137		
	$c_S$ in Bq/l	$\Delta$ in %	R in %	$c_S$ in Bq/l	$\Delta$ in %	R in %
2003	351	-1,9	11	310	-2,0	10
2004	230	-0,8	10	271	-0,3	9
2005	206	-0,4	8	244	-0,2	9
2006	453	-0,6	9	184	-1,0	10
2007	292	-1,1	8	366	-1,1	10
2008	188	-1,6	10	114	-0,8	11
2009	108	-1,4	8	74	-1,5	11
2010	153	-1,5	9	104	-0,8	9
2011	90	-0,7	7	59	0,6	7
Mittelwert 2003 - 2011	230	-1,1	9	192	-0,8	10
2012	133	-2,6	9	120	-2,1	8

Zur Qualitätsbewertung der Ergebnisse der einzelnen Laboratorien eines Ringversuches werden im Anschluss an die statistische Auswertung die Labormittelwerte mit z-Scores sowie die Laboreinzelwerte und deren Messunsicherheiten mit u-Scores verglichen [3]. Abbildung 5 zeigt beispielhaft die grafische Darstellung der Ergebnisse für Tritium im Modellwasser 2012.

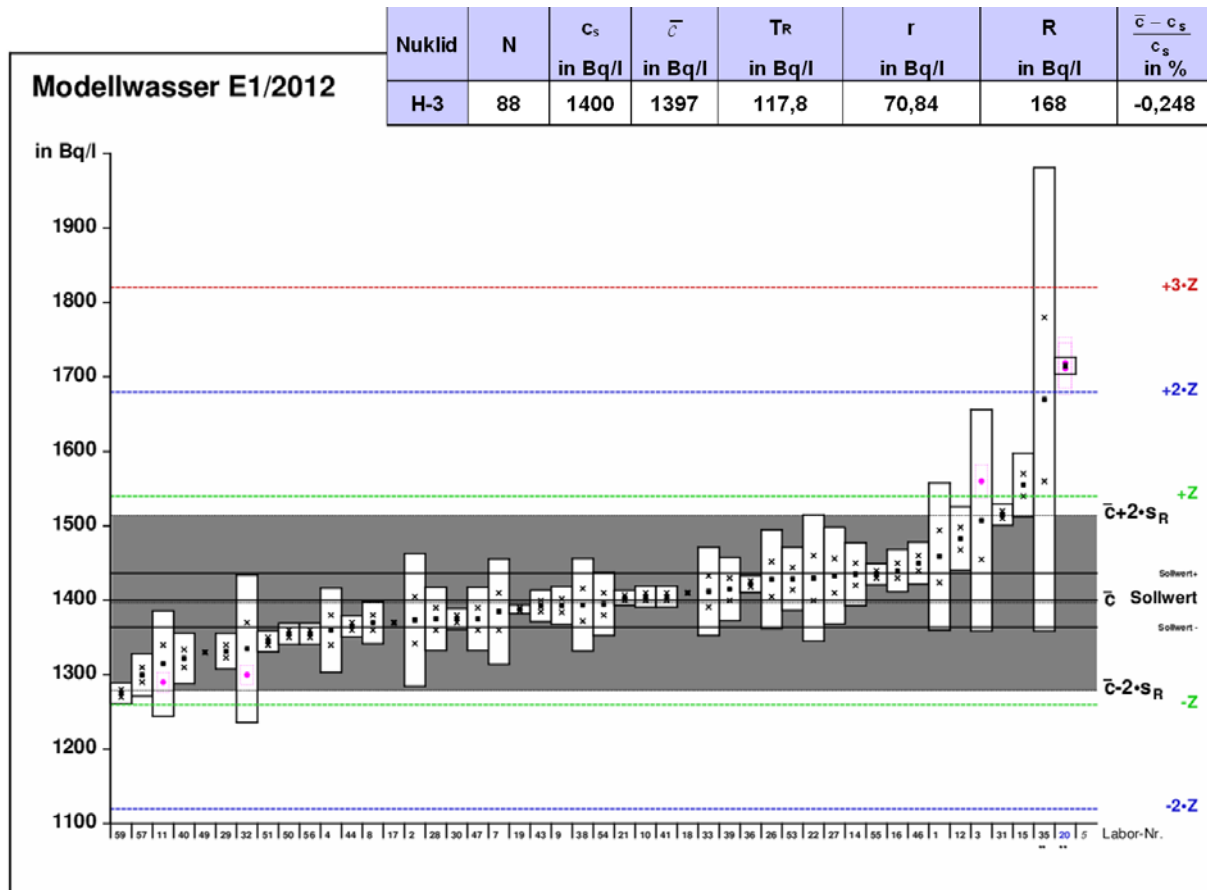


Abb. 5: Grafische Auswertung der Ergebnisse für H-3 im Modellwasser 2012

## 5 Schlussfolgerungen

Die langjährigen guten Resultate der Ringversuche dokumentieren sowohl die gute Laborpraxis der teilnehmenden Labore als auch die Anwendung moderner Methoden bei der Bestimmung von Aktivitätskonzentrationen von Radionukliden in Abwasserproben aus kerntechnischen Anlagen. Der Ringversuch als wichtiger Bestandteil der Qualitätssicherung der Labore der Betreiber kerntechnischer Anlagen und beauftragter Sachverständiger wird weiterhin in der jahrelang bewährten Art und Weise vom BfS ausgerichtet. Damit wird sichergestellt, dass auch zukünftig die Messungen und Analysen an Abwasserproben aus kerntechnischen Anlagen dem Stand von Wissenschaft und Technik angepasst und von qualifiziertem Personal durchgeführt werden.

## 6 Danksagung

Ein herzlicher Dank gilt allen Mitarbeitern aus Berlin und den Laboren der Betreiber, die bei der Vorbereitung und Durchführung der Ringversuche aktiv mitgewirkt haben.

## 7 Literatur

- [1] Kontrolle der Eigenüberwachung radioaktiver Emissionen aus Kernkraftwerken, Gemeinsames Ministerialblatt 9/10 (1996), 247-248.
- [2] DIN-Norm 38 402, Teil 42: Allgemeine Angaben (Gruppe A), Ringversuche, Auswertung, Beuth Verlag GmbH, Berlin (1984).
- [3] International Organisation for Standardization, ISO/IEC GUIDE 43-1 Proficiency testing by interlaboratory comparisons – Part 1: Development and operation of proficiency testing schemes (1997).
- [4] KTA-Regel 1504: Sicherheitstechnische Regel des Kerntechnischen Ausschusses, Überwachung der Ableitung radioaktiver Stoffe mit Wasser, Banz Nr. 9a vom 17.01.2008.
- [5] D. Obrikat, H. U. Fusban, Die Vergleichbarkeit – ein Kriterium zur Prüfung auf Übereinstimmung von Messwerten verschiedener Institutionen, BfS ST2-1995 (Draft), Berlin (1995).

## VERGLEICHSPRÜFUNG MIT SPINATPULVER ALS PROBENART FÜR UMWELTRELEVANTE NUKLIDE

### INTERLABORATORY COMPARISON OF ENVIRONMENTAL RELEVANT NUCLIDES WITH SPINACH POWDER AS SAMPLE MEDIUM

N. Roos, D. Tait

*Max Rubner-Institut, Institut für Sicherheit und Qualität bei Milch und Fisch, Leitstelle für Boden, Bewuchs, Futtermittel und Nahrungsmittel pflanzlicher und tierischer Herkunft, Kiel, Bundesrepublik Deutschland*

#### Zusammenfassung

Spinat gilt laut AVV-IMIS als Beispiel eines repräsentativen Umweltmediums für Blattgemüse. Für die Verwendung in einem Ringversuch ist frischer Spinat allerdings nicht geeignet, da eine homogene Dotierung mit Radionukliden kaum möglich ist. Spinatpulver wird dagegen fein vermahlen, sodass eine homogene Vermischung von Nukliden erwartet werden kann. Für diesen Ringversuch wurde Spinatpulver mit dem reinen Beta-Strahler Sr-90 und den gamma-strahlenden Nukliden I-131, Cs-134 und Cs-137 versetzt und nach Homogenisierung an 77 Laboratorien aus dem In- und europäischen Ausland (59 aus Deutschland, 5 aus der Schweiz, jeweils 4 aus dem Vereinigten Königreich und Österreich und jeweils 1 aus Frankreich, Italien, Niederlande, Irland und Luxemburg). Neben den zugesetzten Nukliden sollten die Teilnehmer das natürliche Nuklid K-40 bestimmen. Für die Ermittlung der Trockenmasse (TM) wurde eine Schnellmethode vorgeschrieben. Als Bezugsdatum für die Analyseergebnisse wurde der 01.05.2012 festgelegt. Zur Überprüfung der Homogenität des markierten Spinatpulvers wurden 14 Proben zufällig ausgewählt und in der Leitstelle für die Überwachung der Umweltradioaktivität des Max Rubner-Instituts analysiert. Eine Prüfung nach DIN 13528:2005 ergab eine hinreichende Homogenität der zugesetzten Nuklide. Für die Auswertung des Ringversuchs wurden im Fall der Gammastrahler und der TM die von der Physikalisch-Technischen Bundesanstalt (PTB) bestimmten Referenzwerte verwendet [I-131:  $181 \pm 6$  Bq/kg; Cs-134:  $34,4 \pm 1,1$  Bq/kg; Cs-137:  $11,1 \pm 0,4$  Bq/kg; K-40:  $1240 \pm 40$  Bq/kg; angegeben sind die spezifischen Aktivitäten pro kg TM und die erweiterte Messunsicherheit ( $k = 2$ )]. Für Sr-90 wurde der Gesamtmittelwert der teilnehmenden Labore als Referenzwert herangezogen [ $103 \pm 19,4$  Bq/kg TM; spezifische Aktivität mit einfacher Vergleichsstandardabweichung]. Der Anteil der Ausreißer war erfreulicherweise gering und nur bei der Bestimmung der TM und des Sr-90 leicht erhöht. Allerdings lagen bei den Nuklidanalysen die Gesamtmittelwerte der teilnehmenden Laboratorien zwischen 5,6 – 10,2% unter den Referenzwerten der PTB, bei der TM 2% höher. Die Auswertung der z-Werte ergab jeweils drei nicht zufriedenstellende Ergebnisse bei der Bestimmung des Cs-134 und K-40 sowie eines bei der TM-Bestimmung. Feinvermahlene Spinatpulver hat sich trotz geringer Nachteile beim Handling als geeignetes Medium für einen Ringversuch im Bereich Umweltradioaktivität erwiesen.

## Summary

Spinach is cited as a representative medium for leafy vegetables in the Integrated Measurement and Information System for the surveillance of environmental radioactivity (IMIS) in Germany. Fresh spinach, however, is not suitable in interlaboratory comparisons on the determination of spiked radionuclides because of the difficulties in homogeneously distributing the radionuclides and attaining a known specific activity in the samples. In contrast, spinach powder is finely milled, so that homogeneous distribution and known specific activities of the nuclides are more readily achievable. For this interlaboratory comparison spinach powder was mixed with the pure beta emitter Sr-90 and the gamma-emitting nuclides I-131, Cs-134 and Cs-137. After homogenization samples were dispatched to 77 laboratories from Germany and other European countries (59 in Germany, 5 in Switzerland, 4 each in the UK and Austria, and one each in France, Italy, the Netherlands, Ireland and Luxembourg). In addition to the added nuclides participants had to determine the natural radionuclide K-40. The participants were instructed to use a fast method for the determination of dry matter (DM). To check the homogeneity of the nuclide distribution 14 samples of the labeled spinach powder were randomly selected and analyzed in the Coordinating Laboratory for the Surveillance of Radioactivity in the Environment of the Max Rubner-Institute (MRI). According to DIN 13528:2005 the samples showed sufficient homogeneity of the added nuclides. For the evaluation of the interlaboratory comparison the Physikalisch-Technische Bundesanstalt (PTB) determined reference values for the specific activities (Bq per kg DM) of the gamma emitters. The values with the expanded uncertainties ( $k = 2$ ) were as follows: I-131:  $181 \pm 6$  Bq/kg; Cs-134:  $34.4 \pm 1.1$  Bq/kg; Cs-137:  $11.1 \pm 0.4$  Bq/kg; K-40:  $1240 \pm 40$  Bq/kg. Since a reference value of the PTB for the specific activity of Sr-90 was not available the general average of the participating laboratories were used as reference [ $103 \pm 19.2$  Bq/kg DM; specific activity with the reproducibility standard deviation]. The proportion of outliers was generally small and greatest for the DM and Sr-90 determinations. However, the general average values of the participating laboratories for the specific activities were 5.6%-10.2% less than the reference values determined by the PTB. In the case of DM the general average of all participants was 2% greater than the PTB value. The evaluation of the z-scores revealed three unsatisfactory results each for the Cs-134 and K-40 determinations, respectively, and one for the determination of DM. Although there are slight difficulties in handling this material, finely ground spinach powder proved to be an appropriate medium for proficiency tests in environmental radioactivity surveillance.

## 1 Einleitung

Eine der gesetzlichen Aufgaben der Leitstellen zur Überwachung der Umweltradioaktivität ist die Durchführung von Maßnahmen zur Qualitätssicherung, u.a. von Vergleichsmessungen und Vergleichsanalysen. Die Leitstelle am MRI Kiel ist zuständig für die Umweltbereiche Boden, Bewuchs, Futtermittel und Nahrungsmittel pflanzlicher und tierischer Herkunft. Spinat wurde für diesen Ringversuch ausgewählt, da es in der AVV-IMIS [1] als Beispiel für ein repräsentatives Medium für Blattgemüse und damit für alle pflanzlichen Nahrungsmittel im Intensivfall genannt wird. Frischer Spinat lässt sich allerdings für eine Nutzung im Ringversuch nicht homogen markieren, weswegen auf Spinatpulver ausgewichen wurde. Es sollten die spezifische Aktivitäten des natürlicherweise vorhanden K-40 und der zugefügten Nuklide I-131, Cs-134, Cs-137 und

Sr-90 bestimmt werden. Für die TM-Bestimmung wurde eine Methode vorgeschrieben.

## 2 Teilnehmer und zeitlicher Ablauf des Ringversuchs

Am 01.03.2012 wurden 106 potentielle Teilnehmer im In- und Ausland per E-Mail eingeladen, am Ringversuch teilzunehmen und die möglichen Analysen und dafür notwendigen Probenmengen mitzuteilen. Basierend auf 77 Zusagen am 25.03.2012 wurde die herzustellende Menge des markierten Spinatpulvers geplant. 59 teilnehmende Laboratorien stammten aus der Bundesrepublik Deutschland, fünf aus der Schweiz, jeweils vier aus Österreich und dem Vereinigtem Königreich, und jeweils eines aus Frankreich, Italien, den Niederlanden, Irland und Luxemburg. Da für die Dotierung der Ringversuchsproben auch das kurzlebige Isotop I-131 (Halbwertszeit 8,02 Tage) vorgesehen war, war der Zeitraum für die Herstellung der Einzelproben begrenzt. Am 04.05.2012 wurden die Einzelproben in den gewünschten Mengen an die Teilnehmer verschickt, mit der Vorgabe, die Ergebnisse bis zum 30.06.2012 der Leitstelle mitzuteilen. Letzte Ergebnisse gingen in Absprache mit der Leitstelle am 10.8.2012 ein. Nach der Erfassung der Ergebnisse erhielten die Teilnehmern die Gelegenheit bis zum 31.10.2012 die Richtigkeit der erfassten Daten zu überprüfen.

## 2 Probenmaterial

Als Probenmaterial wurde Spinatpulver verwendet, das aus feldfrischem Spinat (*Spinacia oleracea*) praktisch frei von Unkraut und gelben Blättern hergestellt wurde. Nach der Ernte wurde der Spinat maschinell entstengelt und dreifach gewaschen. Danach wurde der Spinat mit Warmluft bei 60°C getrocknet und anschließend fein vermahlen (Korngröße durchschnittlich 200 µm). Der Wassergehalt betrug nach Angaben des Herstellers  $8 \pm 2\%$ .

In vier Edelstahlschalen (45 cm × 60 cm) wurden jeweils zwei kg Pulver gleichmäßig verteilt und die entsprechenden Nuklide in geträgerten Lösungen mit einer Mehrkanalpipette tropfenweise darauf verteilt. Sr-90, Cs-134 und Cs-137 wurden als Mischung aus verdünnter salzsaurer Lösung in 80 % Acetonitril zugegeben. I-131 wurde als Einzelnuclid aus thiosulfathaltiger Natronlauge (0,1 mol / l), um das Iod in der nicht-flüchtigen Iodid-Form zu halten, in 94 % Acetonitril zugegeben. Das Vorhandensein des Acetonitrils verhindert die Bildung von festen Klumpen des Pulvers bei der Verteilung der Tropfen. Insgesamt wurden 140 ml der Cs/Sr-haltige und 100 ml der iodhaltige Lösung als jeweils 25 µl-Tropfen auf dem 4 kg Spinatpulver verteilt. Die tropfenweise Zugabe der Iod-131-Lösung erfolgte erst nach dem Trocknen der Sr/Cs-Mischnuclidtropfen.

