



**Fachverband für Strahlenschutz e. V.**

Mitgliedsgesellschaft der  
International Radiation  
Protection Association  
(IRPA)  
für Deutschland  
und die Schweiz

# DIE ARBEITSKREISE

## STRAHLENSCHUTZ

### VON DEN GRUNDLAGEN ZUR PRAXIS

**Jahrestagung 2022**

**26. bis 30. September 2022**  
**Konstanz am Bodensee**



**Bandherausgeber:**  
Dipl.-Phys. Renate Czarwinski  
Dr. Jan-Willem Vahlbruch  
Dipl.-Ing. Martina Froning

**DIE ARBEITSKREISE**

**STRAHLENSCHUTZ**

**VON DEN GRUNDLAGEN ZUR PRAXIS**

**Jahrestagung 2022**

**26. bis 30. September 2022**  
**Konstanz am Bodensee**





**Fachverband für Strahlenschutz e. V.**

Mitgliedsgesellschaft der  
International Radiation  
Protection Association  
(IRPA)  
für Deutschland  
und die Schweiz

# **DIE ARBEITSKREISE**

## **STRAHLENSCHUTZ**

### **VON DEN GRUNDLAGEN ZUR PRAXIS**

**Jahrestagung 2022**

**26. bis 30. September 2022**  
**Konstanz am Bodensee**



**Bandherausgeber:**  
**Dipl.-Phys. Renate Czarwinski**  
**Dr. Jan-Willem Vahlbruch**  
**Dipl.-Ing. Martina Froning**

Das E-Book steht für Sie zusammengefasst in einer ZIP-Datei zum Download bereit unter:

[www.qm-aktuell.de/60759-2/](http://www.qm-aktuell.de/60759-2/)

Passwort: 22045

**Bibliografische Information der Deutschen Nationalbibliothek**

Die Deutsche Bibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliografie; detaillierte bibliografische Daten sind im Internet über <http://gnb.d-nb.de> abrufbar.

Die Inhalte dieses Werkes werden von Verlag, Herausgebern und Autoren nach bestem Wissen und Gewissen erarbeitet und zusammengestellt. Eine rechtliche Gewähr für die Richtigkeit der einzelnen Angaben kann jedoch nicht übernommen werden. Gleiches gilt auch für die Websites, auf die über Hyperlink verwiesen wird. Es wird betont, dass wir keinerlei Einfluss auf die Inhalte und Formulierungen dieser Seiten haben und auch keine Verantwortung für sie übernehmen.

Grundsätzlich gelten die Wortlaute der Gesetzestexte und Richtlinien sowie die einschlägige Rechtsprechung.

Gedruckt auf chlorfrei gebleichtem Papier.

ISSN: 1013-4506

ISBN: 978-3-7406-0759-3

© by TÜV Media GmbH, TÜV Rheinland Group, Köln 2022  
TÜV, TUEV und TUV sind eingetragene Marken der TÜV Rheinland Group. Eine Nutzung und Verwendung bedarf der vorherigen Zustimmung durch das Unternehmen.

Gesamtherstellung: TÜV Media GmbH, Köln 2022

Printed in Germany 2022



**Fachverband für Strahlenschutz e.V.**

Mitgliedsgesellschaft der  
International Radiation  
Protection Association  
(IRPA)  
für Deutschland  
und die Schweiz

**DIE ARBEITSKREISE**

---

**STRAHLENSCHUTZ**

**VON**

**DEN GRUNDLAGEN ZUR PRAXIS**

**Jahrestagung 2022**

**26. - 30. September 2022**

**Konstanz am Bodensee**



Bandherausgeber:  
Dipl.-Phys. Renate Czarwinski  
Dr. Jan-Willem Vahlbruch  
Dipl.-Ing. Martina Froning



## GRÜßWORT DER TAGUNGSPRÄSIDENTIN

Liebe Tagungsteilnehmerinnen und -teilnehmer,

Mit der 53. Jahrestagung 2022 des Fachverbandes für Strahlenschutz e. V., die vom 26.09. bis 30.09.2022 im Bodenseeforum in Konstanz stattfindet, möchten wir nach 10 Jahren an die Jahrestagung 2012 anknüpfen und eine Tagung von und insbesondere mit allen Arbeitskreisen gestalten. Daher wird diese Jahrestagung anders als die meisten der bisherigen Jahrestagungen ohne explizites Schwerpunktthema auskommen, sondern die Themen der Arbeitskreise, die den wissenschaftlichen Kern und die Basis für die Tätigkeit des Fachverbandes für Strahlenschutz e.V. (FS) bilden, stehen im Mittelpunkt der Tagung.



Uns erwartet ein breites Themenspektrum von den Grundlagen im Strahlenschutz bis hin zur Praxis, welches wir mit einem modernen, attraktiven und interaktiven Konzept mit topaktuellen fachlichen Beiträgen und der aktiven Einbeziehung aller Tagungsteilnehmer\*innen in Diskussionsrunden über Querschnittsthemen verwirklichen möchten. Mit Konstanz bietet sich ein historischer Tagungsort mit einer wundervollen Umgebung und mit dem Bodenseeforum ein modernes, flexibles Tagungscenter zur Umsetzung unseres Konzeptes an.

Um auch möglichst viele Schweizer FS-Mitglieder und am Strahlenschutz interessierte Fachleute aus der Schweiz, aus Deutschland und auch aus Österreich treffen zu können, haben wir einen Ort im Süden Deutschlands gewählt. Dies gibt uns die Möglichkeit, ressort- und länderübergreifend aktuelle Themen im Strahlenschutz und deren spezifische Umsetzung zu diskutieren und voneinander zu lernen. Als ein Beispiel möchte ich Radon erwähnen. Aber auch neue Anwendungen ionisierender und nichtionisierender Strahlung werden thematisiert und das zukünftige Wirken des FS und seiner Arbeitskreise debattiert.

Ich würde mich sehr freuen, wenn wir am Ende dieser Tagung viele neue praktische Erfahrungen, Ansätze für Innovationen und Impulse für die aktive Arbeit und für die strategischen Zielstellungen im FS mitnehmen können und die nationale und internationale Vernetzung intensiviert wurde.

Ich lade Sie herzlich ein, an der 53. Jahrestagung des FS teilzunehmen, Wissenschaft und Praxis sowie eine abwechslungsreiche Umgebung aktiv zu erleben.

Herzlichst Ihre

**Renate Czarwinski**

*Tagungspräsidentin*



## **GRÜßWORT DES LEITERS DER ABTEILUNG STRAHLENSCHUTZ BUNDESAMT FÜR GESUNDHEIT BAG**

Sehr geehrte Mitglieder des FS  
Werte Tagungsteilnehmer\*innen

Als Vertreter des Bundesamtes für Gesundheit (BAG) freut es mich sehr, mich zum Auftakt dieser Jahrestagung zu äussern. Das diesjährige Thema "*von den Grundlagen zur Praxis*" könnte auch als Motto für uns als Strahlenschutzbehörde gelten – allerdings sollten wir präzisieren, dass wir vor allem mit gesetzlichen Grundlagen umgehen. Beachten Sie dabei, dass das Strahlenschutzgesetz zurzeit teilrevidiert wird und die Vernehmlassung 2023 vorgesehen ist. Ein Ziel ist, das Verursacherprinzip zu konkretisieren, u.a. um die Jodtablettenverteilung zu finanzieren. Nicht betroffen sind die Grundprinzipien des Strahlenschutzes.



Umfassende Kenntnisse der Praxis sind für eine wirksame Aufsicht unerlässlich. Darum wollen wir direkt in den Spitälern oder Forschungsanlagen präsent sein, indem wir unsere Arbeit dort konzentrieren, wo das Risikopotenzial hoch ist. In der Medizin verbessert der Strahlenschutz auch die Versorgungsqualität und die Patientensicherheit. Unnötige Strahlenexpositionen von Patient\*innen sowie des Personals sollen vermieden werden. Dazu setzt das BAG ein Aufsichtsprogramm mit Vor-Ort Inspektionen und klinischen Audits um, wobei der Fokus auch auf der Rechtfertigung von Untersuchungen und Behandlungen liegt.

Das BAG setzt derzeit drei Aktionspläne um: den Aktionsplan Radon, um den Schutz in Gebäuden nachhaltig zu verbessern, den Aktionsplan Radium, um Altlasten aus der Uhrenindustrie zu bewältigen, und den Aktionsplan Radiss. Letzterer sieht die Verhinderung von Diebstählen, die Aufdeckung von illegaler Entsorgung sowie den Ersatz hochradioaktiver Quellen durch alternative Technologien vor.

Nach wie vor ist Notfallschutz eine wichtige Aufgabe, die in den letzten Monaten mit der Besorgnis um den Ukraine-Krieg noch an Bedeutung gewonnen hat. Hier können wir auch die Lehren aus der Pandemie nutzen. Um die Radioaktivität in der Umwelt zu überwachen, betreiben wir Messnetze, eine Messstation auf dem Jungfrauoch wird bald modernisiert.

Im Bereich nichtionisierende Strahlung und Schall sorgt das BAG für die Umsetzung der neuen Gesetzgebung. Diese regelt die sichere Verwendung von Solarien und von Produkten zu kosmetischen Zwecken, den Schutz des Publikums bei Veranstaltungen mit Laserstrahlung und Schall sowie das Verbot von gefährlichen Laserpointern.

Viele der obengenannten Themen werden an dieser Tagung angesprochen werden, mit ausgezeichneten Möglichkeiten, über unsere Grenzen hinweg voneinander zu lernen. Ich danke hiermit allen, die sich für den Strahlenschutz engagieren und wünsche allen Teilnehmenden einen fruchtbaren Austausch.

**Sébastien Baechler**  
*Leiter der Abteilung Strahlenschutz,  
Bundesamt für Gesundheit*

## GRÜßWORT DES OBERBÜRGERMEISTERS

Sehr geehrte Teilnehmerinnen und Teilnehmer,

ich freue mich, dass Sie für die 53. Jahrestagung des Deutsch-Schweizerischen Fachverbandes für Strahlenschutz e.V. unsere schöne Stadt ausgewählt haben und heiße Sie herzlich willkommen!

Konstanz besitzt als Tagungsort eine lange Tradition – wenn man so will weist unsere Stadt über 600 Jahre Tagungserfahrung auf: Während des Konstanzer Konzils von 1414-1418 rückte die Stadt vier Jahre lang ins Zentrum der europäischen Geschichte. Konstanz war damals eine bedeutsame Begegnungsstätte vieler europäischer Kulturen und dank seiner Lage im Herzen der Vierländerregion spielt der europäische Gedanke auch heute noch eine große Rolle in Konstanz.

Diesem Umstand haben wir es nun unter anderem verdanken, dass wir im Rahmen Ihrer Jahrestagung neben zahlreichen deutschen Strahlenschutzexperten und -expertinnen auch Teilnehmende aus der Schweiz sowie aus Österreich hier im Bodenseeforum begrüßen können. Das Bodenseeforum, unser Veranstaltungshaus direkt am Seerhein, öffnete 2016 und führt seither die Konstanzer Tagungstradition unter modernen Bedingungen fort. Sie finden hier mit Blick auf das Wasser ideale Voraussetzungen für die vor Ihnen liegenden fünf Tage.

Ich wünsche Ihnen in diesem Sinne eine erfolgreiche Jahrestagung und einen angenehmen Aufenthalt in unserer Stadt!

Ihr

**Uli Burchardt**

*Oberbürgermeister der Stadt Konstanz*





## KOMITEES

### **Tagungspräsidentin:**

**Renate Czarwinski**

*Vizepräsidentin des Fachverbandes für Strahlenschutz e. V.*

### **Programmkomitee:**

#### **Leitung**

**Jan-Willem Vahlbruch**

Frank Becker

*Vorsitzender des Arbeitskreises Ausbildung, IRS der Leibniz Universität Hannover*

*Vorsitzender des Arbeitskreises Dosimetrie, Karlsruher Institut für Technologie (KIT)*

Matthias Bothe

*Vorsitzender des Arbeitskreises Entsorgung, Verein für Kernverfahrenstechnik und Analytik Rossendorf e.V.*

Martin Brose

*stellv. Vorsitzender des Arbeitskreises Nichtionisierende Strahlung, Berufsgenossenschaft Energie Textil Elektro Medienerzeugnisse Köln*  
*Tagungspräsidentin, Vizepräsidentin des Fachverbandes für Strahlenschutz e.V.*

Renate Czarwinski,

Jörg Feinhals

*Geschäftsführer des Fachverbandes für Strahlenschutz e. V.*

Klaus Flesch

*Sekretär des Arbeitskreises natürliche Radioaktivität, Nuclear Control & Consulting GmbH*

Martina Froning

*Vorsitzende des Arbeitskreises Inkorporation und Mitglied des Direktoriums, Forschungszentrum Jülich GmbH*

Rainer Gellermann

*Direktoriumsmitglied des Fachverbandes für Strahlenschutz e.V., Nuclear Control & Consulting GmbH*

Rolf Hellhammer

*Vorsitzender des Arbeitskreises Praktischer Strahlenschutz, Helmholtz-Zentrum Berlin*

Gerd Koletzko

*Stellv. Vorsitzender des Arbeitskreises Medizinischer Strahlenschutz, Landesanstalt für Personendosimetrie und Strahlenschutz Ausbildung*

Joel Krühler

*Vorsitzender des Arbeitskreises Beförderung, Urenco Limited, Urenco Technology & Development, Gronau*

Ralf Kriehuber

*Vorsitzender des Arbeitskreises Strahlenbiologie, Forschungszentrum Jülich GmbH*

Rolf Michel

*Ehrenmitglied des Fachverbands für Strahlenschutz e.V.*

Joel Piechotka

*Sprecher der Jungen Mitglieder, Bundeswehr Zentralkrankenhaus Koblenz*

Susanne Pudollek

*Nationale Genossenschaft für die Lagerung radioaktiver Abfälle, Schweiz*

Stefan Prüssmann

*Vorsitzender des Arbeitskreises Notfallschutz, KHG Kerntechnische Hilfsdienst GmbH*

Hans-Dieter Reidenbach

*Vorsitzender des Arbeitskreises Nichtionisierende Strahlung, Institut für Angewandte Optik und Elektronik Köln*

Christoph Wilhelm

*Vorsitzender des Arbeitskreises Umweltüberwachung, Karlsruher Institut für Technologie*

Hans-Rudi Völkle

*Präsident des Fachverbandes für Strahlenschutz e.V. 2020 - 2022*

### **Organisationskomitee:**

**Leitung Petra Klein**

Renate Czarwinski

*stellv. Vorsitzende des Arbeitskreises Ausbildung, PIKKO Velbert*  
*Tagungspräsidentin, Vizepräsidentin des Fachverbandes für Strahlenschutz e.V.*

Martina Froning

*Vorsitzende des Arbeitskreises Inkorporation und Mitglied des Direktoriums, Forschungszentrum Jülich GmbH*

Regina Gutmann

*Endress+Hauser GmbH+Co. KG, Deutschland*

Sabine Mayer *Paul-Scherrer-Institut, Abteilung Strahlenschutz und Sicherheit, Schweiz*

Sven Nagels *Schatzmeister, Jülicher Entsorgungsgesellschaft für Nuklearanlagen mbH*

Joel Piechotka *Sprecher der Jungen Mitglieder, Bundeswehr Zentralkrankenhaus Koblenz*

Anke Piwetzki-Wenicker *Tagungsorganisation, Mitglied des Fachverband für Strahlenschutz e. V. ehrenhalber*

Sebastian Keppler *Tagungsorganisation mit Unterstützung von congress & more, Klaus Link GmbH*