Nach dem Trocknen der Tropfen wurde der Inhalt jeweils zweier Schalen (4 kg) in einem 10 L-Behälter zusammen mit Mahlsteinen 48 Stunden getaumelt. Die beiden Chargen wurden dann in eine 20 L-Tonne überführt und durch manuelles Mischen über Kopf (ca. 200 ×) homogenisiert. Die Einzelproben wurden durch Vermischen von 50 g dieses markierten Spinatpulvers mit 1200 g unmarkiertem Spinatpulver konfektioniert. Aus den notierten Gewichten wurden individuelle Korrekturfaktoren für jede Einzelprobe berechnet. Die 20stündige Homogenisierung der Einzelprobe erfolgte in 3 L-Gefäßen mit einem Überkopfschüttler. Nach der Homogenisierung wurde das

Probenmaterial auf zwei Plastikbeutel verteilt, die verschweißt wurden. Die Proben wurden den Teilnehmer zufällig zugeordnet in den gewünschten Mengen zugeschickt.

### 3 Überprüfung der Probenhomogenität

Aus den hergestellten Einzelproben wurden zufällig 14 Proben ausgewählt und in der Leitstelle des MRI gammaspektrometrisch analysiert. Die Gammaspektrometrie-Systeme waren von der Fa. Canberra-Eurisys (Dreieich) und bestanden aus p-Type coaxiale Hp-Ge-Detektoren (50% rel. Effizienz und 1,9 keV FWHM bei 1,33 MeV) in Low-Level-Bleibschirmungen ausgestattet mit DSA-1000 Vielkanalanalysatoren und Genie 2000 (V3.0) als Auswertesoftware.

Zur Messung wurden die Proben in 1L-Marinelli-Bechern gefüllt. Die Messzeiten lagen zwischen 24 und 92 Stunden, wobei jede Probe dreimal und mindestens einmal länger als 40 Stunden gemessen wurde. Nach jeder Messung wurde der Marinelli-Becher entleert, die Probe mit dem Rest des Probenmaterials vermischt und erneut eingewogen. Das Probenmaterial wurde portionsweise und mit gleichzeitigem Klopfen an der Wandung des Bechers überführt um mögliche Variationen der Probendichte innerhalb des Bechers zu minimieren. Die Probeneinwaage betrug im Mittel  $675 \pm 30$  g (Gesamtstreuungsbereich: 611 g - 758 g). Die drei Einzelmessungen wurden jeweils mit dem selben Gammaspektrometer durchgeführt. Bei der Auswertung des Cs-134 wurde der Verlust durch Summationskoinzidenz mit Hilfe des Genie 2000-Modul LabSOCS korrigiert. Dichtekorrekturen wurde auch mit Hilfe von LabSOCs ermittelt und bei der Auswertung von I-131 angewendet. Die entsprechenden Korrekturfaktoren für Cs-134 und Cs-137 waren deutlich geringer als die zählstatische Unsicherheit der Messungen und wurden daher nicht benutzt.

Die Prüfung der Homogenität der Nuklidverteilung wurde nach DIN13528:2009 [2] durchgeführt. Aus den laborinternen Standardabweichungen ( $s_{innerhalb}$ ) wird die Standardabweichung zwischen den Proben ( $s_{zwischen}$ ) ermittelt, die mit der Standardabweichung des Ringversuchs ( $s_{Ringversuch}$ ) verglichen wird. Ist der Quotient aus  $s_{zwischen}/s_{Ringversuch} \leq 0,3$  gelten die Proben als homogen. Tabelle 1 fasst die Daten der Auswertung zusammen.

Tabelle 1: Kenndaten von drei dem Spinatpulver zugefügten Nukliden zur Überprüfung der Homogenität

	Nuklide		
	I-131	Cs-134	Cs-137
Anzahl der Proben	14	14	14
Mittelwert	176	33,5	10,9
$s_{innerhalb}$	4,1	0,6	0,3
$s_{zwischen}$	3,0	0,4	0,1
$s_{Ringversuch}$	16	2,9	1,0
Homogenität nach DIN 13528:2009	ja	ja	ja

### 4 Auswertung der Teilnehmerergebnisse

Jeder der geforderten drei Einzelwerte je Nuklid wurde mit dem individuellen Faktor korrigiert, der sich aus der Einwaage ergab und daraufhin der laborinterne arithmetische Mittelwert und die Standardabweichung berechnet. Zur Ausreißerelimination wurden die Daten visuell geprüft. Zusätzlich wurden Ausreißer mittels Mandel-k- und Mandel-h-Statistik sowie Grubbs I- und II-Tests nach DIN ISO 5725-2:2002-12 [3] identifiziert. Aus den ausreißerbereinigten Datensätzen wurden die Präzisionsdaten zur Wiederhol- und Vergleichbarkeit berechnet und zum Laborvergleich der z-Wert als Leistungskenngröße ermittelt [2].

### 5 Ergebnisse

Für die TM-Bestimmung war eine Methode vorgeschrieben, da Voruntersuchungen ergeben hatten, dass bei der Trocknung des Spinatpulvers bei 100°C kein konstantes Gewicht in angemessener Zeit erreicht wurde. Um zu vergleichbaren Werten für den TM-Gehalt der Proben zu kommen, wurde deswegen die Trocknung bei 135°C über 6 Stunden vorgegeben. Die Ergebnisse der TM-Ermittlung sind in Abbildung 1 dargestellt. Der Mittelwert der Ergebnisse aller Teilnehmer liegt ca. 2% oberhalb des Referenzwertes. Die Spannweite der ausreißerbereinigten Werte ist für diesen Parameter allerdings recht hoch (81,3 – 94,7%).

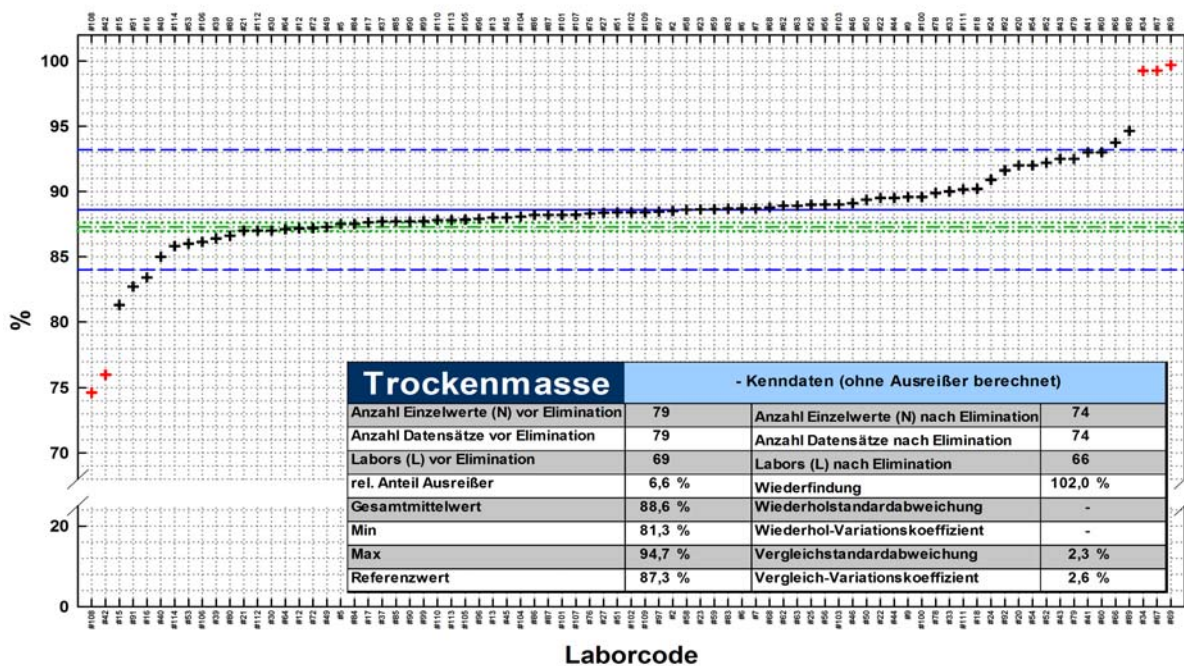


Abb. 1: TM-Gehalte: Ringversuchs-Kenndaten (Kästchen); Labormittelwerte (+); Ausreißer (+); Gesamtmittelwert (ohne Ausreißer) der Labore mit dem 2fachen der Vergleichstandardabweichung (blaue Linien); Referenzwert mit 2facher Messunsicherheit (grüne Linien).

In Tabelle 2 sind die Ergebnisse der Nuklidanalysen zusammengefasst.



Tabelle 2: Zusammenfassung der Ergebnisse der Nuklidanalysen

	I-131	Cs-134	Cs-137	K-40	Sr-90
<b>PTB-Referenzwert [Bq/kg TM]</b>	181	34,4	11,1	1240	-
<b>Anteil Ausreißer [%]</b>	1,2	2,3	1,2	0,3	4,4
<b>Anzahl Einzelmessungen o. Ausreißer</b>	326	342	346	343	136
<b>Anzahl Datensätze o. Ausreißer</b>	112	116	118	117	47
<b>Minimalwert [Bq/kg TM]</b>	138	23,5	8,2	840	51
<b>Maximalwert [Bq/kg TM]</b>	224	38,5	12,5	1399	131
<b>Gesamtmittelwert [Bq/kg TM]</b>	171	30,9	10,3	1118	103
<b>Zugehörige Standardabweichung [Bq/kg TM]</b>	16,2	2,9	1,0	108	19,2
<b>Wiederholstandardabweichung <math>s_r</math> [Bq/kg TM]</b>	6,8	1,2	0,6	29	8,3
<b>Wiederholvariationskoeffizient [%]</b>	4,0	3,9	5,6	2,6	8,0
<b>Vergleichstandardabweichung <math>s_R</math> [Bq/kg TM]</b>	16,3	2,9	1,0	108	19,4
<b>Vergleichvariationskoeffizient [%]</b>	9,5	9,5	9,9	9,7	18,6
<b>Wiederfindung</b>	94,4	89,8	92,4	90,2	-

Der Anteil an Ausreißern ist bei allen Untersuchungsparametern gering, im Fall von Cs-134 und Sr-90 etwas größer als bei den übrigen Nukliden. Die Vergleichvariationskoeffizienten lagen bei allen Gamma-Strahlern nahe beieinander (9,5 - 9,9%), d.h. die Streuung der Messwerte war unabhängig vom Nuklid bei diesem Ringversuch ähnlich. Nur bei Sr-90 ergab sich ein etwa doppelt so hoher Vergleichvariationskoeffizient (18,6%), der wahrscheinlich auf die zusätzliche chemische Abtrennung des Strontiums zurückzuführen ist. Diese Aufarbeitung der Proben wirkt sich in einer höheren Wiederholstandardabweichung bei Sr-90 aus. Bei allen Gamma-Strahlern ist die etwas geringere Wiederfindung relativ zum Referenzwert auffällig. Während bei Cs-134 dies durch unzureichende Berücksichtigung des Koinzidenz-Summationseffektes in vielen Laboren erklärbar wäre, liegt eine Erklärung bei Cs-137 und K-40 nicht auf der Hand. Die Abbildungen 2 - 6 geben die Details der Ringversuchsergebnisse für die Nuklidanalysen wieder.

In Abbildung 7 ist die Häufigkeitsverteilung der z-Werte relativ zum Referenzwert der PTB (bei Sr-90 relativ zum Labormittelwert) graphisch dargestellt. Die Beurteilung der einzelnen Ergebnissen erfolgt nach folgendem Schema:

$0 \leq  z  \leq 1$	:gutes Ergebnis
$1 <  z  \leq 2$	:zufriedenstellendes Ergebnis
$2 <  z  \leq 3$	:fragwürdiges Ergebnis
$ z  > 3$	:äußerst fragwürdiges Ergebnis.

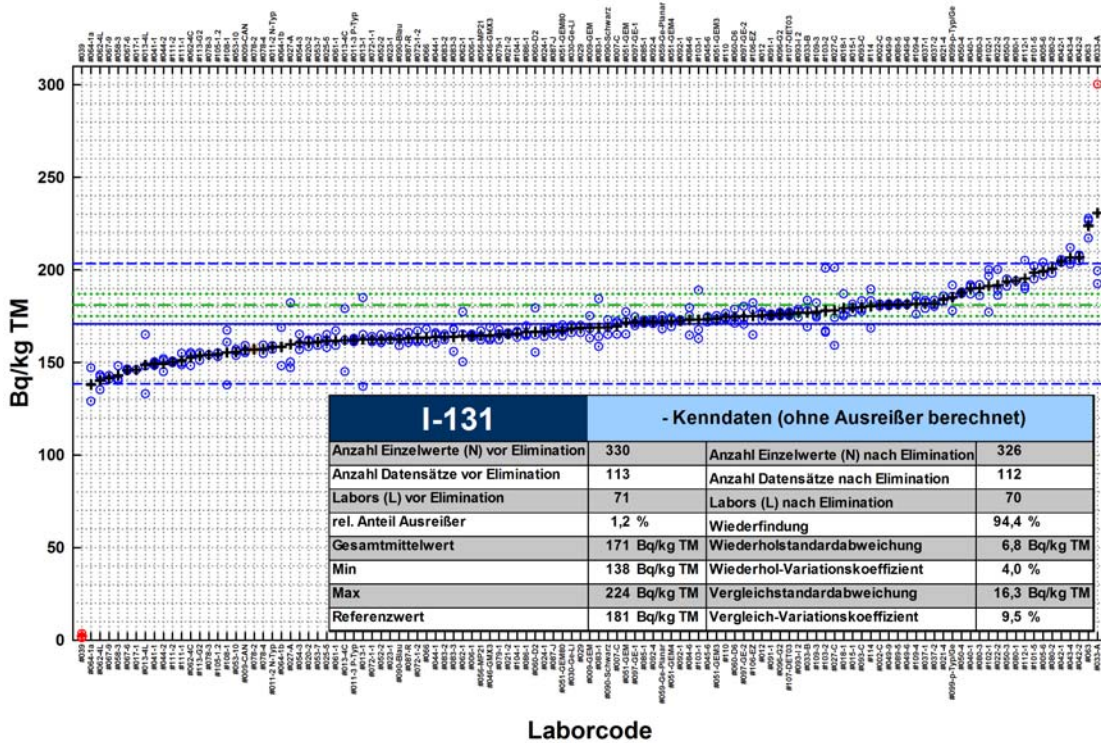


Abb. 2: I-131: Ringversuchs-Kenndaten (Kästchen); Labor-Mittelwerte (+); Einzelwerte (blaue Kreise); Ausreißer (rote Markierung); Gesamtmittelwert (ohne Ausreißer) mit dem 2fachen der Vergleichstandardabweichung (blaue Linien); Referenzwert mit 2facher Messunsicherheit. (grüne Linien).

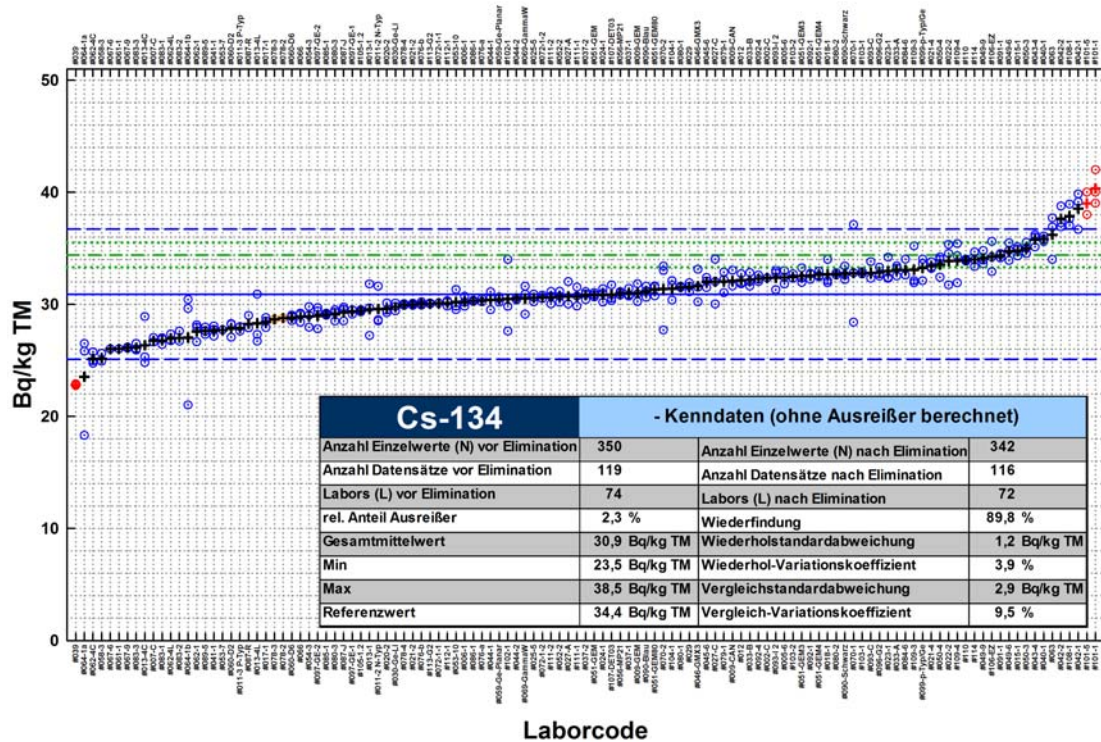


Abb. 3: Cs-134: Ringversuchs-Kenndaten und Labor-Mittelwerte (Erklärung s. Abb. 2).