## INHALTSVERZEICHNIS

Grußwort der Tagungspräsidentin.....	3
Grußwort des Leiters der Abteilung Strahlenschutz Bundesamt für Gesundheit BAG .....	4
Grußwort des Oberbürgermeisters .....	5
Komitees .....	1
Inhaltsverzeichnis.....	3
<b>AKA Ausbildung im Strahlenschutz .....</b>	<b>9</b>
Vorschlag zur Überarbeitung der Fachkunderichtlinie Medizin .....	11
Moderne Didaktik in der Strahlenschutzausbildung – Erfahrungen aus dem AKA und Ausblick.....	12
<i>Ariane Lorenz</i> .....	12
E-Learning vs. Präsenzveranstaltung – ein Pro und Kontra.....	12
<i>Charlotte Kaps<sup>1</sup>, Ariane Lorenz<sup>2</sup>, Jenny Kloska<sup>3</sup></i> .....	12
<b>AKB Beförderung.....</b>	<b>13</b>
Radioaktive Stoffe in besonderer Form - wichtige Aspekte im Zulassungsverfahren .....	15
<i>Annette Rolle, Frank Wille</i> .....	15
„«Class 7 box» Vorschlag für ein standardisiertes Versandstück für Post- und Paketdienste .....	21
<i>Ulrich Zimmermann<sup>1</sup>, Frank Koch<sup>2</sup></i> .....	21
<b>AKD Dosimetrie im Strahlenschutz .....</b>	<b>23</b>
Der „rAdiation protection co-pilot“: Ein Machine Learning unterstütztes Bestrahlungsszenario-Vorhersage-Tool .....	25
<i>Evelin Derugin<sup>1</sup>, Kevin Kröninger<sup>1</sup>, Olaf Nackenhorst<sup>1</sup>, Florian Mentzel<sup>1</sup>, Jörg Walbersloh<sup>2</sup>, Jens Weingarten<sup>1</sup></i> .....	25
Echtzeitdosimetrie in gepulsten Strahlungsfeldern – volldigitale Umsetzung.....	26
<i>Theresa Werner<sup>1</sup>, Jürgen Henniger<sup>1,2</sup>, Thomas Kormoll<sup>1</sup></i> .....	26
Strahlenrisiken durch Neutrinos - Die Herausforderungen eines zukünftigen Myonencolliders .....	33
<i>Markus Widorski, Claudia Ahida, Heinz Vincke, Pavol Vojtyla</i> .....	33
<b>AKE Entsorgung .....</b>	<b>35</b>
Die AGO-Gutachtergruppe und der Begleitprozess zur Rückholung der radioaktiven Abfälle aus der Schachtanlage Asse II.....	37
<i>Uwe Brückner<sup>1</sup>, Michael Bühler<sup>2</sup>, Rainer Gellermann<sup>3</sup>, Frank Hoffmann<sup>4</sup>, Jürgen Kreusch<sup>5</sup>, Ralf Krupp<sup>6</sup>, Markus Stacheder<sup>6</sup></i> .....	37
Herrenlose radioaktive Materialien im Metallrecycling.....	47
<i>Stefan Büchi, Sandro D'Amato, Florian Muller, Michel Hammans</i> .....	47
<b>AKI Inkorporation.....</b>	<b>55</b>
Novellierung der Richtlinie für die physikalische Strahlenschutzkontrolle zur Ermittlung der Körperdosen Teil 2 mit einheitlichen Regelungen für die Inkorporationsüberwachung .....	57
<i>Oliver Meisenberg, Simone Löscher</i> .....	57
Überwachungen in radiologischen Notfällen- Ein Anforderungskatalog zur Inkorporationsüberwachung von Personen.....	64
<i>Martina Froning<sup>1</sup>, Stephan Ebert<sup>2</sup>, Daniel Gehre<sup>3</sup>, Sven Hartmann<sup>4</sup>, Andreas Holz<sup>1</sup>, Peter Hill<sup>1</sup>, Ulrich Kratzel<sup>5</sup>, Winfried Lieberz<sup>6</sup>, Daniela Löhnert<sup>2</sup>, Günter Lünendonk<sup>1</sup>, Oliver Meisenberg<sup>7</sup>, Joel Piechotka<sup>8</sup>, Clemens Scholl<sup>6</sup>, Heike Stuhlfauth-Vonderau<sup>9</sup></i> .....	64

<b>AKMED Medizinische Aspekte des Strahlenschutzes.....</b>	<b>73</b>
Neue Entwicklungen und Herausforderungen im medizinischen radiologischen Notfallschutz.....	75
<i>Matthias Port<sup>1</sup>, Christain Reiners<sup>2</sup></i> .....	75
Die Themenfelder des medizinischen Strahlenschutzes und des AKMED.....	81
<i>Gerd Koletzko</i> .....	81
<b>AKN Notfallschutz.....</b>	<b>83</b>
Die Unterstützung der Sicherheitsbehörden durch das Bundesamt für Strahlenschutz.....	85
<i>Jens-Tarek Eisheh, Britta Lange</i> .....	85
Allgemeiner Notfallplan des Bundes nach § 98 des Strahlenschutzgesetzes (ANoPI-Bund).....	86
<i>Stefan Prüssmann</i> .....	86
<b>AKNAT Natürliche Radioaktivität.....</b>	<b>87</b>
Der Aktionsplan Radium in der Schweiz.....	89
<i>Martha Palacios, Christen Emanuel, Di Tommaso Gennaro, Estier Sybille, Flury Thomas, Stalder Claudio, Storch Daniel, Baechler Sébastien</i> .....	89
Radonmessungen an Arbeitsplätzen des Freistaates Sachsen.....	90
<i>Mandy Alisch-Mark, Janett Pezenka, Stefan Friedemann, Jacqueline Pianski, Thomas Heinrich</i> .....	90
Arbeitsschutzmaßnahmen zur Verringerung der Radonexposition an Arbeitsplätzen der Wasserversorgung mit Praxisbeispielen.....	91
<i>Thorsten Tennstedt</i> .....	91
<b>AKNIR Nicht-ionisierende Strahlung.....</b>	<b>97</b>
Sonnenschutz bei der Arbeit: Eine Übersicht zu den Kampagnen-Aktivitäten in der Schweiz.....	99
EMFV und deren Konkretisierung durch Technische Regeln (TREMf).....	99
<i>Peter Jeschke<sup>1</sup>, Carsten Alteköster<sup>2</sup>, Romanus Erik<sup>1</sup></i> .....	99
<b>AKP Praktischer Strahlenschutz.....</b>	<b>101</b>
Operativer Strahlenschutz am SwissFEL.....	103
<i>Lumen Haendler, Markus Hunziker, Albert Karcher, Lisa Pedrazzi, Christina Wouters, Sabine Mayer</i> .....	103
Online-Dosisleistungsüberwachung beim Freie-Elektronen-Röntgenlaser SwissFEL.....	103
<i>Eike Hohmann, Christine Harm, Lisa Pedrazzi, Walter Nick, Sabine Mayer</i> .....	103
Herausforderungen beim Umgang mit hochaktiven Beschleunigerkomponenten: Von der Planung bis zur Reparatur.....	104
<i>Sophie Harzmann, Lisa Pedrazzi, Sabine Mayer</i> .....	104
<b>AKR Rechtliche Aspekte des Strahlenschutzes.....</b>	<b>105</b>
Die 4. Änderungsverordnung zur StrlSchV.....	107
<i>Astrid Lange</i> .....	107
Die SEWD-Richtlinie – eine Richtlinie ohne Rechtsgrundlagen?.....	107
<i>Astrid Lange</i> .....	107
"Gut Ding will Weile haben": Zum Beschluss des Bundesverfassungsgerichts vom 7.12.2021 zum Umschlagverbot von Kernbrennstoffen in bremischen Häfen.....	108
<i>Ulrike Feldmann</i> .....	108
<b>AKS Biologische Strahlenwirkung.....</b>	<b>115</b>
Analysis of chromosomal aberrations after exposure to the Auger electron emitter Iodine-125, the $\beta$ -emitter Tritium and Caesium-137 $\gamma$ -rays.....	117
<i>Marcus Unverricht-Yeboah, Ralf Kriehuber</i> .....	117

Effects of ionizing radiation on human neural progenitor cells and neural differentiation in a 3D cell model...	118
<i>Jin-Ho Lee, Sabine Schmitz, Ralf Kriehuber</i> .....	118

## **AKSIGMA Nachweisgrenzen..... 119**

Ein Vergleich der metrologischen Konzepte aus der Sicht des richtigen Gebrauchs der Fachbegriffe .....	121
<i>Jonny Birkhan</i> .....	121
Berücksichtigung von Unsicherheiten und die Bestimmung von charakteristischen Grenzen in gammaskopimetrischen Fassmessungen .....	121
<i>Martin Dürr, Kai Krycki, Andreas Havenith</i> .....	121
Erkennen wir mögliche statistische Fehlschlüsse bei der Auswertung unserer Messungen oder akzeptieren wir Ergebnisse "mit an Wahrscheinlichkeit grenzender Sicherheit"? .....	123
<i>Boris Kraut, Wolfgang Kraut</i> .....	123

## **AKU Umweltaktivität ..... 129**

Überwachung und Bilanzierung von I-123 in der Fortluft .....	131
<i>Marcus Walter, Jana Scheibke, Michael Kaden</i> .....	131
<sup>137</sup> Cs und <sup>90</sup> Sr auf der Spur – Spurenanalyse zur Überwachung der Radioaktivität in der Umwelt am Bundesamt für Strahlenschutz .....	135
<i>Sandra Baur, Sabine Schmid, Jacqueline Bieringer, Andreas Bollhöfer</i> .....	135
Radioökologische Untersuchung einer Altlast in Süddeutschland.....	141
<i>Frederike Dohrmann, Lena Drieling, Stefan Bister, Clemens Walther</i> .....	141

## **YP Young Professionals ..... 143**

Erkennung und Quantifizierung von Anomalien in ODL-Messreihen der Umweltradioaktivität mit Hilfe von künstlicher Intelligenz.....	145
<i>Harald Breitkreutz<sup>1</sup>, J. Mayr<sup>1</sup>, M. Bleher<sup>2</sup>, S. Seifert<sup>2</sup>, U. Stöhlker<sup>3</sup></i> .....	145

## **Diskussionsrunden..... 147**

Diskussionsrunde 1: Weiterentwicklung im Strahlenschutz – Erwartung an die ICRP .....	149
Ein Ampelmodell für den Strahlenschutz .....	149
<i>Hansruedi Völkle</i> .....	149
Diskussionsrunde 2: Technische Regeln zur EMFV .....	156
Diskussionsrunde 3: Technische Regeln zur EMFV .....	156
Diskussionsrunde 4: Kommunikation mit der Bevölkerung im Angesicht des Ethik-Codes des FS .....	157
Diskussionsrunde 5: Erste Ergebnisse aus Radonmessungen an Arbeitsplätzen – was nun?.....	159
Diskussionsrunde 6: Dosimetrie: Gestern, heute und morgen .....	159
70 Jahre Personendosisüberwachung in Deutschland – Vergangenheit und Zukunft .....	160
<i>Markus Figel</i> .....	160
Neue Messgrößen für den Strahlenschutz – wird sich der Strahlenschutz nun grundlegend ändern? .....	161
<i>Thomas Otto<sup>1,2</sup></i> .....	161
Diskussionsrunde 7: Der FS – seine Chancen und seine Zukunft.....	168

## **Posterbeiträge ..... 171**

P1: Erweiterung der Einsatzmöglichkeit des FRES-Systems zur automatisierten Charakterisierung großer Mengen an Schüttgütern .....	173
<i>Frank Scheuermann, Christoph Klein, Marina Sokcic-Kostic, Felix Langer</i> .....	173
P2: Aerosolüberwachung für den Umgang mit radiopharmazeutischen Alphanuklidern .....	179
P3: IDEA-SD: Eine neue Software zur Optimierung der Dosimetrie der Schilddrüse bei der Radioiodtherapie 185	
<i>Hans Richard Doerfel</i> .....	185



P4: Das neue TL-DOS Personendosimeter - technische und dosimetrische Eigenschaften.....	185
<i>Jörg Walbersloh<sup>1</sup>, Elena Lynnyk<sup>1</sup>, Marion Schulte<sup>1</sup>, Kevin Kröniger<sup>2</sup>, Jens Weingarten<sup>2</sup></i> .....	185
P5: Dosimetrische Qualitätskontrolle von Blutbestrahlungsanlagen mit Thermolumineszenz-Detektoren.....	186
<i>Marion Schulte, Olena Lynnyk, Jörg Walbersloh</i> .....	186
P6: Dosisermittlungen im antropomorphen Phantom in der CT mit TLD und Filmdosimetrie und Vergleich mit Berechnungsverfahren .....	187
<i>Moritz Schneider<sup>1</sup>, Klaus Herz<sup>2</sup>, Leone Neubauer<sup>2</sup>, G. Grözinger<sup>3</sup>, G. Fehrenbacher<sup>2</sup>,</i> .....	187
P7: Röntgenstrahlungsemission von Elektronenröhren bei Hochspannungen unter 30kV .....	193
<i>Andreas Schirmer, Hartwig Pöttgen, Marc Kersting</i> .....	193
P8: Umsetzung der Anforderungen im öffentlichen Raum und im Arbeitsschutz hinsichtlich der Exposition mit elektrischen Feldern durch Höchstspannungs-Freileitungen und –Anlagen.....	199
P9: Erste Auswirkungen des Laserpointerverbots gemäss Bundesgesetz über den Schutz vor Gefährdung durch nichtionisierende Strahlung und Schall (NISSG) in der Schweiz.....	207
<i>Yannik J. Waeber</i> .....	207
P10: PEROSH information workshop "EMF Exposure of Electronic Article Surveillance Systems at Workplaces .....	211
<i>Peter Jeschke<sup>1</sup>, Klaus Schiess<sup>2</sup></i> .....	211
P11: Die Technischen Regeln "Elektromagnetische Felder" aus der Sicht eines Arbeitgebers - Chance oder Bürde? .....	211
<i>Ralf Bodemann</i> .....	211
P12: Erneuerung von Fortluftbilanzierungsanlagen nach ISO 2889 und Vergleich mit früheren Messsystemen.....	213
<i>Jan Züllig, Martin Wiedemeier, Christine Harm, Nick Walter, Sabine Mayer</i> .....	213
P13: 29 Genehmigungen, 2 Aufsichtsbehörden, eine Strahlenschutzorganisation?.....	220
<i>Sven Nagels</i> .....	220
P14: Das Quelleninventar des Paul Scherrer Instituts.....	220
<i>Albert Karcher, Marcel Arnold, Christine Harm, Nick Walter, Sabine Mayer</i> .....	220
P15: Stilllegung von Kernanlagen: Die Arbeit der Radioanalytik für Rückbau und nukleare Entsorgung.....	221
<i>Andreas Brand, Fabian Köhler, Maya Jäggi, Martin Heule, Nick Walter, Sabine Mayer</i> .....	221
P16: Personensicherheitssysteme am PSI .....	222
<i>Christine Harm, Eike Hohmann, Albert Karcher, Nick Walter, Sabine Mayer</i> .....	222
P17: Strahlenschutz on Tour - Tätigkeit in fremden Strahlenschutzbereichen .....	225
<i>Almut Geisler<sup>1</sup>, Jens-Uwe Gölling<sup>2</sup>, Ursula Ham<sup>3</sup>, Siegfried Krüger<sup>4</sup>, Sandra Morawitz<sup>5</sup>, Josef Schober<sup>6</sup></i> ....	225
P18: Strahlenschutzmailinglisten- Silbernes Jubiläum .....	225
<i>Peter Hill</i> .....	225
P19: Neue Konzepte in der Strahlenschutzausbildung.....	226
<i>Andreas Steege, Karola Schulz, Charlotte Kaps</i> .....	226
P20: Sicherer Betrieb beim Umgang mit dem Agilent Elektroneneinfang Detektor ECD.....	226
<i>Astrid Engel</i> .....	226
P21: Strahlenschutz an Schulen – die neue RiSU .....	227
<i>Astrid Lange<sup>1</sup>, Jan-Willem Vahlbruch<sup>2</sup></i> .....	227
P22: Das RadLAB – ein mobiles Schülerlabor zum Thema Radioaktivität.....	227
<i>Jan-Willem Vahlbruch, Clemens Walther</i> .....	227
P23: Blended Learning in Strahlenschutzkursen: Claas' Welt.....	228
<i>Michael Steppert<sup>1</sup>, Silvia Feil<sup>2</sup>, Claudia Frie<sup>2</sup>, Martha Herbold<sup>2</sup>, Jan-Lukas Karzewsky<sup>1</sup>, Jesko Thiel<sup>2</sup>, Jan-Willem Vahlbruch<sup>1</sup>, Leo Wujec<sup>1</sup></i> .....	228
P24: Experience in the disposal of lead protection for patients in radiology: practical aspects and communication to the population and healthcare professionals.....	229