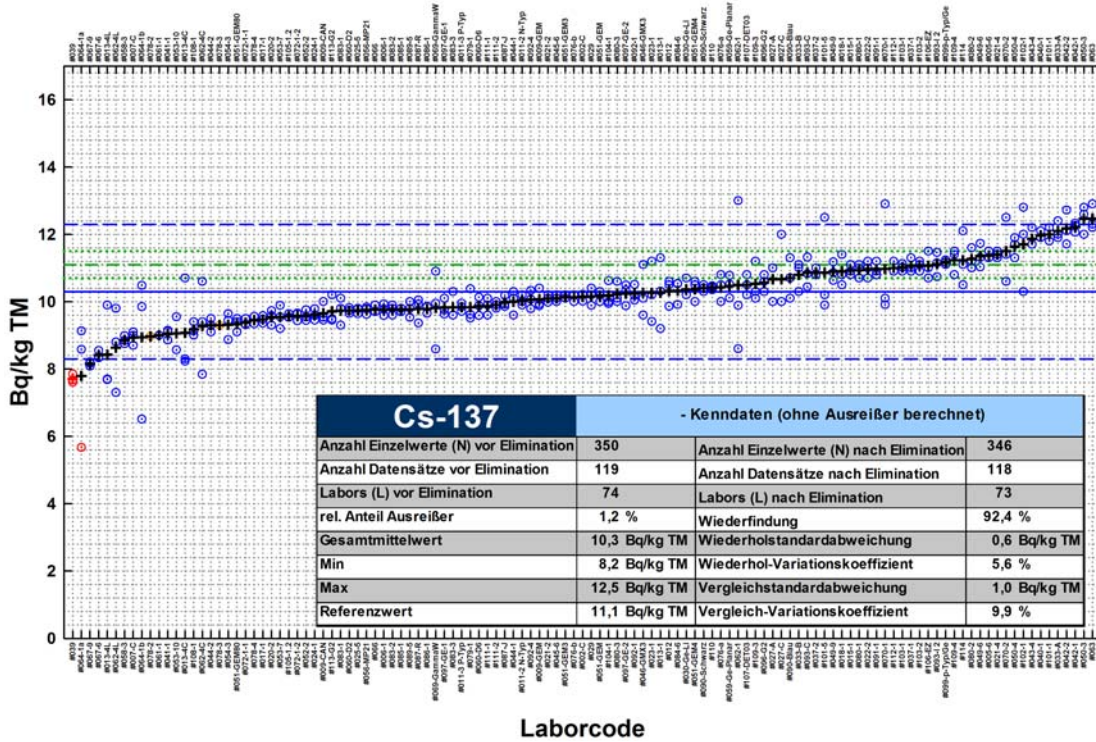


Abb. 4: Cs-137: Ringversuchs-Kenndaten und Labor-Mittelwerte (Erklärung s. Abb. 2).

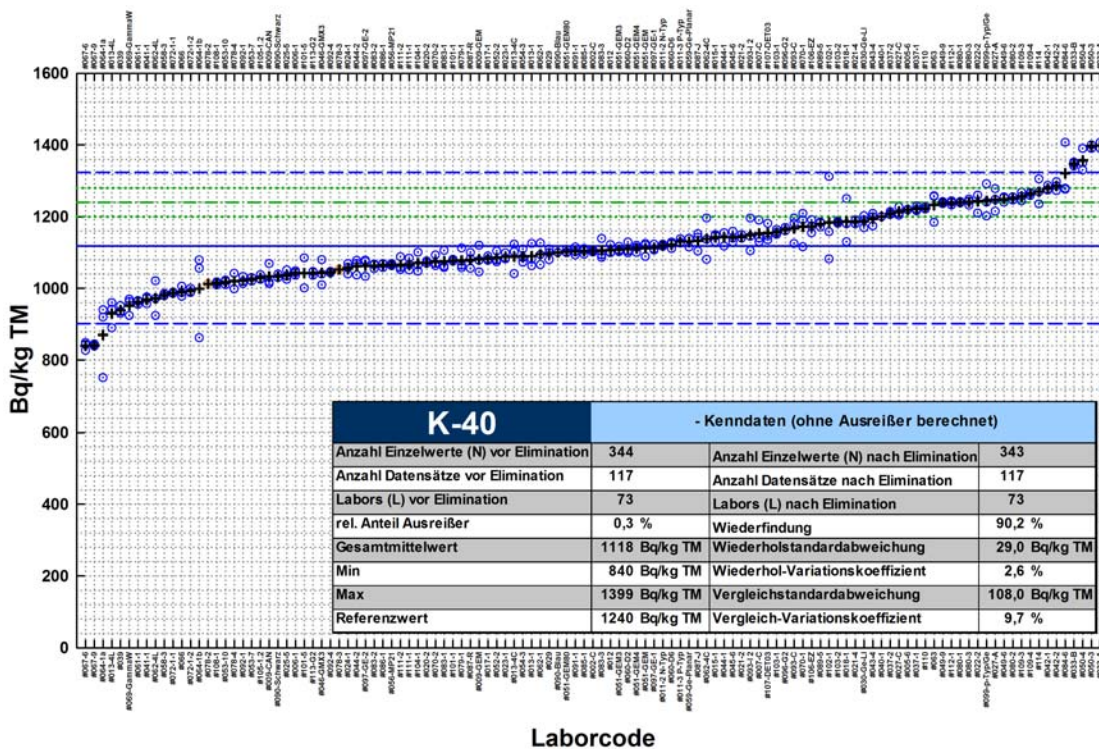


Abb. 5: K-40: Ringversuchs-Kenndaten und Labor-Mittelwerte (Erklärung s. Abb. 2).

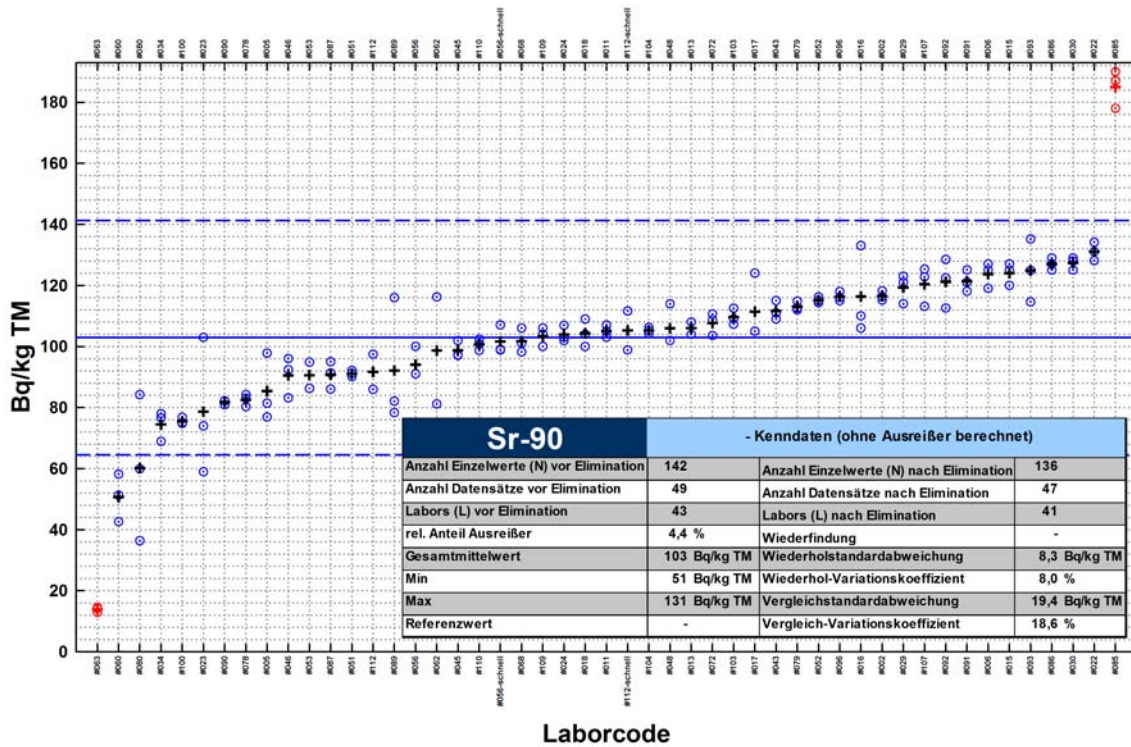


Abb. 6: Sr-90: Ringversuchs-Kenndaten und Labor-Mittelwerte (Erklärung s. Abb. 2)

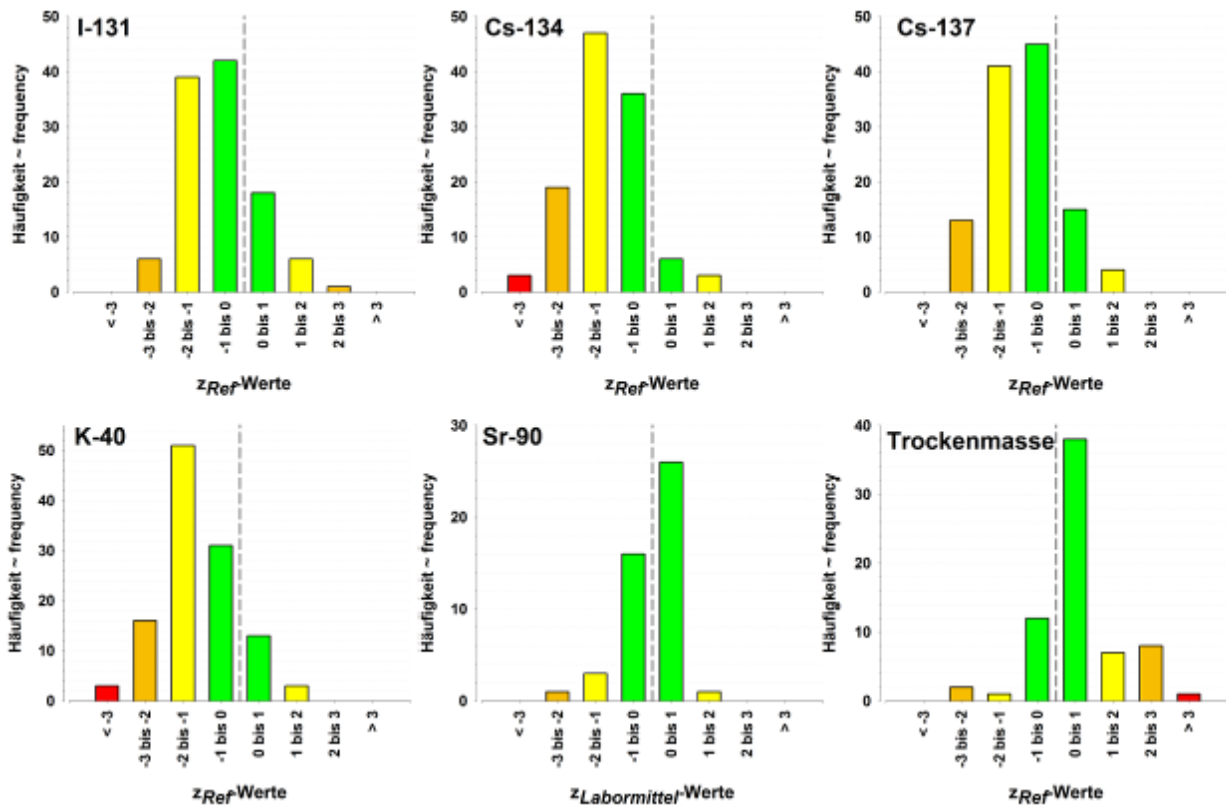


Abb. 7: Häufigkeitsverteilung der z-Werte relativ zum Referenz- bzw. Labormittelwert. Ist der Betrag des z-score > 2, ist es ratsam, die Analyseprozedur zu überprüfen.

Bei den Gamma-Nukliden spiegelt die links-schiefe Verteilung (mehr negative z-Werte) die Lage der Labormittelwerte unterhalb des Referenzwertes wider (s. Abb. 2-5). Für Cs-134 und K-40 haben jeweils drei Teilnehmer äußerst fragwürdige Ergebnisse abgegeben, für die TM ein Labor.

## 6 Schlussfolgerungen

Spinatpulver wurde bisher nicht in einem Ringversuch zur Überwachung der Umwelt-radioaktivität eingesetzt. Insofern bestand in der Leitstelle des MRI nur wenig Erfahrung im Umgang mit dem Material. Einige Nachteile haben sich beim Handling gezeigt: starke Staubentwicklung, elektrostatische Aufladung und erhöhter Aufwand bei der Einstellung einer gleichmäßigen Schüttdichte in den Messgefäßen. Demgegenüber steht die gute Homogenisierbarkeit des Pulvers aufgrund der geringen Korngröße, wodurch sich das verwendete Spinatpulver gut als Probenmaterial für einen Ringversuch eignet.

Dies wird durch das Gesamtergebnis des Ringversuches für die Gamma-Emitter bestätigt: Die Ausreißerquote und Anzahl an fragwürdigen Ergebnissen, die sich bei der Auswertung der z-Werte des ausreißerbereinigten Datenkollektivs ergeben, waren sehr gering und fast alle Teilnehmer erzielten zufriedenstellende bis gute Ergebnisse. Zusammen mit der guten Homogenisierbarkeit des Probenmaterials ist das gute Ergebnis für diese Nuklide dem Stand der Ausrüstung der Laboratorien mit leistungsfähigen und ausgereiften Gammaskpektrometriesystemen sowie der Ausbildung des Fachpersonals zuzuschreiben.

Im Gegensatz lässt die große Streubreite der Sr-90-Ergebnisse (51 Bq / kg bis 131 Bq / kg TM beim Gesamtmittelwert von 103 Bq / kg TM) erhebliche Probleme bei der Bestimmung dieses reinen Betastrahlers erkennen. Dieses ist wahrscheinlich in der Vielzahl der verschiedenen, aufwendigen radiochemischen Abtrennungen sowie Ausbeutebestimmungen bei der Analyse begründet. Im Falle dieses Nuklids ist weiterhin die Ermöglichung der Einführung und Übung von einfacheren und genaueren Analyseverfahren in den Laboratorien erforderlich.

## 8 Literatur

- [1] AVV-IMIS: Allgemeine Verwaltungsvorschrift zum Integrierten Mess- und Informationssystem zur Überwachung der Radioaktivität in der Umwelt (IMIS) nach dem Strahlenschutzvorsorgegesetz (AVV-IMIS) vom 13. Dezember 2006
- [2] DIN ISO 13528:2009-01 Statistische Verfahren für Eignungsprüfungen durch Ringversuche (ISO 13528:2005)
- [3] DIN ISO 5725-2:2002-12 Genauigkeit (Richtigkeit und Präzision) von Messverfahren und Messergebnissen - Teil 2: Grundlegende Methode für die Ermittlung der Wiederhol- und Vergleichpräzision eines vereinheitlichten Messverfahrens (ISO 5725-2:1994 einschließlich Technisches Korrigendum 1:2002)

## NUCLEONICA: WEB-BASED SOFTWARE TOOLS FOR SIMULATION AND ANALYSIS

J. Magill<sup>1</sup>, R. Dreher<sup>1</sup>, Z. Soti<sup>2</sup>

<sup>1</sup>*Nucleonica GmbH, Karlsruhe, Germany*

<sup>2</sup>*Institute for Transuranium Elements, Eggenstein-Leopoldshafen, Germany*

### Summary

The authors present a description of the Nucleonica web-based portal for simulation and analysis for a wide range of commonly encountered nuclear science applications. Advantages of a web-based approach include availability wherever there is internet access, intuitive user-friendly interface, remote access to high-power computing resources, and continual maintenance, improvement, and addition of tools and techniques common to the nuclear science industry. A description of the nuclear data resources, and some applications is given.

### 1 Introduction

As a result of recent developments on issues such as energy security and protection of the environment, we are witnessing a resurgence of interest in the nuclear sciences in general. There is also large range of “non-power” applications of radioisotopes and radiation in a variety of diverse fields such as medicine (e.g. cancer therapy), agriculture (e.g. pest population control), food irradiation (e.g. to increase shelf-life) and in industry (e.g. tracers, radiography, gauging, radiation processing, etc.), where such nuclear skills are also required. In order to support this renewed interest in the nuclear sciences, we will need a nuclear skills renaissance and it is within this context that the Nucleonica nuclear science web portal ([www.nucleonica.com](http://www.nucleonica.com)) has been developed. With its roots in the traditional paper-based Karlsruhe Nuclide Chart, Nucleonica has grown to become a leading online resource in the nuclear sciences. Nucleonica is particularly suitable for education and training of young scientists, engineers and technicians in the nuclear domain. A variety of our applications enable researchers and specialists to make complex and precise calculations in state-of-the-art fashion. Due to its advanced IT features, user friendly and intuitive environment, the platform has recently been endorsed by the Sustainable Nuclear Energy Technology Platform ([www.snetp.eu](http://www.snetp.eu)): *“Nucleonica plays ... an important role in making nuclear education more attractive and in building nuclear knowledge for a new generation of engineers and scientists”*

### 2 Nuclear Data Resources in Nucleonica

Nucleonica provides users friendly access to the latest reference data from internationally evaluated nuclear data. The Nucleonica database is based on the Joint Evaluated Fission and Fusion (JEFF3.1) radioactive decay datafile [1] which contains decay data on 3852 nuclides in ground and isomeric states. The relational nature of the Nucleonica database allows for fast searching and data retrieval in contrast to the non-relational JEFF3.1 sequential datafile. The Nucleonica database contains information on approximately 93 additional nuclides and their half-lives which are not

listed in JEFF3.1 but are present in NUBASE '03 [2], bringing the total number of nuclides (ground and isomeric states) in the Nucleonica database to 3947. In addition, NUBASE '03 data on the atomic weights, binding energies, mass excesses, and abundances are included (in the "materials" table).

The screenshot displays the Nucleonica website interface for the Nuclide Datasheets of  $^{60}_{27}\text{Co}$ . The page includes a navigation menu, a search bar, and a table of reference data. The table is organized into several sections, including Reference Data Notes, Physical Properties, and Decay Data.

Reference Data Notes			
<b>Nuclide</b>	$^{60}_{27}\text{Co}$ 33		
<b>Density</b>	8.86 g/cm <sup>3</sup>		
<b>Mass Excess</b>	-61649.012 ( $\pm$ 628) keV		
<b>Atomic Mass</b>	59.933817059 ( $\pm$ 674) u		
<b>Half-life</b>	5.271 ( $\pm$ 1) y		
<b>Spin</b>	5 h		
<b>Parity</b>	+		
<b>Binding Energy</b>	8.74675 MeV/nucleon		
<b>Abundance</b>	-		
<b>Effective Dose Coefficient Inhalation</b>	3.1E-08 (Sv/Bq)		
<b>Effective Dose Coefficient Ingestion</b>	3.4E-09 (Sv/Bq)		
<b>Mean Decay Energies</b>			
<b>Alpha</b>	0 (MeV)		
<b>Electron</b>	96.7734 (keV)		
<b>Photon</b>	2503.84 (keV)		
<b>Type of decay</b>	<b>Branching Ratio</b>	<b>Decay Energy, Q</b>	<b>Daughters</b>
$\beta^-$	1	2.8239 (MeV)	28 Ni 60
<b>Type of parent decay</b>	<b>Branching Ratio</b>	<b>Decay Energy, Q</b>	<b>Parents</b>
IT	0.9975	0.0586 (MeV)	27 Co 60m

Fig. 1: Nuclide Datasheets in the Nucleonica databases

To support the nuclear science applications in Nucleonica, the database is further complemented by a variety of data from other sources. Spectral data (energies, emission probabilities etc.) are from JEFF3.1 [1] and the 8<sup>th</sup> table of isotopes. Photon mass attenuation coefficients and mass energy-absorption coefficients and build-up factors, to model the scattering effects in the shield materials, are from NIST [2]. Fission yield data are from the main international datafiles: JEF2.2, JEFF3.1, JENDL-3.2, and ENDF/B-VI. Integral cross section data are from JEF Report 14 which contains averaged neutron cross-sections from the international datafiles JEF-2.2, ENDF/B-VI, JENDL-3.2, BROND-2, and CENDL-2. Effective dose coefficients for ingestion and inhalation,  $e(50)$ , are from the ICRP. The  $A_1$  and  $A_2$  activity and activity exemption limits for packaging and transportation are from the IAEA. Properties of the elements (densities, melting points, boiling points etc.) and tables of physical constants, conversation factors and radiological limits are from the most recent evaluations. Detailed references to these sources are given in the Nucleonica wiki [2].

### 3 Nuclear Science Applications and Tools

A unique feature of Nucleonica is the wide range of validated web-based nuclear science applications. Currently there are more than twenty such applications. A brief description of some of the main applications follows:

#### 3.1 Decay Engine:

Nucleonica’s Decay Engine is based on a new exact solution [3] to the Bateman equations. The Engine can be used for single nuclides and nuclide mixtures and to make plots of activities, masses etc. over a decay time interval. There are two basic modes of operation: a) Time mode - for an initial activity of a given nuclide or mixture, the final activity is calculated after a decay time; b) Date mode - if an activity is known at some time (date), then the activity can be calculated at any other time (date) using a date picker tool. A very useful feature is the Rescale tool. This allows output values to be rescaled to give a desired value. Another useful feature, e.g. for nuclear forensics, is that activities can be normalised to the parent or any daughter activity.

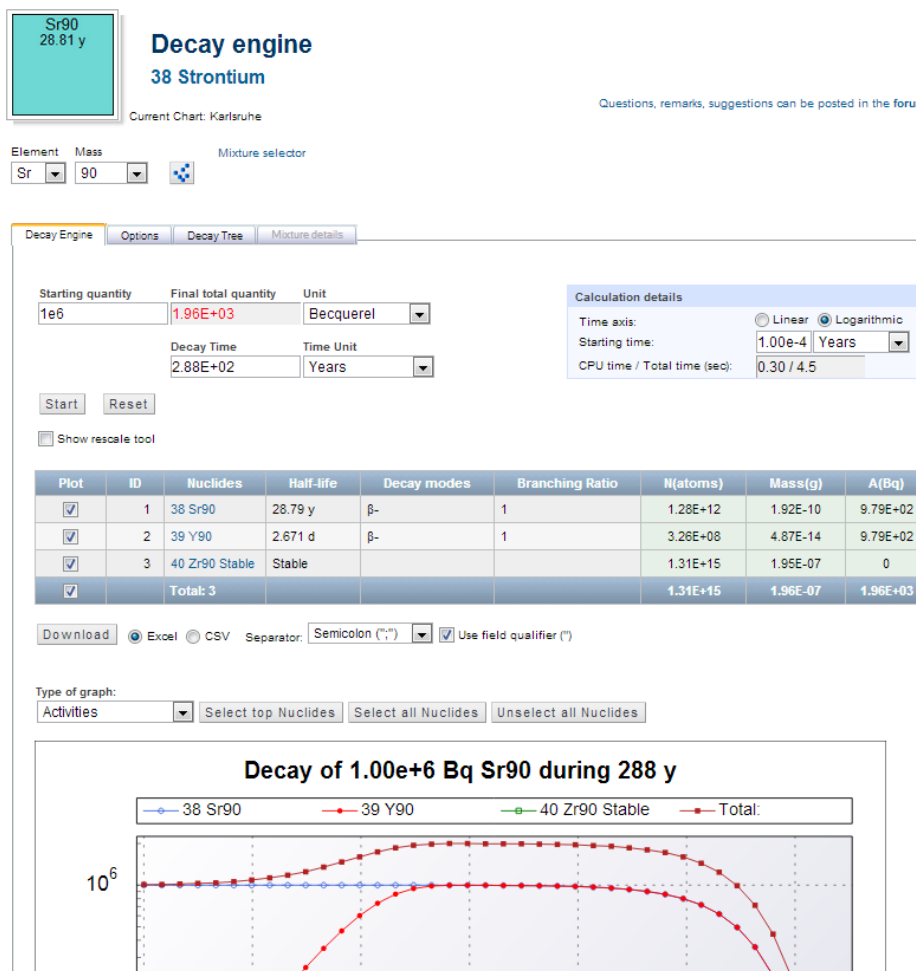


Fig. 2: Nucleonica’s Decay Engine showing the results grid and graphical output.

#### 3.2 Dosimetry & Shielding:

This application has been developed for gamma dose rate and shielding calculations using the point source kernel method. The module allows the user to calculate gamma



dose rates from point sources of either single nuclides or composite mixtures. More than 1300 gamma and X-ray emitting nuclides with more than 53,000 gamma and X-rays are available in the Nucleonica database, together with a choice of ten different shield materials. The intuitive interface is ideal for quick and accurate dose calculations such as in health physics or to test more sophisticated Monte Carlo codes. It is ideal for workers in the lab to obtain an indication of the dose rate from the radioactive materials they are working with – only a web browser and internet connection are required.

**Dosimetry and Shielding**  
27 Cobalt

Current Chart: Karlsruhe

Element: Co Mass: 60 Mixture selector

Include daughters

Dosimetry and Shielding | Dose rate/Thickness graph | Options | Mixture details

Initial source strength: Activity(Bq) 1.00e+6

Shielding material: Pb 0 cm

Dose rate ( $\mu\text{Sv/h}$ ): 3.37E-01

Source | Shield | Detector

Source/detector distance (cm): 100

Start Reset

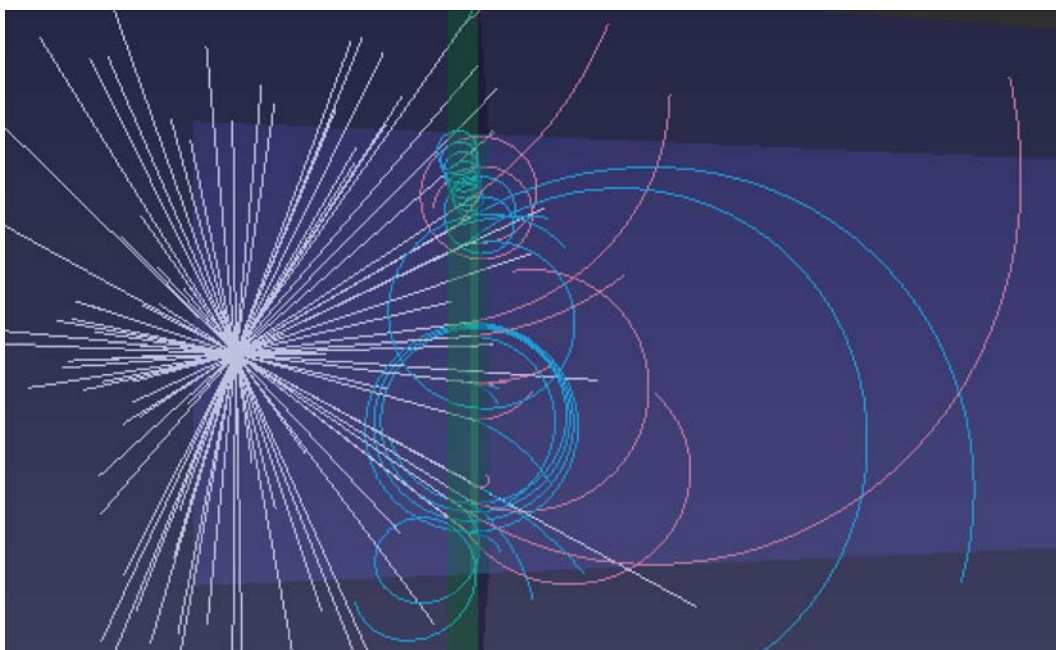
Fig. 3: Point source gamma dose rates of nuclides and mixtures

### 3.3 Range & Stopping Power:

This application provides a user-friendly interface for quick and accurate calculations on the range and stopping powers of charged particles – electrons, positrons, protons, alphas, muons and heavy ions – in matter. Target materials include the natural elements, pre-defined (e.g. tissue) and user-defined compounds. In addition, the user can also select the energy and stopping power units, etc. Range and stopping power results can be displayed in high quality graphs. The underlying calculation engine for stopping power and ranges on heavy ions is based on SRIM (Stopping and Range of Ions in Matter) [4]. For electrons, muons, and positrons, a new formulation, has been used. For radiative stopping power the standard ratio is used.

### 3.4 Virtual Cloud Chamber:

This is an online interactive simulation tool for investigating the motion of charged particles and photons in different media. The simulation tool, which is based on the Monte Carlo GEANT 4 Engine, has been developed and integrated into Nucleonica. For the investigations, a point source of mono-energetic particles is used. Initially the simulations are restricted to photons, electrons and positrons. To better understand the charged particles emission processes, the various energy loss mechanisms can be "switched-off" in the calculations - otherwise the range of the charged particles would be very small and almost invisible. For photons, the various energy loss processes - photoelectric effect, Compton scattering, and pair production - can also be switched on/off as shown in Fig. 4. In this case, a 1-cm thick lead shield was used.



*Fig. 4: Simulation of high energy gamma photon interaction with a lead shield (green) using Nucleonica's virtual cloud chamber (positrons: red, electrons: blue; gammas: white). The spiral motion is due to the presence of a magnetic field*

### 3.5 Gamma Spectrum Generator (GSG):

To address the growing demands in gamma spectrometry, an interactive web-accessible simulation tool has been developed for use in Nucleonica. The simulator presents an efficient visual teaching aid that is especially useful in training facilities which have restrictions on the use of radioactive substances, or when sources of special interest (e.g. spent fuel, enriched U, weapon grade Pu or other highly radiotoxic materials) are not readily available. The module is setup such that the user can run the program immediately with default parameters. This "one-click" calculation, shown in fig. 5, simulates the spectrum for a 1 MBq Eu-152 source using a HPGe detector. A more advanced version of the application – the GSG Pro - is available to study the effects of natural background and bremsstrahlung (e.g. for Sr-90). The Gamma Spectrum Generator has undergone extensive experimental validation at the Institute for Transuranium Elements (see section 3.6 for more details).

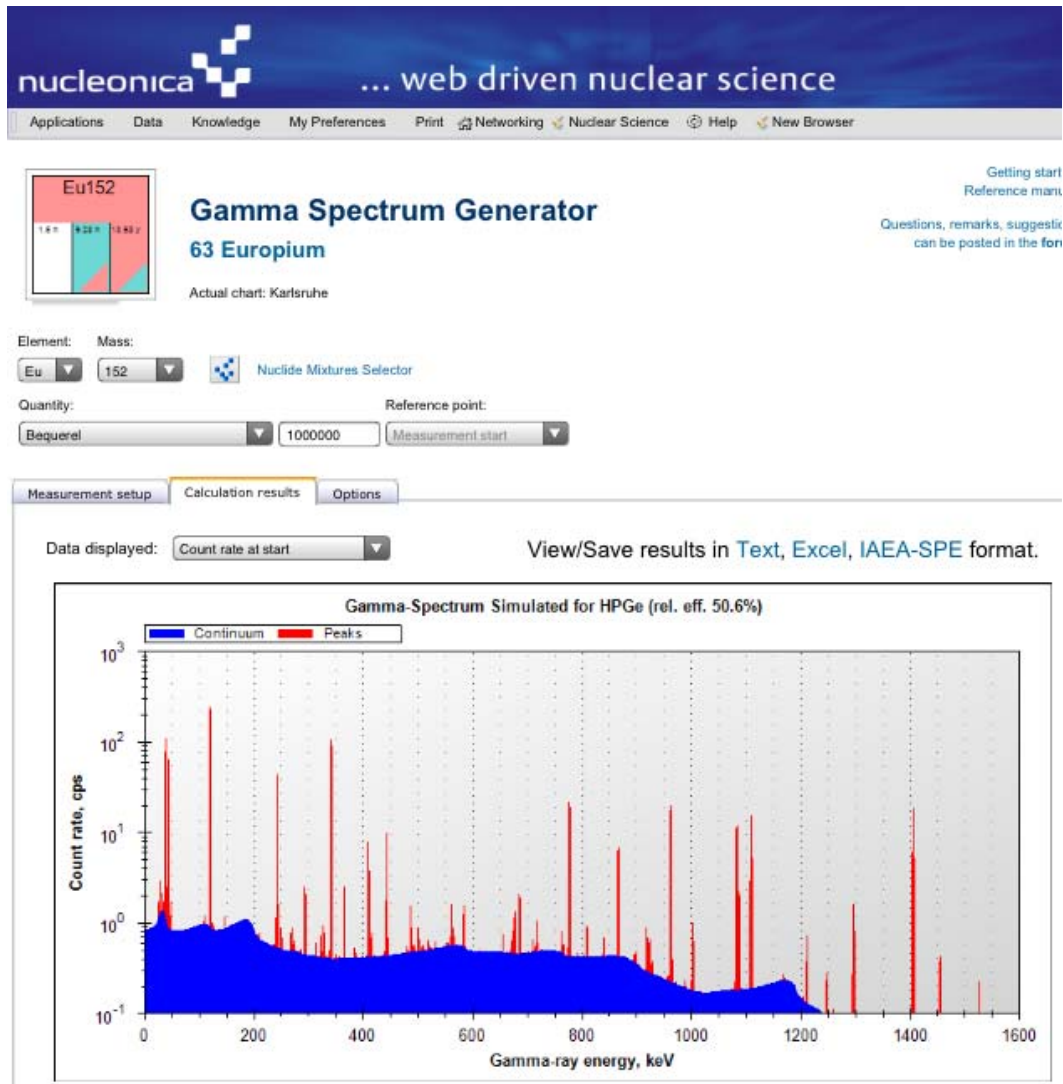


Fig. 5: GSG simulation of the gamma spectrum of Eu-152 using a HPGe detector.

### 3.6 Verification, Validation and Testing

For the physical scientist, it is primarily of importance to know if the calculated results are “correct” – i.e. to what extent the results agree with experiment and/or other computer programs. Validation assures that the results agree with experiments and/or other programs. The Nucleonica applications have undergone extensive validation. As an example of this, we describe briefly the validation of the Gamma Spectrum Generator application. Experimental measurements were performed with Cs137, Co60 and Eu152 thin standard spectrometry gamma ray sources. The sources were located on the detector axis and measured twice, at 5 cm and 17 cm from the detector end cap. Results are shown: Top: comparison of the calculated (curve) and experimental (circles) detector responses for a HPGe detector and point Cs137 source located at 17 cm distance from the detector end cap; Bottom: comparison of the calculated (curve) and experimental (circles) detector responses for a HPGe detector and point Eu152 source located at 17 cm distance from the detector end cap. Further details can be found in the references [7,8].