	<i>Gianluca Paterniti<sup>1</sup>, Stefano Presilla<sup>1</sup>, Marco Budin<sup>1</sup>, Gabrio Cadei<sup>1</sup>, Margarida Caetano Ferreira da Silva<sup>1</sup>, Simone Ferrari<sup>1</sup>, Michel Kayar<sup>1</sup>, Giovanni Libonati<sup>2</sup>, Luca Bellesi<sup>1</sup>, Francesco Magoga<sup>1</sup>, Stefan Pittaluga<sup>1</sup>, Paolo Premazzi<sup>1</sup>, Ermidio Rezzonico<sup>1</sup>, Vujadin-Uros Simic<sup>1</sup>, Filippo Del Grande<sup>1</sup>, Francesco Mascaro<sup>1</sup>.....</i>	229
P25:	Messverfahren eines akkreditierten Prüflaboratorium für feste und flüssige Proben im Strahlenschutz ....	230
	<i>Martina Froning, Burkhard Heuel-Fabianek, Andreas Holz, Eberhard Kümmerle, Günter Lünendonk, Myroslav Zoriy.....</i>	230
P26:	Immissionsüberwachung am Forschungsstandort Rossendorf .....	231
	<i>Bartel Stig, Walter Marcus, Michael Kaden.....</i>	231
P27:	Messung der Gesamtübertragungsraten einer Hüllrohrsonde zur Fortluftbilanzierung nach Richtlinie ENSI-G13.....	232
	<i>Marcel Arnold<sup>1</sup>, Martin Seipenbusch<sup>2</sup>, Jan Züllig<sup>1</sup>, Nick Walter<sup>1</sup>, Sabine Mayer<sup>1</sup>.....</i>	232
P28:	Transport und Transferverhalten von langlebigen Radionukliden entlang der kausalen Kette Grundwasser-Boden-Oberfläche-Pflanze (Trans-LARA) .....	238
	<i>Beate Riebe, Marcus Mandel, Simon Pottgießer, Annika Wunnenberg, Clemens Walther .....</i>	238
P29:	Radioaktiv kontaminierte und asbesthaltige Baumaterialien – eine sicherheitstechnische Herausforderung für die Radioanalytik .....	239
	<i>Fabian Köhler, Andreas Brand, Maya Jäggi, Martin Heule, Nick Walter, Sabine Mayer.....</i>	239
P30:	Das Eich- und Kalibrierlabor für Strahlungsmessgeräte am PSI.....	239
	<i>Malgorzata Kasprzak, Gernot Butterweck, Federico Geser, Malgorzata Sliz, Eduardo Yukihara, Sabine Mayer .....</i>	239
P31:	Simultanbestimmung von Elementen mittels ICP-MS - Grenzen und Anforderungen des Verfahrens ....	240
	<i>Andreas Holz, Myroslav Zoriy.....</i>	240
P32:	Radioecology in arid regions: state of the art .....	240
	<i>Natalia Semioshkina, Gabriele Voigt.....</i>	240
P33:	Kalibrierung eines tragbaren Probenwechslers zur Messung von niederenergetischer Betastrahlern .....	241
	<i>Michael Iwatschenko-Borho.....</i>	241
P34:	Externe Qualitätssicherung von Freimessanlagen: Erkenntnisse aus Messungen im In- und Ausland.....	242
	<i>Sven Jansen, Michael Kaden.....</i>	242
P35:	Innovative Kalibriermethoden für Freimessanlagen.....	246
	<i>Federico Alejandro Geser, Malgorzata Sliz, Malgorzata Kasprzak, Sabine Mayer.....</i>	246
P36:	Insitu-Messung von Aktivitätsverteilungen in Betonbohrlöchern mit CZT-Detektoren.....	246
	<i>Dominik Werthmüller, Diana Lopez Angeles, Nick Walter, Sabine Mayer .....</i>	246
P37:	Ein neuartiges Radon-Bodenluft-Messsystem .....	247
	<i>Eiko Hermann<sup>1</sup>, Andreas Guhr<sup>2</sup>, Frank Ullrich<sup>3</sup>.....</i>	247
P38:	Schweizer Aktionsplan Radon 2021-2030.....	254
	<i>Fabio Barazza, Daniel Storch, Martha Palacios, Emanuel Christen .....</i>	254
P39:	Entwicklung von Indikatoren in einem Kriterienkatalog und Durchführung einer Ersterhebung zur Feststellung der Ist-Situation für die Bewertung des nationalen Radonmaßnahmenplans.....	255
	<i>Veronika Ustohalova, C. Küppers .....</i>	255
P40:	How Organic Ligands can Influence the Plant Uptake of Radionuclides – Investigations of Europium and Americium .....	262
	<i>Julia Stadler<sup>1</sup>, Timon Damböck<sup>1</sup>, Manja Vogel<sup>2,3</sup>, Robin Steudtner<sup>4</sup>, Björn Drobot<sup>4</sup>, Anna L. Kogiomtzi<sup>1</sup>, Clemens Walther<sup>1</sup>.....</i>	262
P41:	Notfallsystem zur Überwachung der Gammadosisleistung .....	263
	<i>Petra Sattler .....</i>	263
	Autorenindex.....	265



**AKA**  
**Ausbildung im Strahlenschutz**



## **VORSCHLAG ZUR ÜBERARBEITUNG DER FACHKUNDERICHTLINIE MEDIZIN**

Jenny Kloska

*Kloska-Strahlenschutz, Hattingen, Deutschland*

Der Arbeitskreis Ausbildung (AKA) setzt sich für eine wissenschaftlich fundierte und an der Praxis orientierte Aus- und Weiterbildung ein. Dazu zählt auch eine gute und moderne methodisch-didaktische Kursgestaltung. Durch die Neugestaltung des Strahlenschutzrechtes in Deutschland müssen auch nachgestellte Richtlinien angepasst werden. Der AKA hat hierzu gemeinsam mit dem AKMED eine Stellungnahme zur Überarbeitung der Fachkunderichtlinie Medizin erarbeitet. Diese Vorschläge zur Modernisierung der Richtlinie, welche die Strahlenschutzausbildung besser an die praktischen Bedarfe in der Medizin anpasst, sollen hier vorgestellt werden.

## **MODERNE DIDAKTIK IN DER STRAHLENSCHUTZAUSBILDUNG – ERFAHRUNGEN AUS DEM AKA UND AUSBLICK**

Ariane Lorenz

*Landesanstalt für Personendosimetrie und Strahlenschutz Ausbildung (LPS), Berlin,  
Deutschland*

Die Strahlenschutz Ausbildung ist in den Fachkunderichtlinien Medizin und Technik klar strukturiert und inhaltlich vorgegeben. Welche Inhalte aber von den Kursteilnehmenden aufgenommen und verinnerlicht werden, hängt stark von der Art der Wissensvermittlung ab.

Die Basis hierfür liegt in einem guten didaktischen Konzept. Aber was versteht man eigentlich unter einem didaktischen Konzept und warum ist es wichtig?

Inwieweit können die Methoden des E-Learning die alt hergebrachten Formen des Unterrichts ergänzen oder sogar ablösen?

Dieser Vortrag berichtet über die Erfahrungen der AKA-Mitglieder in der Online-Lehre und stellt verschiedene Konzepte und Methoden in der Strahlenschutz Ausbildung vor.

## **E-LEARNING VS. PRÄSENZVERANSTALTUNG – EIN PRO UND KONTRA**

Charlotte Kaps<sup>1</sup>, Ariane Lorenz<sup>2</sup>, Jenny Kloska<sup>3</sup>

<sup>1</sup> *Deutsche Gesellschaft für Zerstörungsfreie Prüfung e.V. (DGZfP), Berlin,* <sup>2</sup> *Landesanstalt für Personendosimetrie und Strahlenschutz Ausbildung (LPS), Berlin,* <sup>3</sup> *Kloska Strahlenschutz, Hattingen*

Lernen ist individuell. Die Qualität einer Schulung hängt schon deshalb nie allein vom Lernmedium ab. Schulungen in Präsenz sind nie pauschal gut, genauso wenig sind E-Learning basierte Schulungen pauschal schlecht. Dieser Teil des Vortrags soll die Stärken und Schwächen von unterschiedlichen Schulungskonzepten beleuchten. Wann bietet sich E-Learning an und wann ein Lernen in Präsenz und braucht es überhaupt ein Entweder-oder?

Dieser Teil des Vortrags fasst die von den Mitgliedern des AKA diskutierten Pros und Contras zum Thema E-Learning zusammen.

Die Strahlenschutz Ausbildung ist in den Fachkunderichtlinien Medizin und Technik klar strukturiert und inhaltlich vorgegeben. Welche Inhalte aber von den Kursteilnehmenden aufgenommen und verinnerlicht werden, hängt stark von der Art der Wissensvermittlung ab.

Die Basis hierfür liegt in einem guten didaktischen Konzept. Aber was versteht man eigentlich unter einem didaktischen Konzept und warum ist es wichtig?

Inwieweit können die Methoden des E-Learning die althergebrachten Formen des Unterrichts ergänzen oder sogar ablösen?

Dieser Vortrag berichtet über die Erfahrungen der AKA-Mitglieder in der Online-Lehre und stellt verschiedene Konzepte und Methoden in der Strahlenschutz Ausbildung vor.

## **AKB Beförderung**





## **RADIOAKTIVE STOFFE IN BESONDERER FORM - WICHTIGE ASPEKTE IM ZULASSUNGSVERFAHREN**

### **SPECIAL FORM RADIOACTIVE MATERIAL – IMPORTANT ASPECTS IN APPROVAL PROCEDURE**

Annette Rolle, Frank Wille

*Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung (BAM), Deutschland*

#### **Zusammenfassung**

*Für die Beförderung von umschlossenen radioaktiven Stoffen (Strahler) können Transporterleichterungen gelten, wenn das Strahlerdesign nachweislich unfallsicher ausgelegt ist und eine Zulassung als radioaktiver Stoff in besonderer Form vorliegt. Die in Deutschland zuständige Behörde für die Prüfung und Zulassung radioaktiver Stoffe in besonderer Form ist die Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung (BAM).*

*Eine oft langfristige Nutzung der Strahler kann eine alterungsbedingte Schwächung der Umschließung des radioaktiven Stoffes zur Folge haben. Jeder Strahler einer zugelassenen Bauart muss jedoch im Beförderungsfall zu jeder Zeit, auch nach längerer Nutzung, den vorgeschriebenen Prüfanforderungen genügen. Die Alterungsbewertung auf der Grundlage einer vom Antragsteller zu spezifizierenden Nutzungsdauer des radioaktiven Stoffes in besonderer Form ist seit langer Zeit Bestandteil des Zulassungsverfahrens in Deutschland. Ein von Deutschland eingebrachter Vorschlag im Rahmen der anstehenden Revision der IAEA Empfehlungen für die sichere Beförderung von radioaktiven Stoffen (SSR-6) soll die Lesbarkeit des Regelwerkes bezüglich der Alterungsbewertung verbessern, Klarheit über die damit verbundenen Anforderungen erzeugen und damit zu einer Harmonisierung der Zulassungsverfahren auf internationaler Ebene beitragen. In diesem Beitrag sollen wichtige Einflussfaktoren auf das Alterungsverhalten von radioaktiven Stoffen in besonderer Form aufgezeigt und die Notwendigkeit für die Spezifikation einer Nutzungsdauer als Grundlage für die Alterungsbewertung begründet werden. Der deutsche Vorschlag für die Revision des IAEA Regelwerkes zum sicheren Transport radioaktiver Stoffe (SSR-6) wird vorgestellt und erläutert.*

#### **Summary**

*Transport simplifications can apply to the carriage of sealed radioactive sources if the design can be proven to be accident-proof and it has been approved as a special form radioactive material. The competent authority for testing and approval of special form radioactive material in Germany is the Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung (BAM).*

*A long-term use of the sources can result in an aging-related weakening of the sealed capsules. However, each source of an approved design must always meet the prescribed test requirements during transport, even after a long period of use. The aging assessment based on a special form radioactive material working life (short SFRM-working life) to be specified by the applicant has long been part of the approval procedure in Germany. A proposal submitted by Germany as part of the forthcoming revision of the IAEA Recommendations for the Safe Transport of Radioactive Materials (SSR-6) is intended to improve the readability of the regulations relating to the aging assessment, create clarity about the associated requirements and thus lead to harmonization of the approval procedures contribute at international level.*

*In this paper, important influencing factors on the aging behavior of special form radioactive materials and the need for the specification of a working life as a basis for the aging assessment*

are shown. The German proposal for the revision of the IAEA regulations for the safe transport of radioactive materials (SSR-6) is presented and explained.

**Schlüsselwörter** radioaktive Stoffe, Alterung, Sicherheit, Beförderung

**Keywords** radioactive material, ageing, safety, transport

## 1. Einleitung

Radioaktive Stoffe in besonderer Form (im Folgenden mit SFRM abgekürzt) sind nicht dispergierbare, feste radioaktive Stoffe oder dichte Kapseln, die radioaktive Stoffe enthalten [1]. SFRM sind eine Kategorie innerhalb der verkehrsrechtlichen Vorschriften. Für die Beförderung zu Anwendern in der Industrie, Medizin und Forschung werden umschlossene radioaktive Stoffe (Strahler) gemäß ihrem aktivitätsabhängigen Gefahrenpotenzial verpackt. Strahler mit einer hohen Aktivität ( $> A2$ ) erfordern entsprechend der verkehrsrechtlichen Vorschriften eine Beförderung in Typ B (U) Versandstücken, die als unfallsicher gelten. Alternativ besteht bis zu einer Aktivität  $< A1$  die Möglichkeit der Beförderung in nicht unfallsicheren Typ A-Versandstücken, wenn die Strahler nachweislich unfallsicher ausgelegt sind und eine Zulassung als SFRM vorliegt.

Die Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung (BAM) ist gemäß GGVSEB §8 (2) [2] in Deutschland die zuständige Behörde für die Prüfung und Zulassung radioaktiver Stoffe in besonderer Form.

## 2. Anforderungen an radioaktive Stoffe in besonderer Form

Die Anforderungen an die Bauart eines SFRM sind in [3] festgelegt:

- Eine Abmessung der Bauart muss mindestens 5 mm betragen. Damit ist sichergestellt, dass ein Auffinden und Bergen des Strahlers nach einem Unfall möglich ist.
- Wenn eine dichte Kapsel Bestandteil des radioaktiven Stoffes in besonderer Form ist, ist diese so zu fertigen, dass sie nur durch Zerstörung geöffnet werden kann. Ein einfacher Zugang zum radioaktiven Inhalt soll damit verhindert werden. In der Regel wird diese Anforderung nur durch verschweißte Kapselkonstruktionen erfüllt. Ist der radioaktive Stoff mehrfach umschlossen, darf die äußere Umschließung nicht ohne Zerstörung zu öffnen sein.
- Die Bauart ist einer Stoßempfindlichkeitsprüfung (Fall aus 9 m, unnachgiebiges Fundament), einer Schlagprüfung (Masse 1,4 kg, 1 m Fallhöhe, Bleiunterlage), einer Biegeprüfung und einer Erhitzungsprüfung (800 °C, 10 min Haltezeit) zu unterziehen, ohne zu zerbrechen, zu zersplittern, zu dispergieren, zu schmelzen oder undicht zu werden. Die Dichtheit ist nach jeder Prüfung nachzuweisen.

Die Widerstandsfähigkeit der Bauart gegenüber den angeführten Bauartprüfungen muss innerhalb ihrer Nutzungsdauer zu jeder Zeit gegeben sein.

Um ein gleichbleibend hohes Sicherheitsniveau für jeden gefertigten Strahler einer Bauart zu gewährleisten, ist ein Qualitätsmanagementsystem vorgeschrieben, welches die Auslegung, die Herstellung, die Prüfung, die Dokumentation, den Gebrauch, sowie die Wartung und Inspektion umfassen muss. Die BAM prüft im Zulassungsverfahren die qualitätssichernden Maßnahmen. Dazu gehören auch die Regelungen des Zulassungsinhabers, die die Übergabe aller für den spezifikationsgerechten Betrieb der Strahler notwendigen Unterlagen an die Anwender der Strahler sicherstellen. Dies sind z.B.:

- zulässige Grenzen für mechanische, thermische und korrosive Beanspruchung,
- Festlegungen zu wiederkehrenden Prüfungen,

- zulässige Nutzungsdauer,
- notwendigen Maßnahmen vor einer erneuten Beförderung.

Die BAM behält sich vor, Hinweise zu den vorstehend genannten Informationen, in die Zulassung aufzunehmen.

### 3. Strahlerbauarten und Faktoren, die das Alterungsverhalten beeinflussen

#### 3.1 Bauarten

Typische Nuklide mit langen Halbwertszeiten sind z.B. Co-60, Sr-90, Cs-137, Pu-234, Ni-63 und Am-241 (siehe Tabelle 1). Sie werden üblicher Weise in der Industrie, in der Forschung oder in der Medizin eingesetzt, zur Füllstands-, Dicken- oder Dichtemessung, in Detektoren oder für Therapien. Meist sind diese langlebigen Nuklide in geschweißte Edelstahlkapseln eingeschlossen. Kapselwerkstoffe, wie Titan, Tantal oder Zirkon werden eher selten benutzt. Hochaktive Strahler sind oft mehrfach umschlossen. Besondere Anwendungen in der Messtechnik können aber auch ein dünnes Strahlenausstrittsfenster in der Umhüllung erfordern. Abbildung 1 zeigt typische Strahlerbauarten für eine industrielle Anwendung.