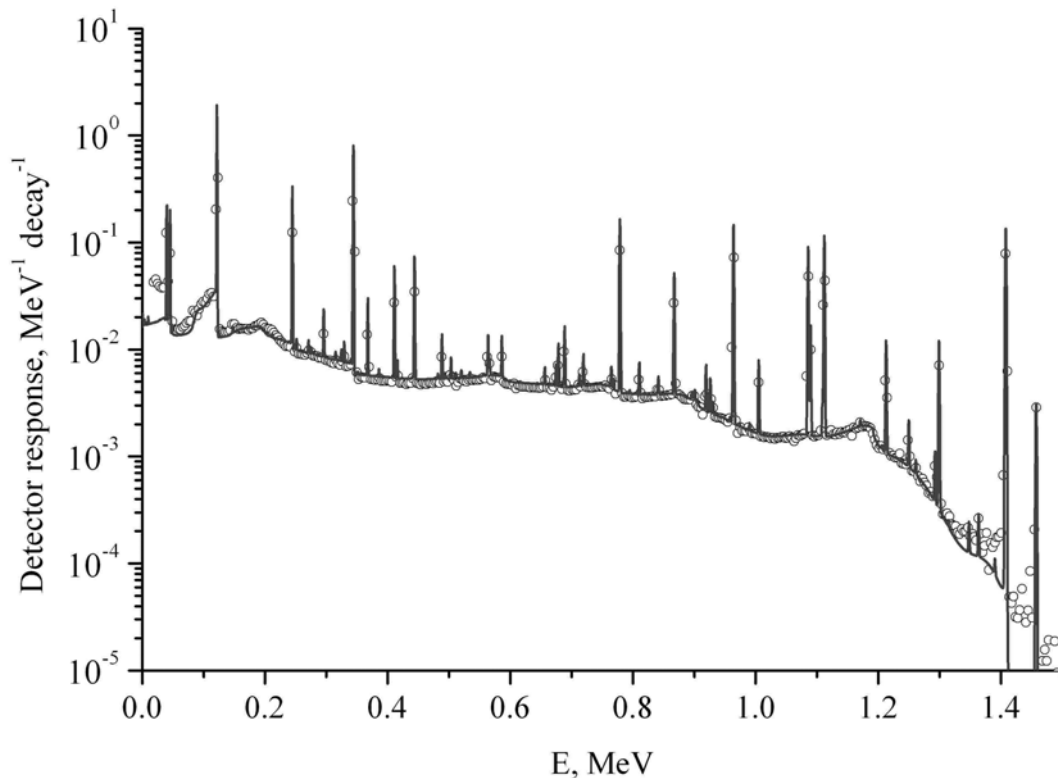


Fig. 6: Comparison of the calculated (curve) and experimental (circles) detector responses for a HPGe detector and point Eu152 source located at 17 cm distance from the detector end cap. Further details can be found in the references [6,7].

#### 4 Education and Training in Nuclear Science

The Nucleonica team is very much involved in training [5]. The courses are aimed at persons who provide technical support (measurements, interpreting results, drawing conclusions, making recommendations) for the actions in response to environmental radioactivity issues, nuclear security, nuclear decommissioning, etc. A unique feature of the courses is the emphasis on interactive and hands-on learning through the use of the Nucleonica applications - a suite of powerful and versatile web-based applications. A particular useful tool in this context is the Karlsruhe Nuclide Chart which is managed by the Nucleonica Team.

##### 4.1 The Karlsruhe Nuclide Chart

For education and training purposes, the Karlsruhe Nuclide Chart is an indispensable tool. For more than 50 years, the Karlsruhe Nuclide Chart has provided scientists and students with structured, accurate information on the half-lives and decay modes of radionuclides, as well as the energies of emitted radiation. An important characteristic of the Chart is its great didactic value in education and training in the nuclear sciences. The new 8<sup>th</sup> Edition of the "Karlsruher Nuklidkarte" [9] contains new and updated radioactive decay data on 737 nuclides not found in the previous (2006) edition. In total, nuclear data on 3847 experimentally observed ground states and isomers are presented.



Fig. 6: New 8<sup>th</sup> Edition (2012) of the Karlsruhe Nuclide Chart (fold-out chart)

## 6 References

- [1] A. Koning et al., "JEFF Report 21: The JEFF-3.1 Nuclear Data Library", OECD 2006. <http://www.oecd-nea.org/dbdata/jeff/>
- [2] Detailed references to Nucleonica nuclear data sources: [http://nucleonica.com/wiki/index.php?title=Help%3ANucleonica\\_Database#References](http://nucleonica.com/wiki/index.php?title=Help%3ANucleonica_Database#References)
- [3] R. Dreher, Modified Bateman solution for identical eigenvalues, Annals of Nuclear Energy, 53 (2013) 427–438.
- [4] Nucleonica's Range and Stopping Power application [http://www.nucleonica.com/wiki/index.php?title=Help%3ARange\\_%26\\_Stopping\\_Power](http://www.nucleonica.com/wiki/index.php?title=Help%3ARange_%26_Stopping_Power)
- [5] Information on past and future training courses can be found on the Nucleonica wiki at: <http://www.nucleonica.com/wiki/index.php?title=Category%3ATraining>
- [6] Nucleonica Forum: <http://www.nucleonica.net/forum/forumdisplay.php?3-General>
- [7] A. Berlizov, et al., A Collection of Reference HPGe Gamma-Spectra for Shielded / Unshielded Radionuclide Sources and Special Nuclear Materials, Technical Note JRC-ITU-TN-2009/25, 2009. See also: Fast and Accurate Approach to g-Spectrum Modelling: A Validation Study with a Shielded / Unshielded Voluminous Uranium Sample, Applied Radiation and Isotopes 68 (2010) 1822 – 1831.
- [8] V. Kleinrath, A Study of Gamma Interference Scenarios for Nuclear Security Purposes, Measurements and Modelling using the Nucleonica Tools, JRCITU-TN-2010/21.
- [9] J. Magill, G. Pfennig, R. Dreher, Z. Soti, Karlsruhe Nuklidkarte 8th Edition, 2008. For more information see <http://www.nucleonica.com/wiki/index.php?title=Category%3AKNC>

## QUALITÄTSSICHERUNG BEI DER EDELGASSPURENANALYSE

### QUALITY MANAGEMENT FOR NOBLE GAS TRACE ANALYSIS

S. Schmid<sup>1,\*</sup>, H. Gohla<sup>2</sup>, M. Konrad<sup>1</sup>, T. Kumberg<sup>1</sup>, C. Schlosser<sup>1</sup>

<sup>1</sup>*Bundesamt für Strahlenschutz (BfS), Freiburg, Deutschland*

<sup>2</sup>*Preparatory Commission for the Comprehensive Nuclear-Test-Ban Treaty (CTBT)  
Organization, Vienna International Centre, Vienna, Austria*

#### Zusammenfassung

Das Bundesamt für Strahlenschutz (BfS) betreibt seit den 70er Jahren Messsysteme zur Bestimmung der Aktivitätskonzentrationen von Krypton-85 und Xenon-133 in Luftproben. Zur Qualitätssicherung fehlt es bis heute an zertifizierten Standards mit stabilen Edelgasbeimengungen (zertifizierte Aktivitätskonzentrationen). Die Vertragsorganisation zur Überwachung des Kernwaffenteststoppabkommens (CTBTO, Comprehensive Nuclear-Test-Ban Treaty Organization) baut derzeit ein globales Edelgasmessnetz für die Verifikation der Einhaltung des Vertrages auf. In Zusammenarbeit mit der Vertragsorganisation erarbeitet das BfS derzeit Konzepte zur Qualitätssicherung für Edelgasmessungen. Es werden Möglichkeiten zur Qualitätssicherung auch ohne zertifizierte Standards mit Hilfe von Vergleichsmessungen zwischen einzelnen Laboratorien und internen Prüfungen erörtert. Die Ergebnisse von ersten Ringvergleichen der CTBTO mit synthetischen Proben für Radioxenon sind sehr vielversprechend.

#### Summary

The Federal Office for Radiation Protection operates measurement systems to determine the activity concentrations of Krypton-85 and Xenon-133 in air samples since the early 70s. Certified standards with stable noble gas admixtures are still missing for quality assurance (certified activity concentrations).

The Comprehensive Nuclear-Test-Ban Treaty Organization (CTBTO) is currently establishing a global noble gas monitoring network for the verification of compliance with the Treaty. In cooperation with CTBTO the BfS currently develops concepts of quality assurance for noble gas measurements. Opportunities for quality assurance without using certified standards are discussed by comparisons between individual laboratories and internal audits. The results from the first CTBTO laboratory intercomparison with synthetic radioxenon samples look very promising.

## 1 Einleitung

Das BfS betreibt seit den 70er Jahren ein manuelles Messsystem mit Proportionalzählrohren zur Bestimmung der Aktivitätskonzentrationen von Kr-85 (Halbwertszeit = 10,76 Jahre) und Xe-133 (Halbwertszeit = 5,24 Tage) in Luftproben [1, 2]. Seit Ende 2008 ist zusätzlich ein Xenonlaborsystem „SAUNA II Lab“ mit einem Beta-Gamma-Koinzidenzdetektor für die Messung von Xenonisotopen im Einsatz (siehe Abb.1).



Abb. 1: Xenonlaborsystem „SAUNA II Lab“

## 2 Interne Prüfverfahren

Vor der Inbetriebnahme der manuellen Messsysteme des BfS erfolgte zur Bestimmung der Nachweiswahrscheinlichkeit der Proportionalzählrohre eine Absolutkalibrierung [3]. Für die kontinuierliche Qualitätskontrolle werden Parameter wie Präzision, Linearität, Vergleichbarkeit der Zählrohre sowie Empfindlichkeit und Stabilität des Verfahrens regelmäßig unter anderem mit Hilfe interner Standards und wiederkehrender Prüfungen (WKP) überwacht.

Die Langzeitstabilität wird mit laborinternen Kr-85 Standards regelmäßig überprüft. Abbildung 2 zeigt die aufgenommene Abklingkurve mit einem internen Kr-85 Standard an zwei manuellen Messplätzen mit jeweils zwei Proportionalzählrohren.

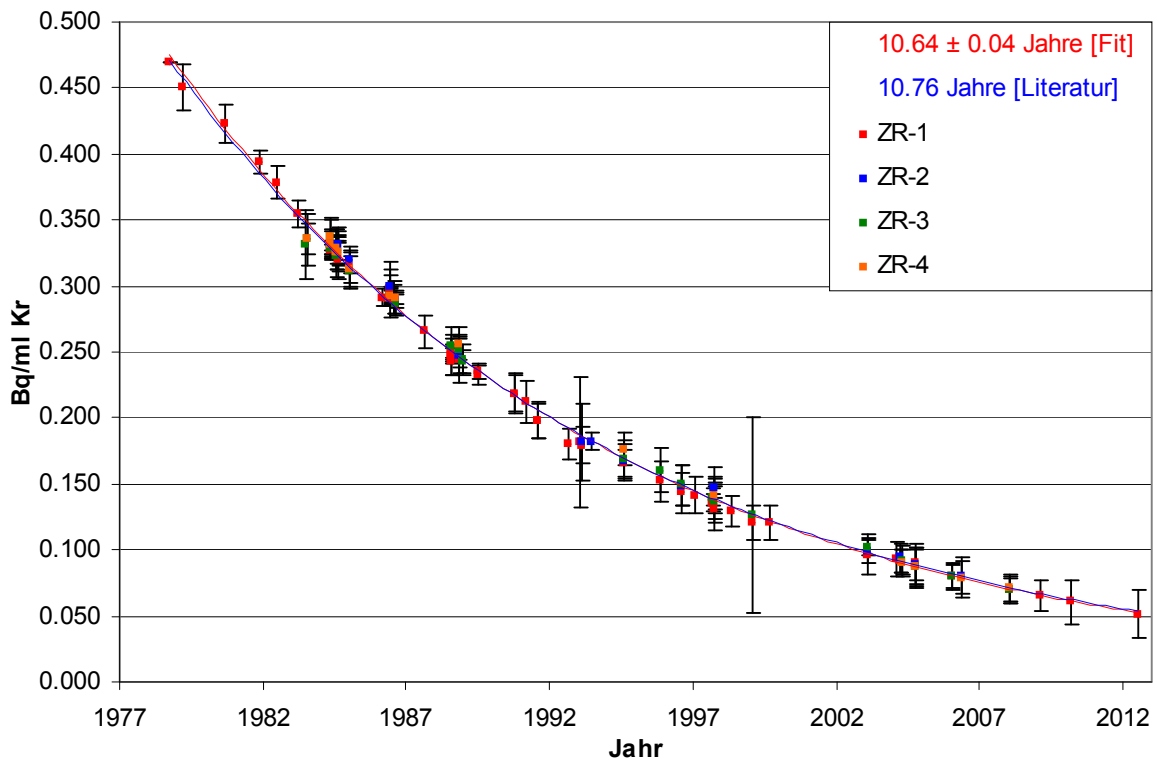


Abb. 2: Abklingkurve eines Kr-85 Standards

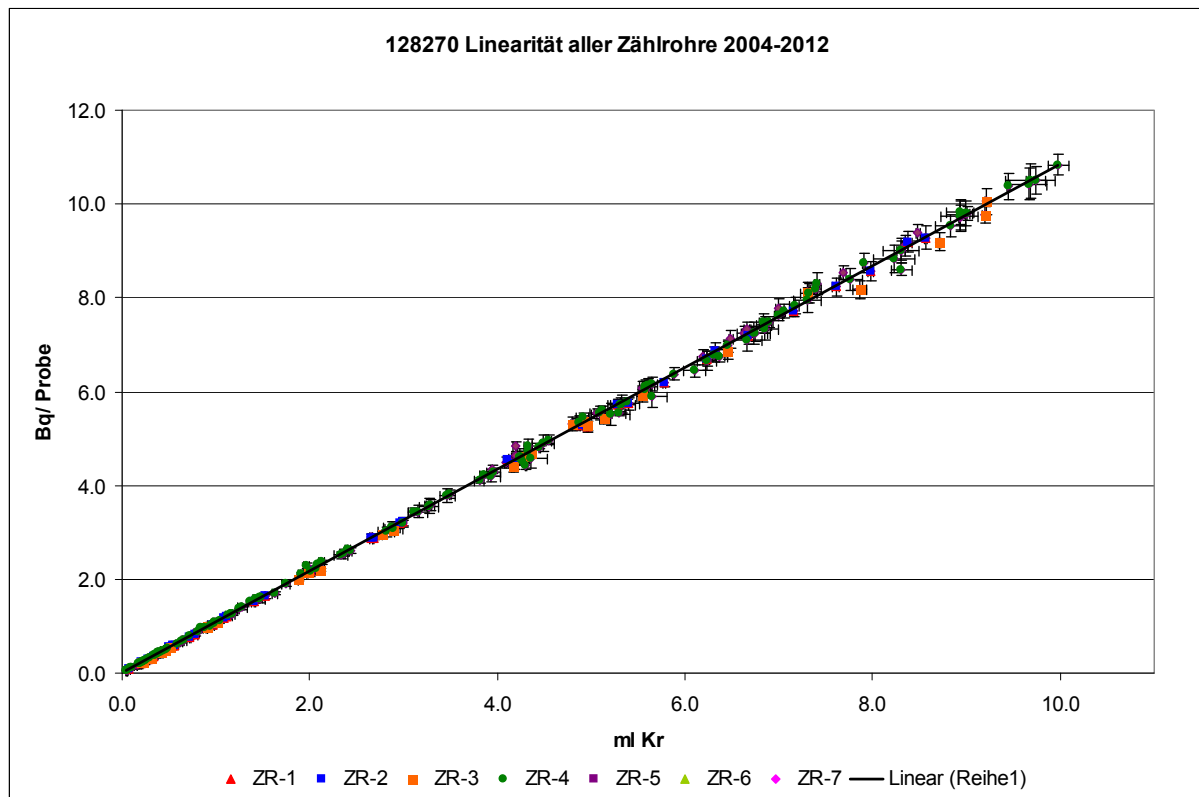


Abb. 3: Linearität der Zählrohre 1 bis 7 im Messzeitraum 2004-2012



Der Kurvenverlauf zeigt die Stabilität des Analyseverfahrens über Jahrzehnte hinweg, was durch die sehr gute Übereinstimmung der gefitteten Halbwertszeit von  $10,64 \pm 0,04$  Jahren mit dem Literaturwert von 10,76 Jahren belegt wird.

Um die Wiederholpräzision, die Laborpräzision sowie die Vergleichspräzision zu ermitteln, wurden von Beginn an Parallelproben (geteilte Proben) sowie Wiederholungsmessungen an wiederaufbereiteten Proben oder einem internen Kr-85 Standard durchgeführt. Die Linearität des Systems wird über die jährlich durchgeführte "Interne Kalibrierung" mit einem internen Kr-85 Standard ermittelt (Abb.3). Mit dem eingesetzten Verfahren können Aktivitäten, bezogen auf Beginn der Messung im Labor, in den Bereichen von 0,03 Bq bis 50 kBq für Kr-85 und 0,01 Bq bis 50 kBq für Xenonisotope bestimmt werden. Die für die Aufarbeitung der Proben und Bestimmung der stabilen Edelgasfraktion benötigten Luftvolumina betragen 1 m<sup>3</sup> (1,14 ml stabiles Krypton) für Kr-85 und 2 m<sup>3</sup> (0,174 ml stabiles Xenon) für Xenon. Alle Volumenangaben in diesem Beitrag werden unter STP Bedingungen angegeben (Standard Temperature and Pressure: 273,15 K und 1013,25 hPa).

### 3 Vergleichsmessungen:

Da bis heute rückführbare Referenzmaterialien mit stabilen Edelgasbeimengungen (zertifizierte Aktivitätskonzentrationen) fehlen, werden zur Prüfung der Richtigkeit der Messungen seit 1995 Vergleichsmessungen mit anderen Laboratorien durchgeführt. In Tabelle 1 sind beispielhaft fünf Vergleichsmessungen zwischen einzelnen Laboratorien dargestellt, welche unabhängig vom BfS und zum Teil auch mit anderen Messverfahren durchgeführt wurden.

Tabelle 1: Ergebnisse der Vergleichsmessungen

Datum	Parameter	Vergleichs-Labor	Messverfahren Vergleichslabor	Messergebnis Vergleichslabor	Messergebnis BfS *1)
1997	Kr-85	CIEMAT, Madrid	Liquide Sintilation Counter (LSC)	43,5 ± 2,2 dpm/ml Kr	41,8 ± 1,3 dpm/ml Kr 42,3 ± 1,3 dpm/ml Kr
2003	Kr-85	Universität Bern	Low-Level Proportionalzählrohr	74,2 ± 4 dpm/ml Kr	69,4 ± 2,1 dpm/ml Kr
2006	Xe-133	St. Petersburg	Germanium-detektor	2,59 ± 0,06 Bq/ml Xe	2,61 ± 0,10 Bq/ml Xe
		FOI, Stockholm	Beta-Gamma-Koinzidenz	2,56 ± 0,02 Bq/ml Xe	
2008	Kr-85	KRI	Germanium-detektor	1,56 ± 0,09 Bq/m <sup>3</sup> Luft	1,52 ± 0,05 Bq/m <sup>3</sup> Luft
2008	Kr-85	KRI	Germanium-detektor	1,53 ± 0,07 Bq/m <sup>3</sup> Luft	1,50 ± 0,01 Bq/m <sup>3</sup> Luft

\*1) Alle Ergebnisse stimmen innerhalb der Gesamtmessunsicherheiten (k=1) mit dem Vergleichslabor überein.

#### Abkürzungen

CIEMAT	Centro De Investigaciones Energeticas Medioambientales Y Tecnologicas, Madrid, España
FOI	Swedish Defense Research Agency, Stockholm, Sweden
KRI	Khlopin Radium Institute, St. Petersburg, Russian Federation

Die Messergebnisse stimmen innerhalb der Messunsicherheiten sehr gut überein und bestätigen damit, dass das Verfahren den Anforderungen an den Nachweis der Aktivitätskonzentrationen von Kr-85 und Xe-133 in Luftproben entspricht, also validiert ist.

## 5 Entwicklung eines Qualitätssicherungsprogramms

Der Nachweis radioaktiver Xenon-Isotope an weltweit 40 Edelgasstationen ist ein zentraler Bestandteil des internationalen Verifikationssystems zur Überwachung des Kernwaffenteststoppabkommens. Eine dieser Edelgasstationen wird vom BfS auf dem Schauinsland betrieben [4]. Im Edelgasmessnetz der CTBTO übernehmen entsprechend ausgerüstete Radionuklidlaboratorien dabei Aufgaben der Qualitätssicherung.

Aufgrund seiner langjährigen und vielfältigen Unterstützung der Vertragsorganisation hat das BfS Edelgaslaboratorium die Rolle des "Support Laboratory" für die CTBTO übernommen. In enger Zusammenarbeit mit der Vertragsorganisation wird an der Entwicklung eines Qualitätssicherungsprogramms mitgearbeitet. Zur externen Qualitätssicherung fehlt es auch hier bis heute an zertifizierten, rückführbaren Standards mit stabilen Edelgasbeimengungen (zertifizierte Aktivitätskonzentrationen). Eine besondere Herausforderung ist sowohl deren Herstellung als auch die regelmäßige Durchführung von Ringversuchen.



Abb. 4: Aufteilung eines Spikes in die Archivflaschen [Quelle: CTBTO]

Das BfS erarbeitet derzeit zusammen mit der Vertragsorganisation Konzepte für Vergleichsmessungen von Edelgasproben zwischen den Laboratorien mit Edelgasmess-technik und nimmt selbst mit seinen Xenonmesssystemen an den Ringversuchen teil. Im Jahr 2012 wurden von der Vertragsorganisation 3 solcher Ringversuche organi-

siert, an denen bis zu 8 Laboratorien teilnahmen. Hierzu wurden im Auftrag der CTBTO im Radionuklidlabor ATL03 (Seibersdorf, Österreich) Spike-Proben mit den Radionukliden Xe-133 und Xe-131m hergestellt (Abb. 4) und verschickt, so dass alle Laboratorien Proben gleicher Aktivitätskonzentrationen erhielten.

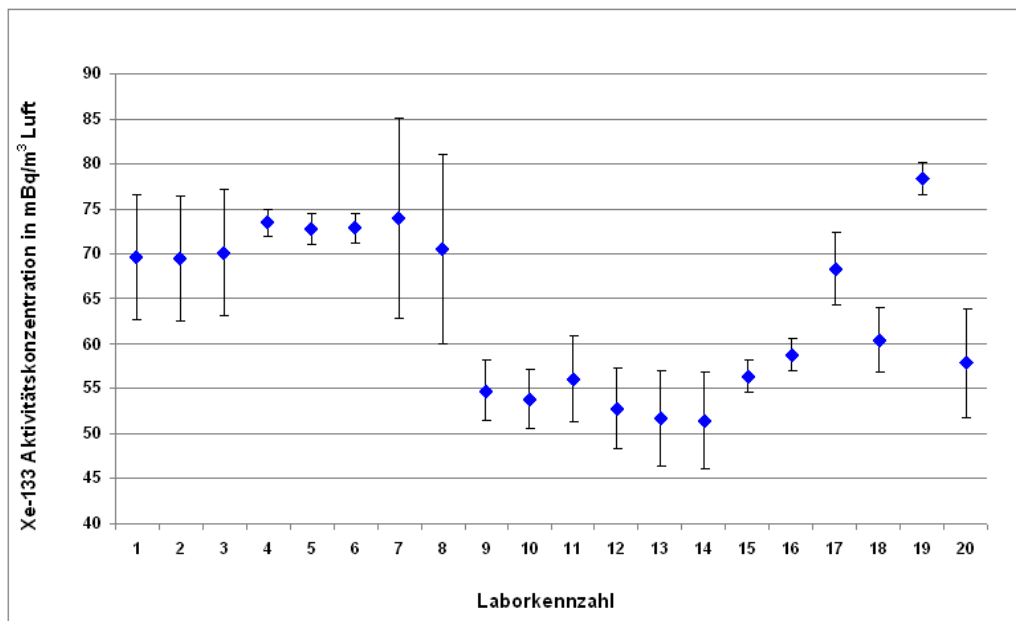


Abb. 5: Xe-133 Messergebnisse der teilnehmenden Laboratorien [Quelle: CTBTO]

Die vorläufigen Ergebnisse dieser Ringversuche zeigen Differenzen zwischen den einzelnen Laboratorien im Bereich von einigen 10 Prozent (Abb. 5). Da sich die in den einzelnen Laboratorien verwendeten Analysemethoden noch in der Entwicklung befinden, sind diese Abweichungen nicht ungewöhnlich. Insbesondere die für die Identifikation eines Kernwaffentests wichtige Bestimmung von Isotopenverhältnissen konnte von allen Laboratorien für Xe-131m und Xe-133 erfolgreich durchgeführt werden (Abb. 6).

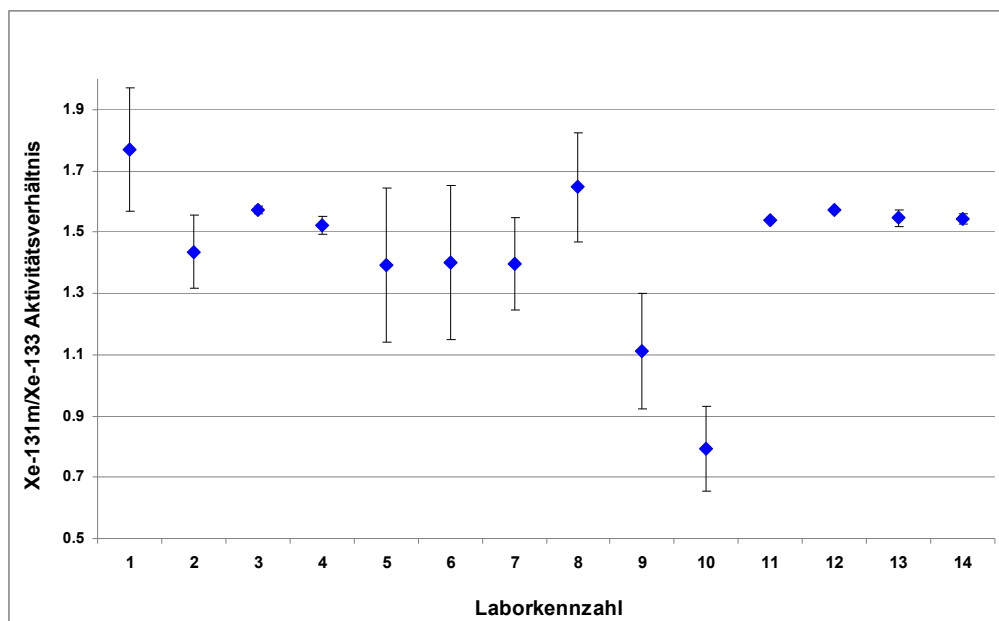


Abb. 6 Messergebnisse der Xe-131m/Xe-133 Isotopenverhältnisse [Quelle: CTBTO]

## 6 Schlussfolgerungen

Das BfS wird auch weiterhin eng mit der Vertragsorganisation in Wien zusammenarbeiten und sich an der weiteren Konzeption und dem Aufbau eines internationalen Qualitätssicherungsprogramms mit regelmäßigen Ringversuchen für Xenonmessungen in der Spurenanalyse maßgeblich beteiligen.

Die in diesem Jahr anstehende Akkreditierung des Edelgaslabors durch die Deutsche Akkreditierungsstelle GmbH (DAkkS) bietet die Möglichkeit, gerade auch international das Vertrauen in die Qualität unserer Messverfahren weiter zu erhöhen.

## 7 Literatur

- [1] Stockburger, A., H. Sartorius, A. Sittkus, Messung der Krypton-85- und Xenon-133-Aktivität der atmosphärischen Luft, Z. Naturforsch. 32a (1977), 1249-1253.
- [2] Sartorius, H., C. Schlosser, S. Schmid, W. Weiss Verfahren zur Bestimmung der Aktivitätskonzentration der atmosphärischen Edelgase Krypton-85 und Xenon-133, Blatt 3.4.9, Loseblattsammlung FS-78-15-AKU Empfehlungen zur Überwachung der Umweltradioaktivität, Juli 2002
- [3] Jochen Tschiersch, Untersuchung der atmosphärischen Ausbreitung durch Immissionsmessungen von Xenon-133 am Kernkraftwerk Fessenheim, Doktorarbeit an der Naturwissenschaftlichen-Mathematischen Gesamtfakultät der Ruprecht-Karls-Universität Heidelberg (1986)
- [4] Auer Matthias, Timo Kumberg, Hartmut Sartorius, Bernd Wernsperger, Clemens Schlosser, Ten Years of Development of Equipment for Measurement of Atmospheric Radioactive Xenon for the Verification of the CTBT, Pure and Applied Geophysics pageoph: Volume 167, Issue 4 (2010), 471 – 486, DOI: 10.1007/s00024-009-0027-y.

## **SCHULUNGEN, WORKSHOPS, TUTORIAL IM BEREICH IMIS/ NOTFALLSCHUTZSYSTEME – ANGEBOTE, ERFAHRUNGEN, ERKENNTNISSE, WEITERE PLANUNGEN, ANFORDERUNGEN**

J. Lieser, I.Strilek

*Bundesamt für Strahlenschutz, Berlin*

### **Kurzfassung:**

Die Schulungen und Workshops zur Nutzung des IMIS-IT-Systems sind in den letzten Jahren gut angenommen worden. Infolge von Personalfuktuation gibt es immer wieder Nachfragen nach den Grundlagenkursen. Zudem gibt es Anfragen zu bestimmten Themenbereichen. In einem Workshop sollen die bisherigen Angebote für Schulungen und Workshops vorgestellt und anschließend diskutiert werden in Hinblick auf Verbesserungen, Vereinheitlichungen, Möglichkeiten der Effizienzsteigerung, Nutzung des Tutorials und ggf. zusätzliche zukünftige Themenbereiche. Dies soll in eine längerfristige Workshop- und Schulungsplanung einfließen, die voraussichtlich auch Auswirkungen auf die notwendige Infrastruktur, bzw. ein Internet-/Tutorialangebot haben wird.

## **AKKREDITIERUNG VON MESSSTELLEN - MUSS DAS SEIN?**

Claus Wiezorek, Susanne Sandtner  
*Chemisches und Veterinäruntersuchungsamt MEL, Münster*

### **Kurzfassung**

Bei den §7-Messungen gemäß der bevorstehenden AVV StrahLeFu wird es erforderlich sein, die Qualifikation der verantwortlichen Untersuchungseinrichtung durch eine Akkreditierung zu belegen.

Diese ist nicht zwingend gleichzusetzen mit der Akkreditierung der beteiligten Messstellen.

Es werden verschiedene Situationen der Unterauftrags- bzw. Fremdvergabe an Messstellen dargestellt, welche den Anforderungen der für die Akkreditierung in Deutschland zuständigen Deutschen Akkreditierungsstelle GmbH genügen.

# Harmonisierung der Umweltüberwachung auf europäischer und internationaler Ebene

## Vorträge

Sitzungsleitung: Hr. Zähringer, Hr. Peter

**Zusammenfassung der Sitzung ..... 286**

Metrologische Beiträge zur Harmonisierung der Ortsdosisleistungs-  
Messungen europäischer Frühwarnsysteme

*S. Neumaier, H. Dombrowski ..... 287*

Normung im Strahlenschutz

*S. Neumaier, H. Dombrowski ..... 287*

## Poster

27 Mitgliedstaaten - Auswirkungen auf die Berichterstattung über  
Umweltradioaktivität der Europäischen Kommission

*J. Peter, A. Trugenberger-Schnabel ..... 289*

## **SITZUNG HARMONISIERUNG DER UMWELTÜBERWACHUNG AUF EUROPÄISCHER UND INTERNATIONALER EBENE**

Sitzungsleiter: **Hr. Zähringer Hr. Peter**  
*Donnerstag, 7.3.2013, 11:20 bis 12:00*

### **Zusammenfassung**

Herr Neumaier von der PTB berichtete über die Metrologie und die Harmonisierung von Ortsdosisleistungsmessungen. Hier ist die PTB die einzige Institution, die weltweit im Bereich der natürlichen Dosisleistung um 100nSv/h Kalibriermöglichkeiten anbietet, die auf Primärnormale zurückführbar sind. Die Harmonisierung dieser Messungen ist wichtig für den europäischen und internationalen Datenaustausch und erlaubt die Response der Geräte auf kosmischen und natürlichen Untergrund ausreichend genau zu beschreiben.

Herr Beck vom BfS erläuterte die Grundlegende Struktur der Normungen, die für Messungen der Radioaktivität relevant sind. Hierbei ist zwischen internationaler, europäischer und nationaler Norm zu unterscheiden. Wichtige Arbeitsfelder sind zurzeit Methoden zur schnellen Bestimmung von Radioaktivität. Vor allem Japan ist hier sehr interessiert. Grundsätzlich sind die Gremien von ISO, EN und DIN offen für neue Vorschläge, vorausgesetzt natürlich dass diese durch substantielle konkrete Vorschläge unterlegt sind.



## METROLOGISCHE BEITRÄGE ZUR HARMONISIERUNG DER ORTSDOSISLEISTUNGS-MESSUNGEN EUROPÄISCHER FRÜHWARNSYSTEME

S. Neumaier, H. Dombrowski

*Physikalisch-Technische Bundesanstalt, Bundesallee 100, 38116 Braunschweig*

### Kurzfassung

Seit dem Reaktorunfall von Tschernobyl 1986 wurden in fast allen Mitgliedstaaten der EU flächendeckende Messnetze zur Bestimmung der Ortsdosisleistung (ODL) externer Gamma-Strahlung eingerichtet. Die frühzeitige Erkennung und Beurteilung nuklearer Unfälle und ihrer möglichen radiologischen Folgen ist eine entscheidende Voraussetzung für ein adäquates staatliches Handeln. Europaweit sind, in allen nationalen Frühwarnsystemen zusammen, mehr als 4000 ODL-Messstellen im Betrieb, deren Messwerte im Ereignisfall mindestens stündlich an die EU-Kommission weiterzuleiten sind. Um vergleichbare Messergebnisse über Ländergrenzen hinweg zu erhalten besteht auch mehr als 25 Jahre nach dem Tschernobyl-Unfall ein Bedarf zur Harmonisierung der Mess- und Auswertemethoden der europäischen Frühwarnsysteme.