Abb. 1: Typische Strahlerbauarten für industrielle Anwendung ([www.isotopeproducts.com](http://www.isotopeproducts.com))

Die unterschiedlichen Anwendungsgebiete implizieren ein weites Feld von Umgebungsbedingungen, von Reinstaubbedingungen in der Forschung oder der Medizin bis zu hoch beanspruchenden industriellen Anwendungen mit korrosiver Atmosphäre, Temperatur, Vibrations- oder Stoßbeanspruchungen, wie z.B. auf Ölplattformen, in der Zementproduktion oder im Bergbau. Die Strahlerhersteller müssen beim Design ihrer Produkte die Anwendungsbereiche berücksichtigen.

### 4. Faktoren, die das Alterungsverhalten beeinflussen

Die wichtigsten Aspekte für die Bewertung des Alterungsverhaltens eines Strahlers sind

- das Design der Umhüllung (Material, Wanddicke) und die Fertigungsqualität,
- der radioaktive Inhalt,

- die Umgebungsbedingungen bei der Anwendung und
- die Einsatzzeit

Die Bewertung der möglichen Auswirkungen aller Einflussfaktoren ist nicht immer leicht. Einige Parameter lassen sich leicht kalkulieren, wie z.B. der Druckanstieg durch Alpha-Teilchenbildung oder der Einfluss von Lastwechseln. Schwieriger ist die Quantifizierung komplexer korrosiver Einflüsse.

#### 4.1 Korrosion

Tabelle 1 gibt einen Überblick über Edelstahlwerkstoffe, die häufig für die Herstellung von radioaktiven Stoffen in besonderer Form genutzt werden. Alle haben einen Chromgehalt von über 12 %, der dazu beiträgt, gleichmäßigen Korrosionsabtrag zu verhindern. Nur einige dieser Werkstoffe enthalten Molybdän, um die Anfälligkeit für Lochfrasskorrosion zu reduzieren oder Titan, um die Chrom-Ausscheidung in den Korngrenzen zu unterbinden. Nur ein Werkstoff enthält sowohl Titan als auch Molybdän.

Material	Symbol	Analysis [%]				
		C	Cr	Ni	Mo	Ti
1.4301 (AISI 304)	X5CrNi18-10	< 0.07	18-20	8-10.5	-	-
1.4306 (AISI 304L)	X2CrNi19-11	< 0.03	18-20	10-12	-	-
1.4401 (AISI 316)	X5CrNiMo17-12-2	< 0.07	16.5-18.5	10-13	2-2.5	-
1.4404 (AISI 316L)	X2CrNiMo17-12-2	< 0.03	16.5-18.5	10-13	2-2.5	-
1.4435 (AISI 316L)	X2CrNiMo18-14-3	< 0.03	17-19	10.5-13.5	2-2.5	-
1.4541 (AISI 321)	X6CrNiTi18-10	< 0.08	17-19	9-12	-	< 0.7
1.4571 (AISI 316Ti)	X6CrNiMoTi17-12-2	< 0.08	17-14	10.5-13.5	2-2.5	< 0.7

*Tabelle 1: Edelstahlwerkstoffe von zugelassenen SFRM-Strahlerbauarten*

Wann immer ein SFRM-Strahler korrosiver Umgebung ausgesetzt werden soll, müssen mögliche Korrosionsprozesse detailliert betrachtet und im Zusammenhang mit der gewählten Wanddicke der Strahlerhülle bewertet werden. Auch eine mögliche Korrosion ausgehend vom Strahlerinhalt (z.B. Cäsiumsalz) bei unbeabsichtigtem Eindringen von Feuchte muss beachtet werden.

## 4.2 Schädigung durch radioaktive Strahlung

Für die Bewertung des Alterungsverhaltens ist der Strahlungseinfluss zu berücksichtigen.

Das Forschungszentrum Dresden Rossendorf hat dazu im Auftrag der BAM Berechnungen zu einigen typischen Strahlerbauarten mit Aktivitäten bis zu 100 TBq und Nutzungsdauern bis zu 30 Jahren angestellt. Im Ergebnis wurde festgestellt, dass die berechnete Anzahl DPA (displacements per atom) in dem zu betrachtenden Zeitrahmen nicht hoch genug ist, um eine relevante Versprödung des Hüllwerkstoffes zu verursachen. [K. Noack, A. Rogov, 2007] Allerdings steht die praktische Validierung dieser Ergebnisse noch immer aus.

Alpha-Strahlung kann Spallationseffekte verursachen, die z.B. zu einer Zersetzung der inaktiven Abdeckung einer Am-241 Folie führen können.

Der Druckaufbau einer Strahlerkapsel durch Helium emittierende Alphastrahler oder durch Radiolyse muss berechnet und bewertet werden.

## 5. Bewertung des SFRM Alterungsverhaltens im Zulassungsverfahren

In den Erläuterungen (IAEA SSG-26 [4]) zu den Vorschriften (IAEA SSR-6 [3]) wird ausgeführt, dass die Bauart eines radioaktiven Stoffes in besonderer Form so auszulegen ist, dass während der Dauer des bestimmungsgemäßen Betriebes die betriebsmäßigen mechanischen, thermischen, korrosiven sowie strahlungsinduzierten Beanspruchungen nicht zu einer Schädigung führen dürfen, die eine Undichtheit und Freisetzung von radioaktivem Inhalt unter den Bedingungen der Bauartprüfung zur Folge haben könnten, und somit das geprüfte Sicherheitsniveau auch nach längerfristiger Anwendung gewährleistet ist.

Folgerichtig ist die Alterungsbewertung Bestandteil des Zulassungsverfahrens durch die BAM. Die Antragsteller, meist sind es die Hersteller der Strahler, müssen eine Nutzungsdauer für ihr Produkt als Grundlage für die Bewertung der zeitabhängigen Alterungsparameter spezifizieren. Diese SFRM-Nutzungsdauer kann sich von der sogenannten recommended working life (RWL) unterscheiden und muss nicht zwangsweise bedeuten, dass der Strahler nicht weiter betrieben werden kann. Jedoch sind Beförderungen nach Erreichen der SFRM-Nutzungsdauer keine Beförderung als SFRM mehr erfolgen.

Weiterhin müssen im Zulassungsverfahren Dokumentationen zu den Anwendungsbedingungen, Instruktionen zum Gebrauch und zur Wartung, Informationen zu notwendigen Maßnahmen vor einer erneuten Beförderung und zur Organisation des Erfahrungsrückflusses vorgelegt werden. Auch prüft die BAM, ob der zukünftige Nutzer über die SFRM Nutzungsdauer informiert wird und so erforderliche Beförderungen fristgerecht planen kann. Verbleibende Unsicherheiten über den Zustand des Strahlers nach der Nutzung werden über geeignete Maßnahmen vor der Beförderung kompensiert. In der Regel sind das, soweit möglich visuelle Prüfungen sowie eine Dichtheitsprüfung vor einer Beförderung, die nicht länger als 6 Monate zurückliegen darf.

Erfahrungen aus einem gut organisierten Feedbackmanagement sind sehr wichtig für eine sichere Bewertung des Alterungsverhaltens von Strahlerbauarten. Hersteller, die seit 20 bis 30 Jahren und länger Strahler produzieren, haben in der Regel tausende alte Strahler zurückgenommen und untersucht und können damit auf eine gute Datenbasis zurückgreifen. Auf dieser Grundlage ist u.U. auch eine Verlängerung der einmal spezifizierten SFMR-Nutzungsdauer möglich.

## 6. Vorschläge für Ergänzungen im IAEA-Regelwerk

Form und Inhalt von Zulassungszertifikaten für SFRM in verschiedenen Ländern variieren stark. Um ein harmonisiertes Vorgehen der international zuständigen Behörden zu befördern, insbesondere auch in Bezug auf die notwendige Bewertung des Alterungsverhaltens, schlägt Deutschland im Rahmen des anstehenden Revisionsprozesses des IAEA Safety Standard (SSR-6) [3] vor:

1. Eine explizite Forderung der Berücksichtigung von Alterungseinflüssen in der Sicherheitsbewertung von SFRM muss ergänzt werden.
2. Die Spezifikation einer SFRM-Nutzungsdauer muss Bestandteil der Antragsunterlagen im Zulassungsverfahren werden.
3. Die zulässige SFRM-Nutzungsdauer sollte in das Zulassungszertifikat aufgenommen werden.

## 7. Zusammenfassung

Die Berücksichtigung des Alterungsverhaltens von Strahlerbauarten ist seit mehr als 30 Jahren ein wichtiger Bestandteil im SFRM-Zulassungsverfahren der BAM als zuständige Behörde für die Zulassung von radioaktiven Stoffen in besonderer Form. Eine wichtige Grundlage für eine sichere Bewertung von Auswirkungen von Strahlung, korrosiver Umgebung und mechanischen oder thermischen Beanspruchungen auf die Dichtheit von SFRM bei längerfristiger Nutzung ist die Nutzungszeit. Diese SFRM-Nutzungszeit, innerhalb derer eine Beförderung als SFRM auch langfristig genutzter Strahler jederzeit möglich ist, muss vom Antragsteller unter Berücksichtigung aller möglichen Einflussfaktoren und auf der Grundlage seiner Erfahrungen mit rückgenommenen Strahlern spezifiziert werden. Obwohl das IAEA Advisory material (SSG-26) [4] in para 603.1 bereits auf die Notwendigkeit der Alterungsbewertung von SFRM aufmerksam macht, sollte eine klare Forderung dazu in die IAEA Vorschriften (SSR-6) aufgenommen werden. Damit und mit der notwendigen Forderung nach Spezifikation einer SFRM-Nutzungsdauer würden die Anforderungen für die Sicherheitsbewertung von SFRM transparenter, was zu einer Harmonisierung der Zulassungsverfahren der nationalen zuständigen Behörden beitragen könnte.

## 8. Literaturverzeichnis

- [1] Übereinkommen vom 30. September 1957 über die internationale Beförderung gefährlicher Güter auf der Straße (ADR) (BGBl. 1969 II S. 1489), Anlagen A und B in der Fassung der Bekanntmachung vom 16. November 2021 (BGBl. 2021 II S. 1184)
- [2] Verordnung über die innerstaatliche und grenzüberschreitende Beförderung gefährlicher Güter auf der Straße, mit Eisenbahnen und auf Binnengewässern (Gefahrgutverordnung Straße, Eisenbahn und Binnenschifffahrt - GGVSEB) in der Fassung der Bekanntmachung vom 26. März 2021 (BGBl. 2021 I S. 481), die zuletzt durch Artikel 3 Absatz 5 des Gesetzes vom 2. Juni 2021 (BGBl. 2021 I S. 1295) geändert worden ist.
- [3] International Atomic Energy Agency (IAEA), Regulations for the Safe Transport of Radioactive Material, 2018 Edition, Specific Safety Requirements No. SSR-6 (Rev.1), Vienna, 2018
- [4] International Atomic Energy Agency (IAEA), Advisory Material for the IAEA Regulations for the Safe Transport of Radioactive Material, 2018 Edition, Specific Safety Guide No. SSG-26, Vienna, 2022

## **„CLASS 7 BOX» VORSCHLAG FÜR EIN STANDARDISIERTES VERSANDSTÜCK FÜR POST- UND PAKETDIENSTE**

Ulrich Zimmermann<sup>1</sup>, Frank Koch<sup>2</sup>

<sup>1</sup>*Paul Scherrer Institut, Schweiz;* <sup>2</sup>*Eidgenössisches Nuklearsicherheitsinspektorat ENSI, Schweiz;*

Vorstellung einer standardisierten Transportlösung von radioaktiven Stoffen mit 1/10 Aktivität eines freigestellten Versandstücks. Dabei wird das Konzept für «Freigestellte Mengen» gemäß Kapitel 3.5 der UN-Modellvorschriften und die Einhaltung der Aktivitätsgrenzwerte für die Beförderung radioaktiver Stoffe auf dem Postweg gemäß Absatz 515(c), 580 und 581 der IAEA SSR-6 (Edition 2018) berücksichtigt. Das standardisierte Versandstück ist hauptsächlich für den Transport mit Post- und Kurierdiensten auf dem Verkehrsträger Straße und Luft bestimmt und führt zu deutlich niedrigeren Dosisleistungen im Vergleich zu freigestellten Versandstücken. Die Transportlösung ist für den sicheren und effizienten Transport von radioaktiven Quellen, Proben aus Medizin und Forschung, sowie Produkten für den Endverbraucher von Interesse. Der schweizerische Vorschlag für die Revision des IAEA Regelwerks zum sicheren Transport radioaktiver Stoffe (SSR-6) wird vorgestellt und erläutert.





**AKD**  
**Dosimetrie im Strahlenschutz**



## **DER „RADIATION PROTECTION CO-PILOT“: EIN MACHINE LEARNING UNTERSTÜTZTES BESTRAHLUNGSSZENARIO-VORHERSAGE-TOOL**

Evelin Derugin<sup>1</sup>, Kevin Kröninger<sup>1</sup>, Olaf Nackenhorst<sup>1</sup>, Florian Mentzel<sup>1</sup>, Jörg Walbersloh<sup>2</sup>, Jens Weingarten<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Technische Universität Dortmund, Deutschland; <sup>2</sup>Materialprüfungsamt Nordrhein-Westfalen (MPA)

Eine erfolgreiche Routine Personendosimetrie ist gekennzeichnet durch eine genaue Abschätzung der Strahlendosis für einen gegebenen Überwachungsintervall (typischerweise 1 Monat). Mitte 2022 führt das Materialprüfungsamt Nordrhein-Westfalen (MPA NRW) das neue auf Thermolumineszenz (TL) basierte Dosimetrie System TL-DOS in die Routine Dosimetrie ein. Das Detektorsignal kann dazu beitragen zusätzliches Wissen über die Bestrahlung erlangen. Die Analyse des resultierenden TL-Signals – Glühkurvenanalyse – ermöglicht es, rückwirkend Informationen über das Bestrahlungsszenario wie z.B. den Zeitpunkt der Bestrahlung oder die Anzahl der Bestrahlungsfractionen innerhalb des Überwachungsintervalls zu gewinnen.

Im Rahmen der Einführung von TL-DOS entwickelt die Fakultät Physik der TU-Dortmund in Zusammenarbeit mit dem MPA NRW multivariate Glühkurven-Analysetechniken auf Grundlage von maschinellem Lernen (ML), die es ermöglichen Informationen zu extrahieren, die über die Abschätzung der Strahlungsdosis hinausgehen. Unsere erste idealisierte Proof-of-Concept Studie zeigt, dass mit Hilfe eines Faltungsnetzwerkes (CNN) und der Verwendung von unterarbeiteten Glühkurven, die Vorhersage des Bestrahlungszeitpunktes mit einer Genauigkeit von bis auf 2 Tage möglich ist.[1]

Im Folgenden präsentieren wir Ergebnisse unter Verwendung eines Datensatzes, der mit einer realen Anwendung mit unterschiedlichen Dosen, Lagerungsbedingungen und Strahlungsart besser vergleichbar ist. Es wurden mehrere tausend Glühkurven gemessen, um eine gute Generalisierung des CNN zu gewährleisten. Um die Vorhersagen des neuronalen Netzes in einem Routine Personendosimetrie Betrieb integrieren zu können, stellen wir einen ersten Prototypen, eines auf ML basierten Vorhersagetools vor, welcher Informationen über den Bestrahlungstag als auch die Bestrahlungsdosis vorhersagen und diese durch eine Darstellung der Wahl der Glühkurveneigenschaften untermauert.

[1] F. Mentzel et al, 2021, J. Radiol. Prot., 41, S506

# ECHTZEITDOSIMETRIE IN GEPULSTEN STRAHLUNGSFELDERN – VOLLDIGITALE UMSETZUNG

Theresa Werner<sup>1</sup>, Jürgen Henniger<sup>1,2</sup>, Thomas Kormoll<sup>1</sup>

<sup>1</sup>AG Strahlungsphysik, Technische Universität Dresden, Deutschland; <sup>2</sup>Strahlenschutz Akademie Dresden

## **Zusammenfassung**

*Strahlungsfelder mit extremen Zeitstrukturen in denen kurze Bestrahlungspulse in hohen Frequenzen appliziert werden, gewinnen hinsichtlich Strahlenschutzanwendungen an immer größere Bedeutung. Die zeitliche Konzentration der Dosis stellt insbesondere zählende Systeme auch bei niedriger mittlerer Dosisleistung vor erhebliche Herausforderungen – zum Teil bis zu deren vollständigem Versagen. Bei geeigneter Auswertung und Ausnutzung des integralen Charakters der Messsignale können Messgeräte konstruiert werden, die nicht nur unabhängig von der Zeitstruktur die integralen Dosisgrößen korrekt messen, sondern auch Aussagen über die Quelle des Strahlungsfeldes auf Basis der Zeitstruktur zulassen. Dieses Messkonzept mit einer vollständig digitalen Erfassung einzelner Ereignisse in Strahlungssensoren sowie Messergebnisse in gepulsten Strahlungsfeldern der Ortsdosisgrößen  $H^*(10)$  und  $H'(0,07)$  werden vorgestellt. Die ermittelten Dosiswerte zeigen in einem gepulsten Röntgenfeld der ISO-N-Serie keinerlei Abhängigkeit von der Zeitstruktur. Messungen in einer typischen Strahlenschutzsituation im Kontrollraum eines klinischen Linearbeschleunigers offenbaren die Zeitstruktur des Beschleunigers in Datensätzen, die in nur wenigen Sekunden aufgenommen wurden.*

## **Summary**

*Radiation fields with extreme time structures are frequently encountered in operative radiation protection. High dose rates during short radiation pulses pose high demands especially on counting detection systems – even if the mean dose rate remains low. These systems can fail completely in these situations. Exploiting the integrative character of some radiation detectors, devices can be constructed which can measure dosimetric quantities properly nearly independent of the time structure. Moreover, additional information on the radiation source can be revealed. Such a concept based on the complete digitization of each interaction is being presented. The calculated dose quantities  $H^*(10)$  and  $H'(0,07)$  show in a pulsed x-ray field of the ISO-N-series no dependence on the pulse parameters. Measurements in a typical radiation protection scenario in a control room of a clinical linear accelerator reveal the time structure of the beam within only a couple of seconds.*

**Schlüsselwörter** Dosisleistungsmessgerät, gepulste Strahlung, Umgebungsäquivalenzdosis  
**Keywords** dose rate meter, pulsed radiation, ambient dose equivalent

## **1. Einleitung**

Beschleuniger- und Röntgenanlagen erzeugen in zahlreichen Anwendungen zeitlich modulierte Strahlungsfelder. Dazu zählen im medizinischen Bereich vor allem in der perkutanen Strahlentherapie eingesetzte Elektronenbeschleuniger. Aber auch Computed Tomography Geräte verursachen durch deren Rotation eine Modulation des Strahlungsfeldes von einigen Hertz sowie gepulst betriebene C-Bögen und andere Röntgenanlagen. Mit Frequenzen bis zu

einem halben Megahertz werden Laseranlagen zur Materialbearbeitung betrieben, die in den Fokus des Strahlenschutzes gerückt sind durch die Erzeugung von Röntgenstrahlung infolge der Kiefeld-Beschleunigung von Elektronen. Diese Modulationen bleiben in der Zeitstruktur des Strahlungsfeldes auch außerhalb von Abschirmstrukturen erhalten. Daher müssen Strahlungsmessgeräte mit den durch die erzeugende Anlage aufgeprägten Zeitstrukturen umgehen.

Besondere Relevanz im praktischen Strahlenschutz haben sogenannte aktive Ortsdosis(leistungs)messgeräte, die unmittelbar während der Messung einen Wert anzeigen. Auf solche Geräte beschränkt sich die nachfolgende Diskussion. Für jedes aktive Dosimeter gilt, dass das Messsignal erst durch die Energiedeposition einzelner Teilchen entsteht. Dieser *digitale* (in Stufen erfolgende, in Einzelschritten aufgelöste) Charakter wird durch zählende Systeme wie Geiger-Müller-Zählrohre mit nachgeschaltetem Impulszähler erhalten. Auch zählspektroskopische Detektoren wie Proportionalzählrohre mit Pulshöhenanalysator bilden diese stufenweise Signalentstehung ab. Zeitlich variierende Ereignisraten können in solchen Systemen zu Unteranzeigen führen durch Totzeiteffekte in Detektor oder Datenübertragung und -auswertung oder durch eine Limitierung der auswertbaren Energiedeposition pro Zeit [1][2]. Auch aktive Systeme, die analog-integral arbeiten wie ein Ionisationskammer-Detektor mit Elektrometer, sind frei von Totzeiteffekten, jedoch erfordern sie in der Regel eine höhere Dosisleistung, z.T. von einigen  $\mu\text{Sv/h}$ , was ihre Einsatzfähigkeit im Strahlenschutz einschränkt.

Ist es jedoch möglich, auch in beliebig zeitlich modulierten Strahlungsfeldern die Entstehung des Messsignals *vollständig digital* zu erfassen, ist nicht nur die Konstruktion eines hochempfindlichen Dosisleistungsmessgerätes möglich. Weiterhin erlaubt die Entfaltung des Messsignal Rückschlüsse über den Charakter der Strahlungsquelle, die als Information in der aufgeprägten zeitlichen Struktur des Feldes vorhanden ist. Vollständig digital heißt in diesem Sinne, dass neben der deponierten Energie auch die Zeit des Eintreffens eines jeden Impulses gespeichert, bzw. analysiert wird. Ein solches System muss zwei Voraussetzungen erfüllen:

Jede Ausführung eines Strahlungssensors gibt eine Zeitkonstante vor, unterhalb derer auch extrem schnelle nachfolgende Elektronik keinen weiteren Informationsgewinn liefern kann. Um auch mit Energiedeposition unterhalb dieser vom System vorgegebenen Zeitkonstante umgehen zu können, muss eine *Integration* – hier nur durch den Sensor selbst – auf dieser Ebene dosisproportional erfolgen. Dies impliziert Gewebeäquivalenz.

Die zweite Voraussetzung bezieht sich auf Ereignisse, die vom Detektor getrennt wahrgenommen werden. Bei höchstmöglicher Ereignisrate darf in der Dosisbewertung der Ereignisstrom nicht abreißen. Dies impliziert ein vollständig nicht-paralysierbares Totzeitverhalten.

Ein Strahlungsmesssystem, das diese Voraussetzungen erfüllt, und in Form eines batteriebetriebenen, handgehaltenen Messgerätes zur Ermittlung der gesetzlichen Messgrößen  $H^*(10)$  und  $H'(0,07,\Omega)$  umgesetzt ist, wird hier vorgestellt. Messungen in gepulsten Referenzfeldern der Physikalisch-Technischen Bundesanstalt (PTB) werden gezeigt, ebenso wie Messungen in einem Kontrollraum eines klinischen Linearbeschleunigers.

## 2. Material und Methoden

Die Erfüllung der zwei oben genannten Voraussetzung für die gesetzlichen Messgrößen  $H^*(10)$  und  $H'(0,07,\Omega)$  stellt spezielle Anforderung an die verwendeten Detektoren und auch die nachgeschaltete Datendigitalisierung und –auswertung. Diese beiden Aspekte werden gesondert vorgestellt und nachfolgend das Gesamtsystem in Form eines handgehaltenen Gerätes gezeigt.

### 2.1 Detektor-Köpfe

Es werden für die Abbildung der beiden Messgrößen jeweils ein eigener Detektor aus einem organischen Szintillator gekoppelt an einen Photosekundärelektronenvervielfacher (PSEV) verwendet. Das Integral dieses Strompulses an dessen Anode, die sog. Pulsladung, ist proportional zur deponierten Energie innerhalb der Zeitkonstante des Strompulses. Die Geometrie der Szintillationskörper wird dabei der jeweiligen Messgröße angepasst. Die Detektoren wurden auf die Messung in Photonenfeldern von 15 keV bis zu 1,3 MeV entwickelt. Die Äquivalenz der Detektorantwort zu den gesetzlichen Messgrößen wurde entwickelt und überprüft mittels Monte-Carlo Simulationen durch das FLUKA-Simulationsprogramm [4].

### 2.2 Digitale Datenauswertung in Echtzeit

Die Strompulse der Anode des PSEV werden nach einem elektrischen Tiefpassfilter durch einen Analog-Digital-Wandler mit einem festen Takt alle 8 ns abgetastet und von einer Logikgatter-Anordnung erfasst und verarbeitet [5]. Diese erkennt das Vorliegen eines *Ereignisses*, d.h. eine Energiedeposition, die zu einem Auslösen von mehr als einem Photoelektron führt. Für jedes Ereignis erfolgt die Bestimmung der o.g. Pulsladung, die Zeit des Eintreffens. Alle Werte werden in einem Tupel an einen nachfolgenden Prozessor übertragen, der eine Dosis mit Hilfe von Kalibrierparametern bestimmt. Die Integrationszeit für die Pulsladung bestimmt sich aus der Zeitkonstante des Szintillators (Abklingzeit ca. 4 ns) und des Tiefpassfilters (ca. 20 ns) und ist auf ca. 400 ns festgelegt. Treten während dieser Zeit weitere Energiedepositionen auf, tragen sie zur Pulsladung bei (vgl. auch [6]). Nach Schließen des Integrationsfensters kann die Logikgatter-Anordnung unmittelbar einen weiteren Impuls verarbeiten, während die Analyse und Übertragung parallel stattfinden.

### 2.3 Komplettsystem DF-01

In Abbildung 1 ist das Komplettsystem, im Folgenden DF-01, gezeigt. Neben der zwei Detektoren und der Elektronik beherbergt das Gehäuse einen Akkumulator, der Laufzeiten von mindestens fünf Stunden erlaubt und eine grafische Anzeige. In der Entwicklungsphase können die Rohdaten an einen externen Rechner übertragen werden zur nachträglichen Auswertung.



Abb. 1: Komplettsystem DF-01. Vorn die Detektoren für  $H'(0,07)$  links und für  $H^*(10)$  rechts.

## 2.4 Experimente

### 2.4.1 Referenzfelder der Physikalisch-Technischen Bundesanstalt (PTB)

Die Referenz-Bestrahlungseinrichtung für gepulste Röntgenstrahlung [7] wurde während der Experimente mit einer Beschleunigungsspannung von 100 kV unter den Bedingungen der ISO 4937 (N-Serie) betrieben. Eine Übersicht der eingestellten Bestrahlungsparameter zur Erzeugung unterschiedlicher Zeitregime der gepulsten Strahlungsfelder ist in Tabelle 1 gegeben. Es wurden dabei einzelne Werte aus den angebenen Bereichen unterschiedlich kombiniert. Das Strahlungsfeld wird als homogen über alle Detektorelemente angenommen.

Tab. 1: Bereiche der Bestrahlungsparameter unter Anwendung der N-Serie nach ISO 4037.

Pulsdauer $t_p$	Frequenz $f_p$	Tastgrad	Pulsanzahl $N_p$	Pulsdosisleistung $\dot{H}^*_{\text{Ref}}(10)$	mittlere Dosisleistung
1 ms – 10 s	0,1 Hz – 100 Hz	0,1 – 1	1 – 1000	(0,47 – 4,18) mSv/h	(0,05 – 1,12) mSv/h

### 2.4.2 Medizinischer Beschleuniger am Helios Klinikum Aue

Am Helios Klinikum Aue wurden Messungen im Kontrollraum eines klinischen Linearbeschleunigers (Varian TrueBeam®) durchgeführt. Im Behandlungsraum wurden zwei Photonenfelder mit jeweils 6 MV und 15 MV Beschleunigungsspannung in ein Wasserphantom abgestrahlt. Die Pulsfrequenz hängt dabei von der angeforderten Energie und Dosisleistung ab. Die Pulsdauer liegt jeweils im  $\mu\text{s}$ -Bereich. Die sonstigen Feldparameter waren für beide Felder identisch. Für dieses Experiment sind am Messort keine Referenzdosiswerte verfügbar.



### 3. Ergebnisse

#### 3.1 Referenzfeld der Physikalisch-Technischen Bundesanstalt

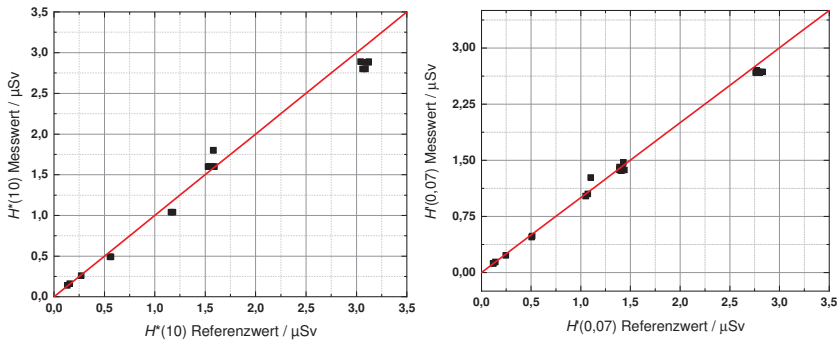


Abb. 2: Referenzwerte  $H^*_{Ref}(10)$  und  $H'_{Ref}(0,07)$  über den gemessenen Werten  $H^*_{Mess}(10)$  und  $H'_{Mess}(0,07)$ . Die rote Linie markiert dabei eine ideale (identische) Abhängigkeit zwischen den beiden Messgrößen.

Die ermittelten Werte für  $H^*(10)$  und  $H'(0,07)$  liegen nahe an den Referenzwerten der PTB (Abbildung 2). Diese liegen dicht an der eingezeichneten roten Linie, welche den Idealfall einer Übereinstimmung der Messwerte kennzeichnet. Die relative Abweichung liegt für alle Werte unter fünf Prozent. Für  $H^*(10)$  umschließen die Datenpunkt einen Bereich der Pulsdosisleistung von 0,5 mSv/h bis 1,12 mSv/h. Für  $H'(0,07)$  sind die Messwerte in einem Bereich von 0,5 mSv/h bis 4,24 mSv/h Pulsdosisleistung aufgenommen. Zusätzlich kann aus den Rohdaten mittels Fouriertransformation (FT) die Zeitstruktur des externen Bestrahlungsfeldes gewonnen werden. Abbildung 3 zeigt die Amplituden-Histogramme.

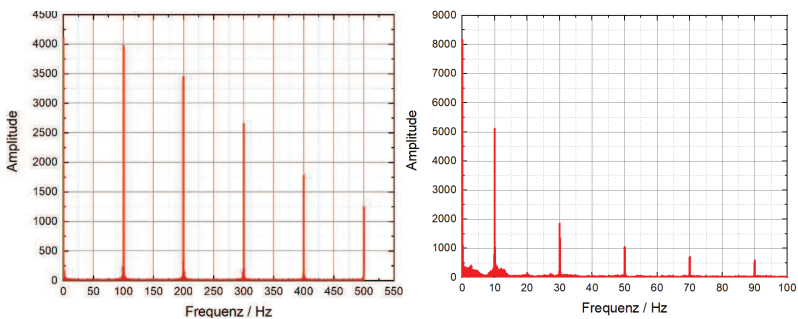


Abb. 3: Amplituden-Frequenzhistogramme für links:  $f_p = 100$  Hz,  $t_p = 1$  ms und einer mittleren Dosisleistung von 0,05 mSv/h und rechts:  $f_p = 10$  Hz,  $t_p = 50$  ms und einer mittleren Dosisleistung von 0,28 mSv/h.

### 3.2 Medizinischer Beschleuniger am Helios Klinikum Aue

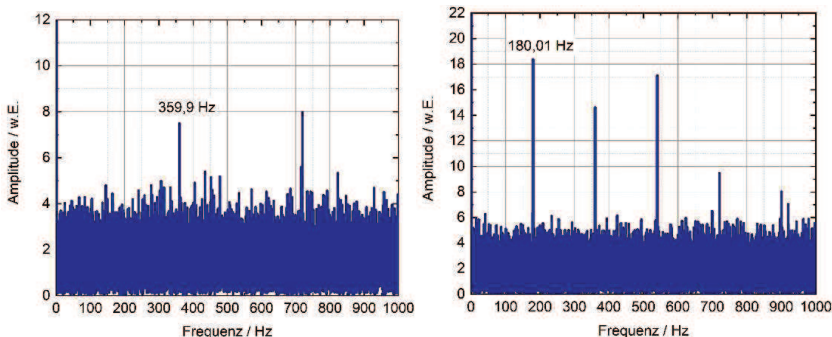


Abb. 4: Gezeigt sind zwei Amplituden-Frequenzhistogramme welche mittels FT aus den gemessenen Zählratenhistogrammen für eine Beschleunigungsspannung von 6 MV (links) und 15 MV (rechts) erzeugt wurden. Die Pulsfrequenz ist für die beiden Energien unterschiedlich.

Die Umgebungsäquivalentdosisleistung am Messort in Aue betrug bei ausgeschalteten Beschleuniger 58 nSv/h. Während der Einschaltzeit des Beschleunigers erhöhte sich diese auf  $\dot{H}^*(10) = 77$  nSv/h (6 MV) und  $\dot{H}^*(10) = 345$  nSv/h (15 MV). Messzeit für diese Werte betrug 3 min. Die mittleren Zählraten betragen 7 Ereignisse pro Sekunde bei ausgeschaltetem Beschleuniger, 10 bis 20 und 20 bis 30 Ereignisse pro Sekunde bei 6, bzw. 15 MV Beschleunigungsspannung. In Abbildung 4 ist jeweils eine FT für eine Messzeit von 30 Sekunden (15 MV) und 20 Sekunden (6 MV) gezeigt wobei die Pulsfrequenzen und deren Vielfache deutlich hervor treten.