Die EURADOS-Arbeitsgruppe „Environmental Radiation Monitoring“ (WG3) beschäftigt sich seit 1999 mit den metrologischen Aspekten bei der Messung der ODL durch Frühwarnsysteme. In sechs europäischen Messvergleichen, durchgeführt durch die PTB (der letzte fand im September 2012 statt), wurden dabei bislang ca. siebenzig Messsysteme aus 20 europäischen Mitgliedstaaten untersucht und kalibriert. Die weltweit einzigartige Kombination von Referenzmessplätzen der PTB für die Umgebungsdosimetrie war dabei von zentraler Bedeutung. Diese Messplätze erlauben u. a. die selektive Bestimmung der Ansprechvermögen von Detektoren für Höhen- und für terrestrische Strahlung, die Bestimmung des Eigennulleffekts, die Messung der Energie- und Dosisleistungsabhängigkeit sowie die auf Primärnormale rückführbare Kalibrierung von Dosimetriesystemen bei niedrigen Dosisleistungen.

Die Referenzmessplätze für Umgebungsdosimetrie der PTB sowie Erkenntnisse und Folgerungen aus den europäischen Messvergleichen werden vorgestellt. Weitere Schritte zur Harmonisierung der ODL-Messnetze für die Umgebungsüberwachung in Europa werden diskutiert.

## NORMUNG IM STRAHLENSCHUTZ

T. R. Beck  
*Bundesamt für Strahlenschutz, Berlin*

### Kurzfassung

Normung ist die planmäßige, durch die interessierten Kreise gemeinschaftlich durchgeführte Vereinheitlichung von materiellen und immateriellen Gegenständen zum Nutzen der Allgemeinheit (DKE-GN/2-1:2000-11).

Die deutsche nationale Normungsorganisation ist das DIN. Für die Erarbeitung und Auslegung von Texten elektronischer Normen einschließlich Sicherheitsbestimmungen haben das DIN und der Verband Deutscher Elektrotechniker (VDE) die Deutsche Elektrotechnische Kommission im DIN und VDE (DKE) als gemeinsames Organ gegründet. Gemäß einem Vertrag zwischen der Bundesrepublik und dem DIN ist der DIN verpflichtet, technische Normen so zu schaffen, dass sie in der öffentlichen Verwaltung und im Rechtsverkehr als Umsetzung technischer Anforderungen herangezogen werden können und damit in Rechtsvorschriften auf sie Bezug genommen werden kann. Dies bedeutet, dass die Normen für eine Rezeption ohne jede inhaltliche Prüfung durch staatliche Instanzen geeignet sein sollen.

Das DIN ist Mitglied in der *International Organization for Standardization* ISO und der europäischen Normungsorganisation CEN. Der DKE ist Mitglied in der *International Electrotechnical Commission* (IEC) und der europäischen elektrotechnischen Normungsorganisation CENELEC.

Bei der ISO werden für den Strahlenschutz relevante Normen im technischen Komitee TC85/SC2 *Radiation Protection* erstellt. Das Arbeitsgebiet umfasst alle Normen auf den Gebieten des individuellen Schutzes (Arbeiter, Patienten, Personen der Bevölkerung) sowie des Schutzes der Umwelt vor ionisierender Strahlung. Eine Ausnahme bildet die Normung zur Analyse von radioaktiven Stoffen im Wasser. Dies erfolgt bei ISO im technischen Komitee TC147/SC3. Bei der IEC ist das technische Komitee TC45/SC45B *Radiation Protection Instrumentation* für die Normung von gerätetechnischen Anforderungen zur Messung ionisierender Strahlung am Arbeitsplatz und in der Umwelt zuständig. Die internationalen Arbeitsgruppen werden in nationalen Arbeitsgruppen des DIN und des DKE gespiegelt.

Es ist hervorzuheben, dass der DIN internationale Normen der ISO und der IEC in das deutsche Normenwerk unverändert übernimmt, sofern dem keine grundlegenden nationalen Einwände entgegenstehen. Bei europäischen Normen des CEN und des CENELEC ist der DIN infolge der Regelungen zur Harmonisierung des europäischen Binnenmarktes verpflichtet, diese Normen unverändert in das deutsche Normenwerk zu übernehmen.

## **27 MITGLIEDSTAATEN - AUSWIRKUNGEN AUF DIE BERICHTERSTATTUNG ÜBER UMWELTRADIOAKTIVITÄT DER EUROPÄISCHEN KOMMISSION**

### **27 MEMBER STATES – EFFECTS ON REPORTING OF THE BFS TO THE EUROPEAN COMMISSION ON ENVIRONMENTAL RADIOACTIVITY**

J. Peter, A. Trugenberger-Schnabel  
*Bundesamt Für Strahlenschutz, Neuherberg*

#### **Zusammenfassung**

Nach dem EURATOM-Vertrag von 1957 sollen alle Mitgliedstaaten kontinuierlich den Grad der Kontamination der Umwelt mit Radionukliden überwachen. In Deutschland sammelt und überträgt das Bundesamt für Strahlenschutz (BfS) die relevanten Messdaten zur Radioaktivität von Luft, Wasser, Milch und Nahrung an die gemeinsame Datenbank. Die Ergebnisse werden in Berichten der Europäischen Kommission (European Commission, EC), „Environmental Radioactivity in the European Community“ regelmäßig veröffentlicht. Durch das Anwachsen der Zahl der Mitglieder erhöht sich der Aufwand für die Aufbereitung und Präsentation der Daten entsprechend. Die Verantwortung für die Qualitätssicherung der Daten wurde deshalb zu großen Teilen den entsprechenden Organisationen in den einzelnen Mitgliedstaaten übertragen.

#### **Summary**

According to EURATOM treaty of 1957 all Member States shall carry out continuous monitoring of the level of radioactivity in the environment. For Germany, the BfS is responsible for collecting all the relevant measurement values for radioactivity in air, water, milk and diet. Results are published by the European Commission in a series of reports "Environmental Radioactivity in the European Community". Due to the increased number of member states the time and effort for compiling the reports has increased accordingly. Therefore in the future quality control will be laid in the responsibility of the individual collaborating organisation

#### **Hintergrund**

Durch das Zusammenwachsen der Europäischen Union mit inzwischen 27 Mitgliedern gewinnt auch die europäische Zusammenarbeit auf dem Gebiet des Strahlenschutzes an Bedeutung. Der Grundstein dazu wurde allerdings schon vor über 50 Jahren mit der Gründung der Europäischen Atomgemeinschaft (EURATOM) gelegt. Gleichzeitig mit dem Ziel der Friedenssicherung durch die „Vergemeinschaftung“ der Nukleartechnik wurden im EURATOM-Vertrag auch Möglichkeiten zur gegenseitigen Kontrolle geschaffen. So sollen gemäß Artikel 35 die Luft, das Wasser und der Boden kontinuierlich auf den Level der Radioaktivität überwacht werden:

*„Each Member State shall establish the facilities necessary to carry out continuous monitoring of the level of radioactivity in the air, water and soil and to ensure compliance with the basic standards” [1]*

Die Überwachung der Kontamination des Bodens wird aus praktischen Gründen durch Messungen in Milch überwacht, die ein guter Indikator für die Kontamination des Bodens sind.

Entsprechend Artikel 36 ist darüber regelmäßig an die Europäische Kommission zu berichten, um dieser einen aktuellen Überblick über die Strahlenexposition der Bevölkerung zu ermöglichen:

*“The appropriate authorities shall periodically communicate information on the checks referred to in Article 35 to the Commission so that it is kept informed of the level of radioactivity to which the public is exposed.” [1]*

Die Europäische Atomgemeinschaft ist nach dem Inkrafttreten des Vertrags von Lissabon am 1. Dezember 2009 und dem damit verbundenen Übergang der Europäischen Gemeinschaften in die Europäische Union als eigenständige Organisation verblieben, in ihrer Struktur der EU aber voll angegliedert. Die Zahl der Mitglieder der EURATOM hat sich von den ursprünglich sechs Mitgliedstaaten auf zurzeit 27 erhöht.

### **Die REM-Datenbank**

Im Oktober 1987 wurde beschlossen, eine REM-Datenbank (Radioactivity Environmental Monitoring) zu errichten und darin die nach Art. 35/36 EURATOM erhobenen Daten einzuspeisen. Als Startzeitpunkt für die Messdaten wurde der 1.1.1984 festgelegt. Der Datenbankserver wird vom Europäischen Joint Research Center (JRC) in Ispra, Italien betrieben.

Die Daten aus Deutschland werden, gekoppelt an die nationale Berichterstattung über Umweltradioaktivität, vom BfS technisch aufbereitet und übermittelt. Der größte Teil der Daten wird dabei dem Integrierten Mess- und Informationssystem für die Überwachung der Umweltradioaktivität (IMIS) entnommen. Für die Übertragung direkt in die REM-Datenbank steht ein spezielles PC-basiertes Übertragungsprogramm zur Verfügung. Da sich der Aufwand der zuständigen Stelle der EU für die redaktionelle Erstellung der Berichte durch die stark angestiegene Zahl der Mitglieder entsprechend vervielfacht hat, muss auch die Qualitätskontrolle der erzeugten Darstellungen von den jeweiligen Mitgliedstaaten durchgeführt werden.

### **Die Berichte über „Radioactivity Environmental Monitoring“**

Für jedes Berichtsjahr wird ein Bericht der Europäischen Kommission (EC) über „Radioactivity Environmental Monitoring“ herausgegeben. In der Vergangenheit geschah das teilweise unregelmäßig und in größerem zeitlichen Abstand. Dies war unter anderem darauf zurückzuführen, dass in den ständig neu hinzu gekommen Mitgliedstaaten erst die Infrastruktur für die Berichterstattung an die EC geschaffen werden musste. Das BfS hat die bisher erschienenen Berichte zusammengefasst [2]. Künftig sollen die Daten der Bevölkerung der Europäischen Union in aufbereiteter Form direkt über einen Webserver zur Verfügung stehen.

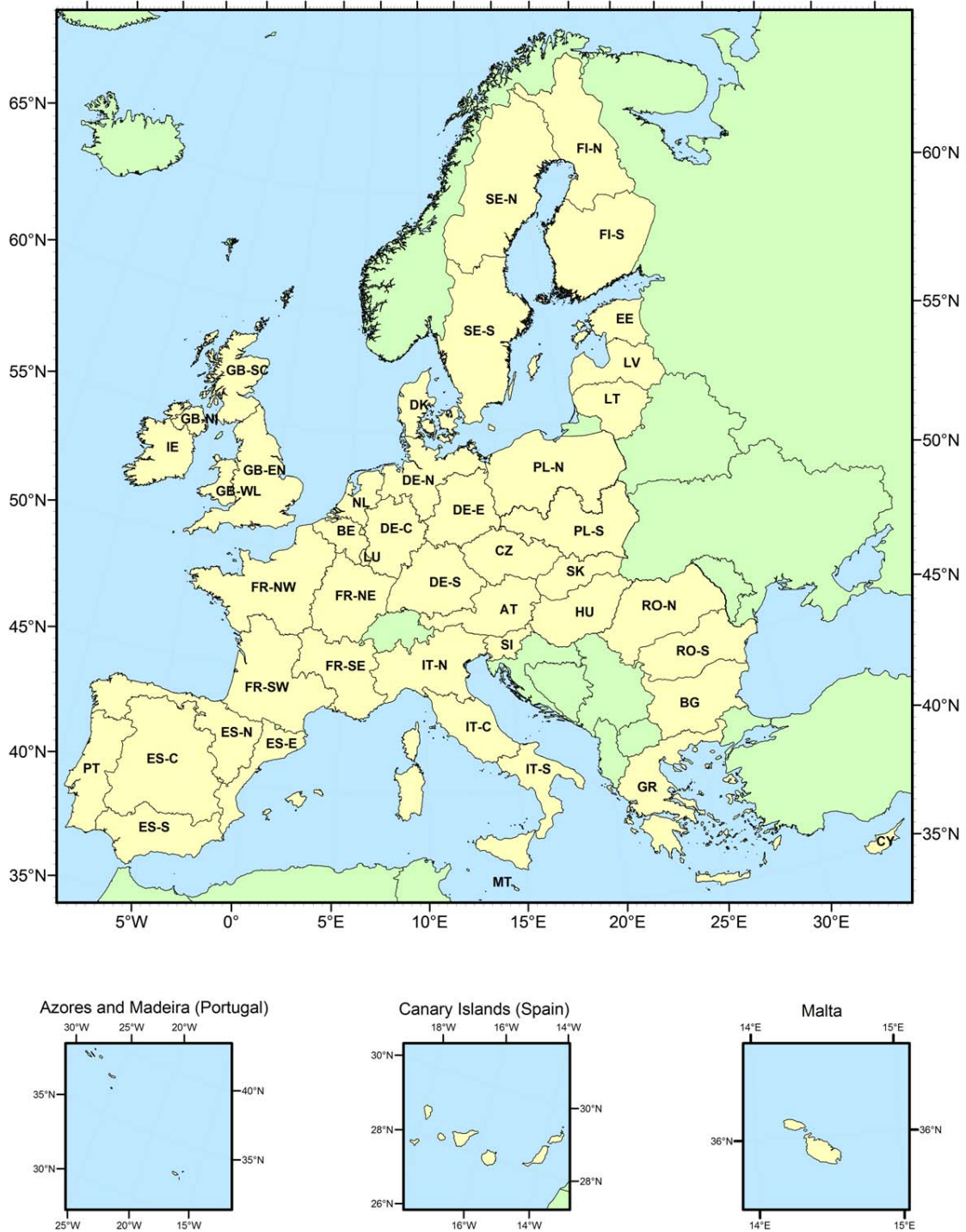


Abbildung 1: Definition der geografischen Regionen für die Berichterstattung über Umweltradioaktivität der Europäischen Kommission [3]

Da die europäischen Mitgliedstaaten in ihrer flächigen Ausdehnung sehr stark differieren, werden die größten Länder für die Zwecke der Berichterstattung in Regionen unterteilt (Abbildung 1). Für Deutschland sind dies:

- Germany-North (DE-N), bestehend aus den Bundesländern Bremen, Hamburg, Mecklenburg-Vorpommern, Niedersachsen und Schleswig-Holstein;
- Germany-Central (DE-C) mit Hessen, Nordrhein-Westfalen, Rheinland-Pfalz und Saarland;
- Germany-South (DE-S) mit Baden-Württemberg und Bayern sowie
- Germany-East (DE-E) mit Berlin, Brandenburg, Sachsen, Sachsen-Anhalt und Thüringen.

Für jede dieser Regionen werden von der Kommission Quartalsmittelwerte der Aktivitätskonzentrationen wichtiger Radionuklide (Tabelle 1) in Luft, Trinkwasser, Milch und Gesamtnahrung berichtet, sofern sie über dem jeweiligen „reporting level“ liegen.

*Tabelle 1: Definition der an die EC zu berichtenden Radionuklide in verschiedenen Umweltbereichen im SPARSE- und DENSE-Network.*

Umweltmedium	Kategorie der Messung	
	DENSE-Network	SPARSE-Network
Schwebstoffe in Luft	Cäsium-137, Gesamt-Beta	Cäsium-137, Beryllium-7
Luft	Ortsdosisleistung	Ortsdosisleistung
Oberflächenwasser	Cäsium-137, Rest-Beta	Cäsium-137
Trinkwasser	Tritium, Strontium-90, Cäsium-137 Natürliche Radionuklide*	Tritium, Strontium-90, Cäsium-137 Natürliche Radionuklide*
Milch	Strontium-90, Cäsium-137	Strontium-90, Cäsium-137, Kalium-40
Gesamtnahrung	Strontium-90, Cäsium-137	Strontium-90, Cäsium-137, Kohlenstoff-14
* in Übereinstimmung mit der Richtlinie 98/83/EG über die Qualität von Wasser für den menschlichen Gebrauch		

Ebenso wird für dieses sogenannte „DENSE Network“ pro Region der Jahresmittelwert, der höchste Monatswert und die Anzahl der Messpunkte und der Messungen angegeben (Abbildung 2).