## 4. Diskussion und Ausblick

Die Ergebnisse in gepulsten Strahlungsfeldern der PTB bestätigen, dass das entwickelte Ortsdosisleistungsmessgerät zur Messung der Größen  $\dot{H}^*(10)$  und  $\dot{H}^*(0,07)$  geeignet ist. Es konnte gezeigt werden, dass trotz Verwendung verschiedener Zeitstrukturen die jeweiligen Dosisgrößen abgebildet werden können. Dabei konnte keine Abhängigkeit der Messwerte von Pulsdauer und Frequenz festgestellt werden. Hier nicht gezeigt, jedoch ebenfalls untersucht, wurde das Sättigungsverhalten oberhalb der vorgesehenen maximalen Dosisleistung. Oberhalb von 5 mSv/h tritt eine Unteranzeige auf, die jedoch durch eine Analyse der Pulsformen erkannt werden kann, sodass eine Warnung angezeigt wird. Im Bereich sehr niedriger mittlerer Dosisleistungen kann mit sehr geringen Ereigniszahlen von ca. 500 eine Rekonstruktion der Zeitstruktur des Strahlungsfeldes durchgeführt werden. Dies ermöglicht eine Identifizierung verschiedener Beschleuniger und deren Betriebsmodi innerhalb einiger Sekunden.

Die Experimente bestätigen, dass das hier vorgestellte voll-digitale Konzept eines Dosisleistungsmessgerätes unabhängig von der Zeitstruktur des Strahlungsfeldes die gesetzlichen Messgrößen abbildet. Weiterhin ermöglicht die Analyse der zusätzlich erfassten Zeitinformationen eine Identifikation der Strahlungsquelle. Für das entwickelte Dosisleistungsmessgerät DF-01 ist eine Bauartzulassung in Planung.

## 5. Danksagung

Dieses Projekt wurde gefördert von Bundesamt für Strahlenschutz unter FKZ 3619S22371. Die Autoren bedanken sich bei Dr. Hajo Zutz, Jürgen Götze und Dr. David Weinberger.

## 6. Literaturverzeichnis

- [1] Götz, M. et al., Dosimetry of highly pulsed radiation fields. HZDR, Dresden-Rossendorf, Germany, <https://www.hzdr.de/publications/Publ-27317>, 2018
- [2] Friedrich, S. and Hupe, O., Dose measurements in pulsed radiation fields with commercially available measuring components, *Radiat. Prot. Dosimetry* 168(3), 322–329, doi: 10.1093/rpd/ncv355, 2016
- [3] Verordnung zum Schutz vor der schädlichen Wirkung ionisierender Strahlung, 29.11.2018
- [4] Böhlen, T.T. et al., The FLUKA Code: Developments and Challenges for High Energy and Medical Applications, *Nuclear Data Sheets* 120, 211-214, 2014
- [5] Werner, T. et al., Dose Rate Measurements in Pulsed Radiation Fields by Means of an Organic Scintillator, *EPJ Web of Conferences, ANIMMA 21*, vol. 253. EDP Sciences, 2021
- [6] Makarevich, K. et al., Dosimetry with the ability to distinguish pulsed and non-pulsed dose contributions, *Radiation Protection Dosimetry* 190.4, 437-445, 2020
- [7] Klammer, J., Roth, J., Hupe, O., Novel reference radiation fields for pulsed photon radiation installed at PTB. *Radiation Protection Dosimetry*, 151(3), 478-482, 2012

## **STRAHLENRISIKEN DURCH NEUTRINOS - DIE HERAUSFORDERUNGEN EINES ZUKÜNFTIGEN MYONENCOLLIDERS**

Markus Widorski, Claudia Ahdida, Heinz Vincke, Pavol Vojtyla

<sup>1</sup>*Europäische Organisation für Kernforschung (CERN), Schweiz*

Mit der Entwicklung neuer Technologien und Konzepte rücken Myonenbeschleuniger wieder in den Fokus als mögliche nächste Generation von Collidern. Das CERN hat eine internationale Kollaboration gegründet, die die Machbarkeit eines solchen Projektes untersuchen soll (<https://muoncollider.web.cern.ch/>).

Ein eher aussergewöhnliches radiologisches Risiko bei Myonencollidern stellen Neutrinos dar, die beim Zerfall der Myonen erzeugt werden. Dies ist auf den ersten Blick überraschend, da Neutrinos wegen ihrer geringen Wechselwirkungen intuitiv nicht im Fokus des Strahlenschutzes stehen. Aufgrund der hohen Neutrinofluenzen reichen die geringen Wechselwirkungswahrscheinlichkeiten jedoch aus, um für den Strahlenschutz relevante Flussdichten an geladenen und ungeladenen Sekundärteilchen zu produzieren. Diese werden entlang des Pfades der Neutrinos erzeugt und das auch noch in erheblichen Entfernungen von über 100 km zum ursprünglichen Entstehungsort der Neutrinos. Dabei treten höhere Strahlungswerte stark lokalisiert und abhängig von der Topographie auf.

Im Rahmen des Myonencollider-Projekts ist der Strahlenschutz betreffend der neutrino-induzierten Strahlung ein relevanter Aspekt, der für die Realisierbarkeit einer solchen Anlage entscheidend sein kann. Die Fragestellungen sind vielfältig und komplex. Sie betreffen die genaue Vorhersage der Dosen, die an konkreten Orten auftreten können, mögliche technische Massnahmen der Dosisreduktion, regulatorische Fragestellungen für die grenzüberschreitenden Expositionssituationen und die Akzeptanz der Bevölkerung bezüglich der Auswirkungen eines Beschleunigers, der in grosser Entfernung betrieben wird.

Wir präsentieren den aktuellen Stand der Fragestellungen, Diskussionen und Erkenntnisse zur Problematik der neutrino-induzierten Strahlenrisiken bei Myonencollidern.



## **AKE Entsorgung**



## **DIE AGO-GUTACHTERGRUPPE UND DER BEGLEITPROZESS ZUR RÜCKHOLUNG DER RADIOAKTIVEN ABFÄLLE AUS DER SCHACHTANLAGE ASSE II**

### **THE AGO-EXPERT ADVISORY GROUP AND THE PUBLIC PARTICIPATION PROCESS FOR THE RETRIEVAL OF RADIOACTIVE WASTE FROM THE ASSE II MINE**

Uwe Brückner<sup>1</sup>, Michael Bühler<sup>2</sup>, Rainer Gellermann<sup>3</sup>, Frank Hoffmann<sup>4</sup>, Jürgen Kreusch<sup>5</sup>, Ralf Krupp<sup>6</sup>, Markus Stacheder<sup>6</sup>

<sup>1</sup>*AFRY Deutschland GmbH, Mannheim, Deutschland*

<sup>2</sup>*Projekträger Karlsruhe des Karlsruher Instituts für Technologie, Karlsruhe, Deutschland*

<sup>3</sup>*Nuclear Control & Consulting GmbH, Braunschweig, Deutschland*

<sup>4</sup>*Gutachter und Berater, Groß Denkte, Deutschland*

<sup>5</sup>*Gutachter und Berater, Hannover, Deutschland*

<sup>6</sup>*Gutachter und Berater, Burgdorf, Deutschland*

#### **Zusammenfassung**

*Nach jahrelanger Kritik an den Einlagerungen radioaktiver Abfälle in die Schachtanlage Asse II und intensiven Diskussionen nach dem Bekanntwerden der Einleitung von kontaminierten Laugen in tiefere Teile der Anlage ohne Umgangsgenehmigung, wurde von den zuständigen Ministerien und dem Landkreis Wolfenbüttel der „Asse-II-Begleitprozess“ eingerichtet. Den kommunalen und zivilgesellschaftlichen Vertretern wurde als wissenschaftliches Beratungsgremium die AGO zur Seite gestellt. Dieses umfasst derzeit fünf Gutachter sowie die AGO-Geschäftsstelle. Als Beratungsgremium verfügt die AGO über keine Entscheidungskompetenz. Gleichwohl konnte sie bereits viele wichtige Impulse für die weiteren Planungsschritte zum Offenhaltungsbetrieb, zur Überwachung, zur Rückholungsplanung und dem weiteren Umgang mit den Abfällen und der zu schließenden Schachtanlage geben.*

#### **Summary**

*After years of criticism of the disposal of radioactive waste in the Asse-II-mine and intensive discussions following the disclosure of non-authorized disposals of contaminated salt solutions in the mine, the responsible ministries and the rural district of Wolfenbüttel established the "Public Participation Process Asse-II". The municipal and civil society representatives are supported by the AGO as an expert advisory group. The AGO currently comprises five experts and its office. As an advisory body, the AGO has no decision-making authority. Nevertheless, the AGO has already been able to provide many important impulses for the further planning steps for mine maintenance, monitoring, retrieval planning and further handling of the waste and the mine to be closed.*

**Schlüsselwörter** *Begleitprozess, radioaktiver Abfall, Schachtanlage Asse II, Rückholung, Zwischenlagerung*

**Keywords** *participation process, radioactive waste, Asse-II-mine, retrieval, interim storage*



## 1. Einleitung

Die Schachanlage Asse II im Landkreis Wolfenbüttel (Niedersachsen) wurde von 1967 bis 2008 von der Gesellschaft für Strahlenforschung (GSF, später HMGU) als Forschungsbergwerk betrieben. Faktisch wurde die Anlage aber vorrangig bis 1978 zur Endlagerung großer Mengen schwach- und mittel-radioaktiver Abfälle benutzt. Diese Aktivitäten wurden von Beginn an in der angrenzenden Region kritisch gesehen und mit Skepsis beobachtet. In den Jahren 2001 und 2005 fanden, organisiert von der Bürgerinitiative „Aktion Atommüllfreie Asse“, zwei Fachgespräche statt, auf denen die Situation und die vorgesehenen Schließungskonzepte der GSF mit interessierten Bürgern diskutiert wurden ([1] und [2]). Auf dem Fachgespräch im Jahr 2005 [2] wurde zudem die Frage der Öffentlichkeitsbeteiligung im damals geplanten Genehmigungsverfahren zur Schließung der Schachanlage bereits ausführlich thematisiert.

Im Jahr 2007 wurde bekannt und sehr schnell durch Medien verbreitet, dass seit Februar 2005 radioaktiv kontaminierte Flüssigkeiten trotz fehlender Umgangsgenehmigung<sup>1</sup> in den tiefsten Teil der Schachanlage eingeleitet worden waren [3]. Das führte zu intensiven Diskussionen und Klärungsbedarf in der Region sowie bei den zuständigen Ministerien (NMWK, BMU, BMBF). Es wurde erkennbar, dass Behörden ihrer Verantwortung für die Schachanlage Asse II nicht ausreichend nachgekommen waren. Kritische Bürger forderten deshalb, die geplante Schließung der Schachanlage in einem transparenten und nachvollziehbaren Prozess mit gestalten zu können. In dieser Situation wurde die Idee einer „Begleitgruppe“ von den drei damals zuständigen Ministerien BMU, BMBF und NMU akzeptiert. Im November 2007 wurde der „Asse-II-Begleitprozess“ gestartet, mit dem das weitere Vorgehen bis zur Schließung der Schachanlage von kommunalen und zivilgesellschaftlichen Vertretern aus der Region begleitet werden sollte. Zur fachlich-wissenschaftlichen Unterstützung und Beratung dieser Vertreter wurde eine „Arbeitsgruppe Optionenvergleich“ (AGO) ins Leben gerufen (s. auch [4]).

Die AGO hat durch ihre inzwischen langjährige Tätigkeit im Asse-II-Begleitprozess, der stets durch unterschiedliche Sichtweisen und Interessen der Beteiligten gekennzeichnet war, umfangreiche Erfahrungen gesammelt, die auch für die Gestaltung von anderen Begleitprozessen nützlich sein können. Insbesondere für die Begleitung der Standortauswahl für ein Endlager für hochradioaktive Abfälle in Deutschland zeigen Konflikte und Erfolge der AGO Problemfelder auf. Einige dieser Erfahrungen werden hier zusammengefasst und zur Diskussion gestellt.

## 2. Organisatorische Strukturen des Asse-II-Begleitprozesses

Die organisatorischen Strukturen des Asse-II-Begleitprozesses haben sich seit seinem Beginn im Jahr 2007 mehrfach verändert. Teilnehmer dieses Prozesses sind derzeit nur noch die Betreiberin BGE (bei Bedarf unterstützt von BMUV) sowie die niedersächsische Genehmigungsbehörde (NMU). Dieser Gruppe staatlicher Akteure mit unterschiedlichen Entscheidungskompetenzen stehen als Interessenvertreter der Bürger ihre regionalen Vertretungen gegenüber:

- der Landkreis und die Kreisverwaltung,
- die Kommunen und ihre politischen Vertreter,
- die zivilgesellschaftlichen Gruppen (anerkannte TÖB) sowie

---

<sup>1</sup> Mit Sonderbetriebsplan Nr. 18/2007 der Schachanlage Asse Remlingen (Umlagerung von kontaminierten Salzlösungen und Materialien in den Tiefenaufschluss; Antrag am 13.12.2007, Zulassung am 03.03.2008) war die Verbringung bergerechtlich zugelassen. Eine strahlenschutzrechtliche Zulassung fehlte jedoch.

- unabhängige Bürgerinitiativen und engagierte Einzelbürger.

Nach der Richtungsentscheidung des BfS für die Rückholung (2010) und die Verankerung dieser Entscheidung im Atomgesetz (2013) waren wichtige Forderungen aus der Region zunächst erfüllt worden und ein längerer Planungsprozess wurde absehbar. Infolge personeller Veränderungen durch diverse Neuwahlen der politischen Gremien entstanden zunehmend Konflikte innerhalb der Begleitgruppe. Parallel dazu fand ein gewisser Rückzug der Bundesministerien statt. Im Jahr 2017 wurden daher die regionalen Vertretungen umorganisiert. In der neugestalteten Asse-II-Begleitgruppe (A2B) wurde insbesondere der Einfluss der politischen Vertreter von Landkreis und Kommunen verstärkt. Einige Bürgerinitiativen zogen sich daraufhin aus dem Prozess zurück, blieben aber weiterhin aktiv. Durch ein ständig besetztes Koordinierungsbüro wurde eine organisatorische Unterstützung der A2B angestrebt.

Die regionalen Vertreter der A2B sind in den Planungs- und Entscheidungsprozess zur Rückholung radioaktiver Abfälle aus der Schachanlage Asse II vor allem informativ eingebunden. Einflussmöglichkeiten bestehen funktionsbezogen in den Genehmigungsprozessen. Andere Einflussmöglichkeiten oder Entscheidungskompetenzen gibt es für die regionalen Begleitgruppen nicht. Der formalisierte Zugang zu Informationen verbessert jedoch die Möglichkeit der Beteiligten, öffentlich und politisch sachbezogen zu reagieren.

Der Betreiber bedient sich zur Erfüllung seiner gesetzlichen Aufgaben zahlreicher Planungsbüros und Sachverständiger. Die atomrechtliche Genehmigungsbehörde NMU wird durch Sachverständige nach § 20 AtG unterstützt und übernimmt auch die Fachaufsicht über das niedersächsische Landesamt für Bergbau, Energie und Geologie (LBEG), welches die berechtigten Belange abdeckt.

Um den regionalen Vertretern im Begleitprozess eine von Betreiber und Behörden unabhängige Beurteilung der hochkomplexen Sachverhalte in den Planungsprozessen zu ermöglichen, war eine Fachberatung erforderlich. Zur Erfüllung dieser Aufgabe wurde die AGO ins Leben gerufen. Die aus anfangs drei Wissenschaftlern zusammengesetzte Gruppe mit Expertise in Geologie, Hydrogeologie, Bergbau, Geochemie und Physikalischer Chemie nahm 2008 ihre Arbeit auf. 2010 und 2012 wurde der Kreis um zwei Experten aus den Fachbereichen Anlagenbau und Strahlenschutz erweitert. Nach der Richtungsentscheidung des BfS im Jahr 2010, die „Option Rückholung“ als Vorzugsoption weiter zu verfolgen, erhielt die AGO die Bezeichnung „Arbeitsgruppe Optionen – Rückholung“.

### **3. Die AGO und ihre Arbeitsweise**

Die AGO besteht aus einer Gruppe von Gutachtern, die (bisher) von einer beim Projektträger Karlsruhe des Karlsruher Instituts für Technologie (KIT) angesiedelten Geschäftsstelle organisatorisch betreut wird. Die Geschäftsstelle wurde zunächst direkt beauftragt, wird aber mittlerweile vom Betreiber (derzeit BGE) über ein Ausschreibungsverfahren ermittelt und finanziert. Sie ist dem Betreiber gegenüber nicht weisungsgebunden, wickelt die Verträge mit den AGO-Gutachtern ab, koordiniert die Arbeiten und vertritt die AGO als Ganzes nach außen.

Die Gutachter der AGO wurden ursprünglich von der Begleitgruppe direkt ausgewählt. Erstmals 2019 wurden sie wegen zu beachtender EU-Vorgaben auch über öffentliche Ausschreibungen ermittelt. Dazu hatte die Begleitgruppe fünf verschiedene Kompetenzfelder definiert, die allerdings durch übliche Qualifikationsprofile nur bedingt abgedeckt werden konnten. Nach einer Eignungsbewertung durch Mitglieder der zivilgesellschaftlichen (ZGV) und kommunalen (KV) Vertretungen der Begleitgruppe wurden die fünf Gutachter von der AGO-Geschäftsstelle beauftragt.

Der AGO-Geschäftsstelle stehen für ihre Arbeit selbst 1,5 Mitarbeiter pro Jahr zur Verfügung und die AGO-Gutachter verfügen über ein Budget von jeweils 560 Std. pro Jahr.

Die AGO trifft sich monatlich u.a. mit Mitarbeitern des Betreibers zur Diskussion aktueller Entwicklungen und Planungsaufgaben, die vom Betreiber vorgestellt werden. Zur Diskussion spezieller Aspekte werden auch Auftragnehmer des Betreibers eingeladen. Zudem ist eine Person der Genehmigungsbehörde NMU anwesend.

Als eine wichtige Grundlage ihrer fachlichen Arbeit erhält die AGO in der Regel vom Betreiber zur Veröffentlichung freigegebene Unterlagen. Sie erarbeitet dazu Stellungnahmen oder formuliert Positions-, Diskussions- oder Hinweispapiere für die Begleitgruppe. Obwohl die Stellungnahmen sich zumeist kritisch mit den Inhalten der jeweiligen Unterlagen des Betreibers auseinandersetzen, versteht sich die AGO nicht als Prüfgutachter des Betreibers. Eine solche Rolle könnte sie aufgrund ihrer Aufgabenstellung und ihres begrenzten Zeitbudgets auch nicht erfüllen.

Für ihre Arbeitsweise hat sich die AGO eine „Agenda“ gegeben. Die wichtigsten Aspekte dieser Agenda sind:

- die freie Entscheidung der AGO bei der Themenwahl,
- die einzelnen Gutachter sind in ihrer Arbeit unabhängig und weisungsungebunden,
- bei unterschiedlichen Auffassungen zu Einzelfragen bei der Abfassung von AGO-Stellungnahmen können Sondervoten einzelner AGO-Mitglieder abgegeben werden.

Die AGO tagt nicht öffentlich, strebt aber eine möglichst hohe Transparenz ihrer Arbeit an. Auf Anfrage besteht deshalb auch für Mitglieder der Begleitgruppe die Möglichkeit, beobachtend an den AGO-Sitzungen teilzunehmen.

Die AGO-Mitglieder sind zur Teilnahme an Sitzungen der gemeinsamen kommunalen und zivilgesellschaftlichen Vertretung der Begleitgruppe verpflichtet und nehmen an den Sitzungen der Asse-II-Begleitgruppe („A2B-groß“ und „KGV/ZV/AGO“) sowie an Fachveranstaltungen (Gebirgsbeobachtungsgespräche, Workshops, Schachtbefahrungen, etc.) und öffentlichen Veranstaltungen im Zusammenhang mit der Rückholung der radioaktiven Abfälle und der Stilllegung der Schachanlage Asse II aktiv teil. Sie stellen auf Veranstaltungen der Begleitgruppe(n) aber auch allgemein für die Beantwortung von Fragen zur Verfügung. Diesen kommunikativen Aspekt sehen die Mitglieder der AGO als wesentlichen Inhalt ihrer Tätigkeit an. Er setzt allerdings einen funktionierenden Begleitprozess voraus (s. dazu Ausführungen im Kapitel 5).

Die Erwartungen der regionalen Vertreter an die AGO können nach Einschätzung der Gutachter wie folgt umrissen werden:

- Überprüfung von fachlichen Positionen des Betreibers in den Planungsdokumenten,
- Identifizierung inhaltlich kritischer Aspekte und Erarbeitung von Vorschlägen für alternative Handlungsmöglichkeiten,
- Information über den Planungsprozess mit Einschätzung fachlich-inhaltlicher Fragen,
- Bereitstellen fachlicher Argumente zum Artikulieren von Interessen der Region Asse.

In den vergangenen 15 Jahren seit Gründung haben sich die Themen, mit denen sich die AGO befasste, verschoben. Von 2008 – 2010 stand das Mitwirken bei der Festlegung einer Vorzugsoption der Stilllegung der Schachanlage Asse II im Mittelpunkt (Richtungsentscheid gegen Verfüllung oder interne Umlagerung der Abfälle und zugunsten der Rückholung; 2010). Nach dem Richtungsentscheid und der Änderung des §57b AtG (Lex Asse; 2013) stand die Beschleunigung der Planungsprozesse und die Verhinderung eines Abbruchs der Rückholung im Vordergrund der Arbeit der AGO. Seit 2020 und einer damals mit politischer Rückendeckung durch das BMU formulierten Standortentscheidung für ein Asse-nahes

Zwischenlager, rückten die Diskussionen um die Rückholungsplanungen und den Verbleib der rückgeholt Abfälle in den Fokus. Die AGO unterstützte dabei die regionalen Vertretungen mit fachlichen Argumenten in Bezug auf ein als „fair“ empfundenes Verfahren der Standortsuche eines Zwischenlagers für die rückzuholenden Abfälle.

#### 4. Erfolge und Konflikte

Die AGO hat im Zeitraum von März 2008 bis Juni 2022 insgesamt 83 Dokumente (davon 48 Stellungnahmen) veröffentlicht (abrufbar beim Projektträger Karlsruhe unter <https://www.ptka.kit.edu/ptka-alt/wte/421.php>).

Inhaltliche Konflikte waren und sind letztlich die Ausgangslage für den etablierten Begleitprozess. Sie resultieren aus unterschiedlichen Zielen, Aufgaben, Interessen, Sichtweisen und Bewertungen der beteiligten Akteure. Die AGO hat hier als unabhängiges Beratungsorgan die Aufgabe, die fachlichen Aspekte von Fragestellungen zur Rückholplanung auf wissenschaftlich-technischer Grundlage zu analysieren, zu bewerten und Empfehlungen auszusprechen.

Als eine reine Beratungseinrichtung ohne Entscheidungskompetenzen kann die AGO ihre Erfolge nur an „weichen“ Kriterien festmachen wie z.B. sichtbare Auswirkungen auf den weiteren Planungsprozess zur Rückholung. Dazu gehören aus den letzten drei Jahren z. B. die Stellungnahmen zum Rückholplan [5] und zur Standortauswahl für ein übertägliches Zwischenlager [6], wobei festzustellen ist, dass die daraus resultierenden Veränderungen in den Planungen der BGE sich auf Details beschränken.

Ein Sekundäreffekt der Arbeit der AGO ist die Lenkung der Aufmerksamkeit des Betreibers und von Behörden im Genehmigungsverfahren auf Probleme im Planungsprozess. Beispiele sind aus Sicht der AGO:

- Studien zur internen Umlagerung der Abfälle in tiefen Endlager-Kavernen [7],
- Mechanismen und hydrogeologische Fragen der Kontaminationsausbreitung [8],
- Bergungsstrategie und technische Methoden sowie Standsicherheit [9],
- Notfallvorsorge und Lösungszutritte sowie das Problem der Vernässung der ELKs [10],
- Möglichkeiten der Video-Inspektion und Laser-Vermessung von ELK 8a/511 [11] und
- Forderung nach einer Neuausrichtung der Umgebungsüberwachung, die die etablierte Vorgehensweise basierend auf den Anforderungen der REI in Frage stellt [12].

Die Arbeit der AGO ist seit Beginn auf eine kritische Auseinandersetzung mit den Planungen des Betreibers ausgerichtet. Diese Herangehensweise führte zu inneren und äußeren Konflikten, die sich in Fußnoten und eigenständigen Sondervoten zu Stellungnahmen sowie einer Gegenüberstellung widerspiegeln. Die große Zahl der einvernehmlich beschlossenen Dokumente belegt aber, dass die AGO insgesamt konsensorientiert arbeitet.

Dissense zwischen AGO und Betreiber (oder auch anderen Verantwortlichen) im Gesamtprozess waren zumeist begründet in unterschiedlichen Bewertungen von Sachfragen, die sich sowohl in der Bewertung naturwissenschaftlicher Sachverhalte und Zusammenhänge, technischer Lösungsansätze als auch in der Planungsstrategie und ihrer Umsetzung ausdrückten. In einem Großteil der Stellungnahmen der AGO finden sich entsprechende Aussagen.

Ein grundsätzliches Problem für die AGO bestand lange Zeit darin, dass sie in der Regel nur Unterlagen des Betreibers bewerten konnte, die in den betrieblichen Prozessen bereits final abgenommen und freigegeben waren und damit nur stark verzögert den jeweiligen Planungsstand widerspiegeln. Die Möglichkeit konstruktiver Einflussnahme auf Entscheidungen im Planungsprozess war damit von vornherein begrenzt.

Eine gemeinsame Suche von abgestimmten Vorgehensweisen gab es bisher insbesondere im Prozess der Standortauswahl für ein übertägiges Zwischenlager. Die vom BfS 2012 entwickelten Kriterien zur Bewertung potenzieller Standorte für ein übertägiges Zwischenlager für die rückgeholten radioaktiven Abfälle aus der Schachanlage Asse II [13] wurden konstruktiv von der AGO mit entwickelt. Leider zeigte sich im Nachgang, dass der jeweilige Betreiber nicht gewillt war (und ist), die Standortauswahl auf Asse-ferne Standorte zu erweitern. In bisher 15 Stellungnahmen oder Schreiben setzte sich die AGO mit diesem Themenkomplex auseinander, der nach dem Standortentscheid von BGE/BMU auch zum Aussetzen des Begleitprozesses führte<sup>2</sup> (s. Kapitel 5).

Ein nicht auszublenender Teil der äußeren Konflikte entstand (aus Sicht der AGO) durch falsche Erwartungen an die Aussagen ihrer Stellungnahmen durch die regionalen Gruppen, teilweise verursacht durch Konflikte in den regionalen Gruppen selbst. In zwei Dokumenten [14], [15] hat die AGO dazu Stellung bezogen.

## **5. Klärungsbedarf zum Begleitprozess**

### **5.1 Begleitprozess und Beteiligungsparadoxon**

Mit einem Begleitprozess sollen gesellschaftliche Konflikte bei der Um- und Durchsetzung von Projekten vermieden oder zumindest minimiert werden. Ein Ansatz dazu besteht darin, durch geeignete Kommunikation der betroffenen Bevölkerung die Auswirkungen des Vorhabens so zu erläutern, dass sie diese Auswirkungen versteht und grundsätzlich akzeptiert. Diese, auf die emotionale Projektunterstützung ausgerichtete Begleitung („Akzeptanzwerbung“) stößt an ihre Grenzen, wenn Konflikte auftauchen, die von der direkt betroffenen Bevölkerung als essentiell wahrgenommen werden. Bei solchen Konflikten, die nicht erklärt, sondern gelöst werden müssen, erwarten die Betroffenen vom Begleitprozess eine Chance, ihre Vorstellungen in die Umsetzung des Projektes einzubringen. Damit verändert sich der Charakter des Begleitprozesses zu einem Beteiligungsprozess.

Kommt es im Verlaufe eines Verfahrens dazu, dass große Teile der regionalen Bevölkerung das Projekt (oder zentrale Teile des Projektes) ablehnen, ist ein Begleitprozess (oder ein Beteiligungsprozess) nach derzeitigem Kenntnisstand sinnlos.

Der jetzige Asse-II-Begleitprozess befindet sich seit einigen Jahren aufgrund der zunehmenden Konkretisierung der Planungen zur Rückholung der radioaktiven Abfälle in einer schwierigen Phase. Dazu beigetragen haben sowohl interne Probleme der früheren Begleitgruppe [16] als auch in letzter Zeit zunehmend eine starre Haltung von BMUV und BGE hinsichtlich der Standortfrage des Zwischenlagers für die rückgeholten radioaktiven Abfälle und der weiteren Einrichtung zur Abfallbehandlung. Am Beispiel der Standortfragen wird deutlich, dass das aus der Literatur bekannte Beteiligungsparadoxon auch im Planungsprozess der Schachanlage Asse II zum Tragen kommt. Dieses besagt, dass im Laufe eines (Genehmigungs-)Verfahrens für größere Projekte das Interesse der Bürger an den sich konkretisierenden Planungen immer mehr steigt. Sobald aber die eigene Betroffenheit erkennbar wird, sinken jedoch die Möglichkeiten ihrer Einflussnahme auf Grund zuvor getroffener grundsätzlicher Entscheidungen im Verfahrensverlauf.

Auch beim Asse-II-Begleitprozess ist das Beteiligungsparadoxon zu beobachten. Beim Optionenvergleich, bei dem zu bewerten war, auf welche Art und Weise mit dem in der Schachanlage lagernden radioaktiven Abfall umgegangen werden soll (Belassen, Umlagern

---

<sup>2</sup> Pressestatement der Asse-II-Begleitgruppe zum Ruhen des Begleitprozesses vom 30.10.2020.

oder Rückholung) hatte die Begleitgruppe – und somit auch die AGO – im Rahmen umfangreicher Diskussionen die Möglichkeit, ihre Vorstellungen einzubringen. Von (fast) allen Akteuren wurde die Vorzugsoption „Rückholung“ begrüßt. Die Konsequenz dieses Entscheides, nämlich die Notwendigkeit der Errichtung eines Zwischenlagers für die rückgeholt Abfälle, wurde in frühen Phasen des Projektes von allgemeinen Erwartungen überdeckt.

Im weiteren Planungsprozess kam es zwischen den Akteuren des Begleitprozesses jedoch zu schwerwiegenden Auseinandersetzungen über die Ermittlung des Standortes des notwendigen übertägigen Zwischenlagers, die schließlich zum Aussetzen des Begleitprozesses führte (s. Kap. 4.). Die Betreiberin (BGE) und deren weisungsberechtigter Eigentümer, das BMU (BMUV), beharren unter Verweis auf strahlenschutzrechtliche Anforderungen auf dem Standpunkt, ein Asse-naher Standort sei die beste Lösung. Die regionale Vertretung der Bürger sieht aber in Anbetracht von Risiken durch Störfälle und Baugrundunsicherheiten sowie der nicht abgrenzbaren Zeit der Zwischenlagerung, eine Standortprüfung mit einem erweiterten Radius der Standortsuche als erforderlich an. Auch im sogenannten Beleuchtungsgutachten aus dem Jahr 2021 [17] wurden die Begründungen des Betreibers zum Standortentscheid als nicht überzeugend bewertet.

Am Konfliktpunkt „Standortentscheid“ werden diverse weitere Probleme des Begleitprozesses sichtbar, auf die im Weiteren eingegangen werden soll.

## 5.2 Selbstverständnis und Funktion der Akteure im Begleitprozesses

Ein aktiver Begleitprozess beruht auf der sozialen Wechselwirkung von Akteuren, die als soziale Gruppen oder funktionsbezogene Einzelakteure auftreten. Sie sind dabei Normen, Werten und Erwartungen ausgesetzt, haben aber nur bestimmte Handlungsmöglichkeiten in Form von Entscheidungskompetenzen.

Solange das Finden und Vereinbaren konsensualer Ziele und Lösungen ein von allen implizit akzeptiertes Ziel ist, kann der Prozess durch einen sachlichen Diskurs für alle, auch die nicht formal beteiligten Betroffenen, zu einem gemeinsamen Problemverständnis und zu einem akzeptablen Ergebnis kommen. Diese Situation war in der Frühphase des Begleitprozesses bis zur Änderung des §57b AtG gegeben und ist grundsätzlich wünschenswert.

In dem Maße, in dem die unterschiedlichen Entscheidungskompetenzen von Betreiber und den weiteren verschiedenen Akteuren im Begleitprozess grundsätzliche Konflikte offenlegten, wurden von den politischen Akteuren Fragen zum prozessbezogenen Selbstverständnis („Rollenverständnis“) gestellt. Als ein solch grundsätzlicher Konflikt erwies sich bisher die Frage des Zwischenlagerstandorts.