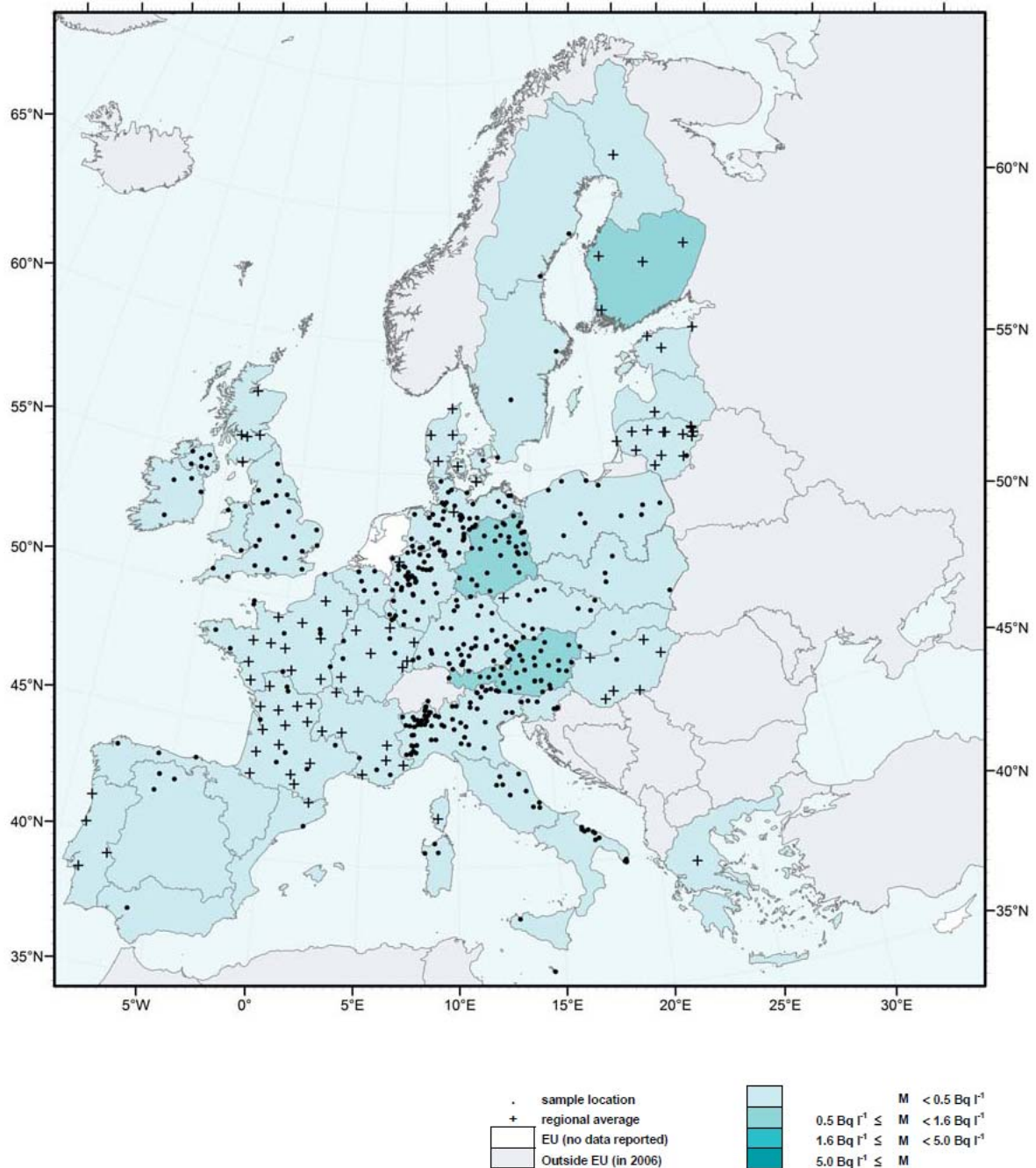
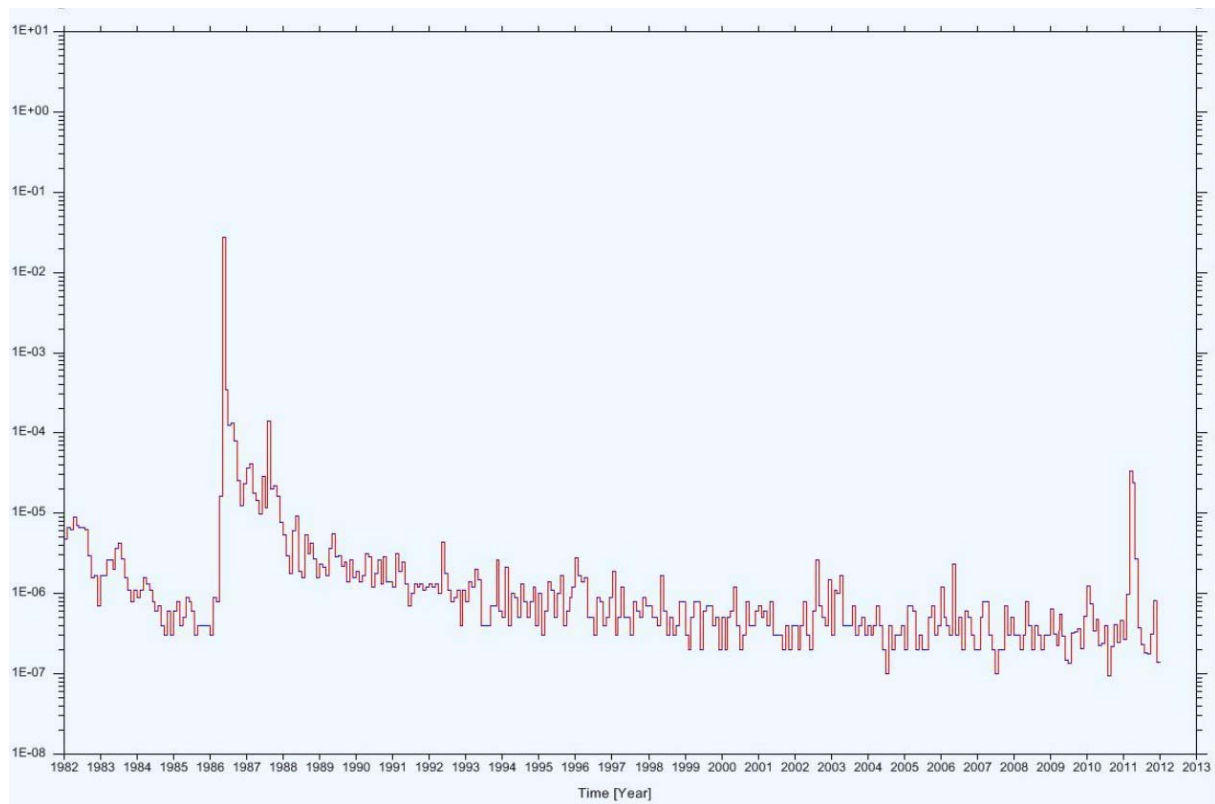


Abbildung 2: Messpunkte und regionale Mittelwerte der Kontamination von Milch mit Cäsium-137 im Jahr 2006 [3]

Während das DENSE-Network durch Mittelung über zahlreiche Proben einen belastbaren Überblick über die radiologische Lage geben soll, dient das SPARSE-Network zum Auffinden und zur Darstellung von Zeittrends. An einigen wenigen Messpunkten - meist nur einer pro Region - wird in geringerem zeitlichen Abstand, also z. B. monatlich, mit besserer Auflösung, d. h. mit niedrigerer Nachweisgrenze gemessen als im DENSE-Network. Da der Startzeitpunkt für die Datenerhebung für die REM-Datenbank auf das Jahr 1984 gelegt worden ist, kann man in den Zeitreihen verschiedener Umweltmedien bei den Cäsium-137-Konzentrationen den Einfluss des Reaktorunfalls in Tschernobyl deutlich erkennen. In den letzten Jahren sind die

meisten Messwerte, die Cäsium-137 betreffen, unter die Nachweisgrenzen der jeweiligen Messverfahren gesunken, so dass für die letzten Jahre kein Trend mehr erkennbar ist (Abbildung 3). Das nach dem Unfall in Fukushima emittierte Cs-137 ist jedoch klar nachweisbar.



*Abbildung 3: Trend der Cäsium-137-Aktivität in  $\text{Bq}/\text{m}^3$  von luftgetragenen Schwebstoffen in Braunschweig mit Spitzenwerten nach Tschernobyl und Fukushima.*

Es ist also zu erwarten, dass sich der Umfang der Information über den Status der Umwelt bezogen auf die Radioaktivität, der europaweit angeboten wird, stetig erhöht und vielleicht eines Tages die nationale Berichterstattung ablöst oder zumindest ergänzt. Dass dies sinnvoll ist, ergibt sich unmittelbar aus der bekannten Tatsache, dass Radioaktivität keine Grenzen kennt.

## Literatur

- [1] Vertrag zur Gründung der Europäischen Atomgemeinschaft (EURATOM) vom 25. März 1957, [http://eur-lex.europa.eu/de/treaties/dat/11957K/tif/TRAITES\\_1957\\_EURATOM\\_1\\_XM\\_0122\\_link111.pdf](http://eur-lex.europa.eu/de/treaties/dat/11957K/tif/TRAITES_1957_EURATOM_1_XM_0122_link111.pdf)
- [2] EU-Bericht, [http://www.bfs.de/de/bfs/publikationen/berichte/umweltradioaktivitaet/eu\\_bericht.html](http://www.bfs.de/de/bfs/publikationen/berichte/umweltradioaktivitaet/eu_bericht.html)
- [3] European Commission, Environmental Radioactivity in the European Community 2004-2006, EUR 23950 EN, Luxembourg 2009.



# Schlusswort

Johannes Kuhlen  
*Leiter des Referats RS II 5,  
Radioökologie, Überwachung der Radioaktivität in der Umwelt, Notfallschutz  
im Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit*

Zweck der Fachgespräche ist der Wissens- und Erfahrungsaustausch, zwischen Institutionen bei Bund und Ländern, die sich mit der Thematik „Umweltradioaktivität“ befassen. Hierunter fallen die verschiedensten Aufgaben und Tätigkeiten. Nachdem das vorherige Fachgespräch sich auf den Aspekt „IMIS“ konzentriert hatte, sollte mit dem diesjährigen, dem 15. Fachgespräch, wieder die gesamte Bandbreite der großräumigen Überwachung der Umweltradioaktivität und der Umgebungsüberwachung, sowohl im Normalfall als auch im Notfall abgedeckt werden. Dies ist nach meinem Eindruck gut gelungen.

Im Bereich der Messungen gab es interessante Beiträge, sowohl als Vorträge als auch als Poster, zur atmosphärischen Radioaktivität, zur Aktivität auf und im Boden sowie zur Aktivität in Gewässern. Ein großer Beitragsblock befasste sich mit Schnellmethoden zur Aktivitätsbestimmung. Die Einführung solcher Methoden gewinnt vor dem Hintergrund abnehmender Laborkapazitäten immer mehr an Bedeutung. Sie sind aber insbesondere für die Bereitstellung einer schnellen Lageinformation wichtig. Diese Thematik wurde daher auch in einem der Workshops vertieft behandelt.

Mehrere Beiträge befassten sich mit dem Nachweis von Radionukliden aus dem Fukushima-Unfall. Die in Deutschland installierten Systeme zur Überwachung der Umweltradioaktivität haben in diesem Zusammenhang eindrucksvoll ihre Leistungsfähigkeit bewiesen.

Ein derzeit aktuelles Thema wurde mit den Beiträgen zur „Asse“ angesprochen.

Auch der Themenbereich Qualitätsmanagement ist mittlerweile zu einem „Dauerbrenner“ geworden. In diesem Zusammenhang sind auch Weiterbildungsmaßnahmen, Maßnahmen zur Verbesserung der Labororganisation und Normungsaktivitäten zu sehen. Bei letzteren gewinnt die internationale Ausrichtung immer mehr an Bedeutung und stellt große Herausforderungen an die deutsche Mitwirkung in entsprechenden internationalen Gremien. Zusätzlich zu Plenarvorträgen und Postern konnten auch im Bereich Qualitätsmanagement Detailfragen in Workshops diskutiert werden.

Der Fukushima-Unfall war auch Thema von Beiträgen, die sich mit Modellrechnungen befasst haben. Das Ereignis bot eine Gelegenheit zu überprüfen, inwieweit die Modellrechnungen in der Lage waren, die beobachteten Kontaminationsmuster wiederzugeben. Eine breitere Diskussion des Einsatzes von Modellsystemen bei Ereignissen fand dann in einem Workshop statt. Modellrechnungen mit gänzlich

anderer Zielrichtung wurden außerdem in Zusammenhang mit der Endlagerung radioaktiver Abfälle vorgestellt.

Während des Fukushima-Unfalls zeigte sich, dass die Information der Öffentlichkeit eine große Herausforderung für alle Beteiligten darstellt. Dies betrifft sowohl die erforderlichen Ressourcen als auch die Inhalte und Mittel. Vor diesem Hintergrund waren in das Programm des Fachgesprächs auch eine Sitzung und ein Workshop zum Thema „Information der Öffentlichkeit bei lokalen und globalen Ereignissen“ aufgenommen worden.

In einem Fachgespräch zur Überwachung der Umweltradioaktivität darf IMIS als eine wesentliche Komponente der Umweltradioaktivitätsüberwachung natürlich nicht fehlen. Insbesondere wurde über den gegenwärtigen Stand und die Planungen zur Weiterentwicklung nach dem KOALA-Konzept berichtet.

Nach meinem Empfinden haben wir ein anregendes Fachgespräch mit überaus informativen Beiträgen und in angenehmer Atmosphäre erlebt. Hierfür möchte ich mich bei unserem Gastgeber, der Universität Bremen, 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, Herr Dr. Peter, Frau Beier und Frau Fehrenbach.

Natürlich bedanke ich mich last but not least bei Ihnen als Teilnehmern und hoffe, Sie auf dem nächsten Fachgespräch wiederzusehen.

# Abkürzungen

<b>AVV</b>	Allgemeine Verwaltungsvorschrift	<b>MRI</b>	Max Rubner-Institut, Bundesforschungsinstitut für Ernährung und Lebensmittel
<b>BDFC</b>	Biosphären-Dosiskonversionsfaktor	<b>NWG</b>	Nachweisgrenze
<b>BfS</b>	Bundesamt für Strahlenschutz	<b>ODL</b>	Ortsdosisleistung
<b>BGR</b>	Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe	<b>OS</b>	OpenSource
<b>BMU</b>	Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit	<b>OSPAR</b>	Oslo- Paris-Abkommen zum Schutz der Nordsee und des Nordostatlantiks
<b>BZE</b>	Programm zur Bodenzustandserhebung	<b>PTB</b>	Physikalisch-Technische Bundesanstalt
<b>CMS</b>	Content Management System	<b>REI</b>	Richtlinie zur Emissions- und Immissionsüberwachung kerntechnischer Anlagen
<b>CTBTO</b>	Comprehensive Nuclear-Test-Ban Treaty Organization	<b>RFÜ</b>	Reaktor-Fernüberwachung
<b>DLR</b>	Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt	<b>RMP</b>	Routinemessprogramm
<b>DWD</b>	Deutscher Wetterdienst	<b>RODOS</b>	Realtime Online Decision Support System
<b>ELAN</b>	Elektronische Lagedarstellung für den Notfallschutz	<b>StrVG</b>	Strahlenschutzvorsorgegesetz, Gesetz zum vorsorgenden Schutz der Bevölkerung gegen Strahlenbelastung
<b>EURDEP</b>	European Radiological Data Exchange Platform	<b>TOC</b>	Total Organic Carbon
<b>GIS</b>	Geoinformationssystem	<b>UTC</b>	Coordinated Universal Time, koordinierte Weltzeit
<b>HWZ</b>	Halbwertszeit	<b>WHO</b>	World Health Organization
<b>IAEA</b>	International Atomic Energy Agency	<b>WMO</b>	World Meteorological Organization
<b>IMIS</b>	Integriertes Mess- und Informationssystem		
<b>IMS</b>	International Monitoring System (CTBTO)		
<b>INSPIRE</b>	Infrastructure for Spatial Information in the European Community (Richtlinie der EU)		
<b>IRIX</b>	International Radiation Information eXchange (Standard der IAEA)		
<b>IRSN</b>	Institut de Radioprotection et de Sûreté Nucléaire		
<b>KFÜ</b>	Kernreaktorfernüberwachung		
<b>KKW</b>	Kernkraftwerk		
<b>KOALA</b>	Komponenten orientierte Architektur mit langfristiger Ausrichtung		
<b>LSC</b>	Liquid scintillation counting		

# Beiträge nach Nummern

## Poster

P005 .....	70
P009 .....	232
P013 .....	165
P019a .....	76
P022 .....	233
P031 .....	276
P036 .....	289
P039 .....	78
P040 .....	79
P043 .....	234
P047 .....	80
P048 .....	246
P049 .....	92

## Sitzungszusammenfassungen

S001 .....	13
S007 .....	249
S008 .....	41
S009 .....	223
S010 .....	286

## Vorträge

V001 .....	207
V004 .....	31
V006 .....	15
V007 .....	123
V008 .....	39
V010 .....	133
V011 .....	128
V012 .....	63
V014 .....	42
V015 .....	99
V016 .....	184

V017 .....	208
V018 .....	251
V019b .....	107
V020 .....	115
V021 .....	51
V023 .....	134
V024 .....	142
V025 .....	191
V026 .....	199
V027 .....	56
V028 .....	215
V029 .....	177
V030 .....	23
V032 .....	268
V033 .....	158
V034 .....	287
V035 .....	50
V037 .....	224
V038 .....	214
V041 .....	40
V042 .....	231
V044 .....	288
V046 .....	258

## Workshopbeiträge

W003 .....	242
W019c .....	131
W019d .....	283
W045 .....	284
W048 .....	246
W050 .....	173
W051 .....	185
WA1 .....	174
WB1 .....	241
WB2 .....	170
WC2 .....	129