In diesem Konflikt interpretieren die Hauptbeteiligten (regionale Vertreter der Bürger, die BGE, das BMU sowie das NMU) ihre Aufgaben im Begleitprozess inzwischen jeweils für sich. Die staatlichen Akteure ziehen sich auf ihren formalen Status zurück und verweisen auf ihre juristische Verantwortlichkeit. Die regionalen Vertreter der Bürger wiederum sehen sich missverstanden oder stellen Forderungen, die über ihre (ungeklärte) Funktion im Begleitprozess hinausgehen. Inhaltliche Dissense werden nicht mehr argumentativ gelöst, sondern über Kompetenzen und Verantwortlichkeiten („Rollen“) entschieden und die langfristige Verantwortlichkeit der regionalen Akteure für die Interessen ihrer Bürgerinnen und Bürger (s. unten) wird mit der operativen Verantwortlichkeit des Betreibers konterkariert. Unter diesen Voraussetzungen verwundert es nicht, dass (fachliche) Streitpunkte zwischen den Akteuren schnell zu massiven Konflikten anwachsen können, die nur noch schwer zu lösen sind.

Über die Notwendigkeit, die Funktionen und Entscheidungskompetenzen im Begleitprozess genauer festzulegen, gibt es bei den AGO-Gutachtern unterschiedliche Auffassungen. Eine Mehrheit ist der Meinung, dass eine solche Festlegung grundsätzlich nötig ist, da ansonsten emotionale Komponenten den Prozess dominieren können. Andere befürchten, dass durch starre Festlegungen von Rollen ein sachlicher Diskurs behindert werden kann.

### 5.3 Verantwortung und Beteiligung

Eine Randbedingung des technischen Planungsprozesses, wie er im „Projekt Asse II“ abläuft, liegt darin, dass das Handeln des Betreibers und staatlicher Akteure gesetzlichen Anforderungen unterliegt und diese Anforderungen sowohl die fachinhaltlichen Spielräume als auch die verfahrensseitigen Abläufe eingrenzen. Die Verantwortung der Personen, die im Prozess der Rückholplanung diese Anforderungen einzuhalten haben, ist konkret und justiziabel.

Soweit die regionalen beteiligten Personen als Vertreter des Kreises oder der Kommunen im Begleitprozess mitwirken, sind sie politisch rechenschaftspflichtig, und damit auch politisch verantwortlich. Aus dieser Verantwortung heraus kann es für sie zwingend sein, regionale oder kommunale Interessen zu vertreten. Um diese Verantwortung wirklich wahrnehmen zu können, bedarf es einer Möglichkeit der Beteiligung an den Entscheidungsprozessen.

Die Erfahrungen der AGO zeigen, dass eine solche Beteiligung nicht für technische Planungs-details angestrebt wird, sondern nur für Entscheidungen mit großer Relevanz für die betroffene Region und einer entsprechenden Wahrnehmung durch die Öffentlichkeit.

Geht man davon aus, dass ein legitimes Mitsprache- bzw. Beteiligungsrecht der betroffenen Bevölkerung über ihre politischen Vertreterinnen und Vertretern besteht, dann muss dieses auch in der Realität wirksam werden. Dazu bedarf es aber neuer Regelungen, die deutlich über die seit langem bestehenden Verfahrensregeln (z.B. Erörterungstermine bei Planfeststellungsverfahren) hinausgehen. Ziel sollte eine grundsätzliche Veränderung der gegenwärtigen Situation in Richtung eines Anspruchs der Bürgerinnen und Bürger auf Mitwirkung bei Grundsatzentscheidungen von strategischen Projekten sein.

Solange die Vorstellungen regionaler Vertretungen grundsätzlich gerechtfertigt sind („legitim“) und sie auch den gesetzlichen Anforderungen entsprechen, also legal umsetzbar sind, ergibt sich die Frage, wieweit der Betreiber auf solche Vorstellungen mit planerischem Aufwand eingehen sollte oder muss. Da die Rückholung der radioaktiven Abfälle aus der Schachanlage Asse II mit der Lex Asse (genau wie die Endlagersuche) als politische Aufgabe zulasten des Bundeshaushalts festgeschrieben wurde, sind Budgetbegrenzungen kein Argument, bestimmte Forderungen lokaler Gruppen abzulehnen.

Alle weiteren Aspekte einer Verantwortungsübertragung sind nicht einschlägig, da es in jeder Beteiligung der regionalen Vertretungen an Entscheidungen nicht darum gehen kann, eindeutige gesetzliche Anforderungen zu unterlaufen. Soweit eine Beteiligung aber Auswirkungen auf Budget und Zeitplanung hat, müssen die Konsequenzen offengelegt und öffentlich diskutiert werden. Um eine solche Konsequenzenbewertung nicht auf Einschätzungen des Betreibers allein aufzubauen, ist eine unabhängige Fachberatung zwingend erforderlich.

Auf zwei weitere Aspekte, die für eine Beteiligung regionaler Gruppen nötig sind, ist hinzuweisen. Zum einen bedarf es, um den Anspruch auf Berücksichtigung der von den Bürgerinnen und Bürgern vorgeschlagenen Änderungen umzusetzen, einer internen Organisation, die zu einer eindeutigen Position führt, mit der diese Gruppen sich beteiligen (das Interesse muss legitim und im Rahmen eines abgestimmten Verfahrens legitimiert sein). Zum anderen steht die Frage der Information aller Interessierter. Auf Seiten der Behörden erfordert

dies deutliche Änderungen der Transparenz von Entscheidungsvorbereitungen wie z.B. die Verpflichtung zur Herausgabe relevanter Informationen.

#### 5.4 Umgang mit Konflikten, Konfliktmanagement

Bei einem Begleitprozess sind Konflikte unvermeidlich, sie sind sogar erwünscht, denn nur aus unterschiedlichen Ansichten kann ein vernünftiger Kompromiss entstehen, im Einzelfall sogar eine optimale Lösung für alle Beteiligten. Problematisch sind nicht auflösbare Konflikte (Dilemmata).

Im Falle der Schachtanlage Asse II ist die sichere und schnelle Rückholung der radioaktiven Abfälle das gemeinsame Ziel sowohl der regionalen Vertretungen als auch von BGE. Ob dieses Ziel auch von der Mehrheit der Bürgerinnen und Bürger geteilt wird, sei dahingestellt. Trotz dieses gemeinsamen Ziels besteht derzeit ein schwerwiegender Konflikt zwischen den Akteuren, der allerdings auflösbar wäre, also nicht auf einem Dilemma beruht. Nach Meinung der AGO ist dieser Konflikt auch deshalb so schwerwiegend, weil er die Grenzen des Begleitprozesses sichtbar gemacht hat. Formaler Auslöser des Konfliktes ist die frühzeitige Festlegung des damaligen Betreibers BFS auf einen Asse-nahen Standort für das Zwischenlager, an dem die derzeitige Betreiberin BGE bis heute festhält. Die AGO hat rechtzeitig, jedoch vergeblich, gegen diese Festlegung argumentiert [18].

Da der Konflikt nicht auf illegitimen oder technisch unzulässigen Forderungen beruht, sondern die legitimen Interessen der regionalen Verantwortungsträger ignoriert, steht er nach Ansicht der AGO beispielhaft für zu erwartende Konflikte bei der Auswahl eines Endlagerstandortes für hoch radioaktive Abfälle.

Es ist wichtig zu betonen, dass die Forderungen nach einer Prüfung Asse-ferner Zwischenlagerstandorte nicht mit der Grundhaltung „Not in my backyard“ verwechselt werden darf. Es gab klare Signale der regionalen Gruppen, dass bei einem entsprechenden Ergebnis des Verfahrens auch ein Asse-naher Standort (zumindest von großen Teilen der im Begleitprozess vertretenen Gruppen) akzeptiert wird. Als entscheidend erweist sich ein Verfahren, das von den meisten Beteiligten als fair empfunden wird. Der Konflikt wäre möglicherweise zu vermeiden gewesen, wenn die Akteure des Begleitprozesses frühzeitig ein Konfliktmanagement vereinbart hätten, das aus Rollenverständnis und Funktion der einzelnen Akteure Regeln und eine Umgangsweise mit Konflikten vorgegeben hätte. Von Mitgliedern der AGO wurde bereits in der Vergangenheit eine solche Empfehlung mehrfach geäußert [14], sie fiel aber nicht auf fruchtbaren Boden. Die in Konflikte involvierten Akteure können häufig aus verschiedenen Gründen, darunter auch emotionaler Betroffenheit, nicht sachlich abgeklärt zu Kompromissen kommen.

Es zeigt sich heute als Fehler des Begleitprozesses, dass die Verantwortlichkeit der regionalen Gruppen nicht beachtet und kein Konfliktmanagement eingeführt wurde. Ein von den Akteuren (einschließlich AGO) unabhängiges Gremium („Schiedsgericht“), das bei Konflikten Lösungsvorschläge vorbereitet, wäre daher dringend angebracht.

## 7. Literaturverzeichnis

- [1] Dokumentation. Fachgespräch zur Situation im Atommüll-Endlager Asse II. 20. Oktober 2001, Wolfenbüttel, Herausgeber: Bürgerinitiative Aktion Atommüllfreie Asse, Wolfenbüttel, Februar 2002.



- [2] Dokumentation. 2. Fachgespräch zur Situation im Atommüll-Endlager Asse II. 23. April 2005, Wolfenbüttel, Herausgeber: Bürgerinitiative Aktion Atommüllfreie Asse, Wolfenbüttel, Juli 2005.
- [3] Ipsen, D., Kost, S. & Weichler, H. (2010): Analyse der Nutzungsgeschichte und der Planungs- und Beteiligungsformen der Schachanlage Asse II, Endbericht, Kassel, 08.03.2010; Universität Kassel.
- [4] Kallenbach-Herbert, B. (2016): Öffentlichkeitsbeteiligung bei der Stilllegung der Schachanlage Asse II. Empirische Erfahrungen aus den Jahren 2007-2011 und ein Ausblick. In: Hocke, P.; Bechthold, E.; Kuppler, S. (Hg.) (2016): Rückholung der Nuklearabfälle aus dem früheren Forschungsbergwerk Asse II. Dokumentation einer Vortragsreihe am Institut für Technikfolgenabschätzung und Systemanalyse (ITAS). Karlsruhe: KIT Scientific Working Papers Nr. 47
- [5] AGO-Stellungnahme zur BGE-Unterlage: "Plan zur Rückholung der radioaktiven Abfälle aus der Schachanlage Asse II (Stand 19.02.2020)" vom 06.08.2020.
- [6] AGO-Stellungnahme zur BGE-Unterlage: "Standortauswahl für ein übertägiges Zwischenlager für die rückgeholtten radioaktiven Abfälle aus der Schachanlage Asse II (Stand 31.05.2019)" vom 22.07.2020.
- [7] AGO-Stellungnahme zum Bericht des Helmholtz Zentrum München: "Entwicklung und Beschreibung des Konzepts zur Schließung der Schachanlage Asse" (29.09.2008).
- [8] AGO-Kurzstellungnahme zur BGE-Unterlage: "Hydrogeologische Risiken bei Auffahrung und Betrieb des geplanten Rückholbergwerks östlich der Schachanlage Asse II (Stand 29.10.2018)" vom 16.12.2019.
- [9] AGO-Stellungnahme zur Unterlage: „Konzeptplanung zur vorgezogenen Rückholung der radioaktiven Abfälle von der 750-m-Sohle Arbeitspaket 10/11A: Technisches Konzept und Sicherheits- und Nachweiskonzept (Stand: 30.10.2020)" vom 16.07.2021.
- [10] AGO-Stellungnahme zum Themenkomplex "Notfallplanung für das Endlager Asse", BfS und Asse GmbH, vom 16.09.2010.
- [11] AGO-Schreiben an A2B bezüglich der geplanten Video-Erkundung der Einlagerungskammer 8a/511 in der Schachanlage Asse II, vom 06.05.2020.
- [12] AGO-Diskussionspapier: „Anforderungen an die Umgebungsüberwachung der Schachanlage Asse II" vom 28.10.2019.
- [13] Kriterienbericht Zwischenlager. BfS (Stand: 23.10.2012).
- [14] AGO-Schreiben an A2B zur momentanen Strukturdiskussion und der Funktion der AGO im Begleitprozess, 26.06.2017.
- [15] AGO-Dokument zum Thema "AGO-Stellungnahmen und andere Dokumente – Anforderungen, Erstellungsprozess und Erwartungshaltung zum Umgang damit“ vom 11.05.2017.
- [16] Riekeberg, A. (2017): Spannungen in der Asse 2-Begleitgruppe. 10 Fragen und Antwortversuche zu den Randbedingungen und der Geschichte eines Konfliktes. In: Asse Durchblicke. Ausgabe 7. August 2017. Abgerufen von [http://www.asse-watch.de/pdf/Asse\\_Durchblicke\\_Nr7\\_web.pdf](http://www.asse-watch.de/pdf/Asse_Durchblicke_Nr7_web.pdf) (Juni 2022).
- [17] Bühl, H., Hocke, P., Küppers, C. & Schlacke, S. (2021): Beleuchtung des Standortauswahlverfahrens für ein Zwischenlager im Rahmen der Rückholung der radioaktiven Abfälle aus der Schachanlage Asse II.
- [18] AGO-Stellungnahme zur Unterlage "Technische Konzeptbeschreibung zum Vergleich der Strahlenexposition für Zwischenlagerstandorte", BfS (Stand: 27.03.2014) vom 27.06.2014.

# HERRENLOSE RADIOAKTIVE MATERIALIEN IM METALLRECYCLING

## ORPHAN RADIOACTIVE MATERIALS IN METAL RECYCLING

Stefan Büchi, Sandro D'Amato, Florian Muller, Michel Hammans

*Schweizerische Unfallversicherungsanstalt (SUVA), Luzern, Schweiz*

### **Zusammenfassung**

*Immer wieder kommt es vor, dass radioaktive Materialien unsachgemäss entsorgt werden – beabsichtigt oder unbeabsichtigt. Wir zeigen auf, welche Anstrengungen die Schweiz seit den 1990er-Jahren unternimmt, um herrenlose radioaktive Materialien zu detektieren und zu bergen und welches die bedeutendsten Herausforderungen sind.*

*Wir fokussieren uns dabei auf die Metallrecycling-Branche, stellvertretend für alle Betriebe, in denen eine erhöhte Wahrscheinlichkeit besteht, dass herrenlose radioaktive Materialien in ihren Materialflüssen vorkommen. Im Zuge der Totalrevision der Verordnungen im Strahlenschutz wurde 2018 mit dem Artikel 104 für diese Betriebe eine Verpflichtung eingeführt, mit geeigneten Überwachungsverfahren ihre Materialflüsse zu überprüfen.*

*Das Bundesamt für Gesundheit BAG hat zusammen mit der Suva und nach Konsultation der betroffenen Branchen eine Wegleitung verfasst und in Zusammenarbeit mit dem Paul Scherrer Institut PSI die Anforderungen an die Messmittel konkretisiert. Insbesondere soll die Leistungsfähigkeit der Detektoren möglichst gut ausgenutzt werden. Ein technisches Kriterium dafür ist die Fehlalarmrate, zu der die Normen uneindeutige Anforderungen stellen.*

*Die Suva hat über 500 Betriebe in der Metallrecycling-Branche kontaktiert. Von diesen hat sie rund 100 als betroffene Betriebe identifiziert, sie über ihre Pflichten informiert und sie beim Aufbau ihres Überwachungsverfahrens nach Bedarf unterstützt. Seit der Einführung des Artikels 104 können mehr herrenlose radioaktive Materialien aus den ansonsten inaktiven Materialflüssen geborgen und fachgerecht entsorgt werden. Dazu stellen wir zwei konkrete Beispiele vor.*

### **Summary**

*Time and again, radioactive materials are improperly disposed of – intentionally or unintentionally. We show what efforts Switzerland has been making since the 1990s to detect and recover orphan radioactive materials and what the most significant challenges are.*

*We focus on the metal recycling sector, as representative of all companies where there is an increased probability that orphan radioactive materials are present in their material flows. As part of the total revision of the ordinances on radiological protection in 2018, Article 104 introduced an obligation for these companies to apply suitable monitoring procedures to their material flows.*

*The Federal Office of Public Health (FOPH), together with Suva and after consulting the sectors concerned, has elaborated a guideline and, in collaboration with the Paul Scherrer Institute PSI, has specified the requirements for the measuring equipment. In particular, the performance of the detectors should be exploited as much as possible. One technical criterion for this is the false alarm rate, for which the standards set ambiguous requirements.*

*Suva contacted over 500 companies in the metal recycling industry. Among these, Suva has identified around 100 as affected, informed them of their obligations and assisted them in implementing their monitoring procedure as required.*

*Since the introduction of Article 104, more orphan radioactive materials could be recovered from otherwise inactive material flows and disposed of properly. We present two concrete examples of this.*

**Schlüsselwörter** *herrenloses radioaktives Material, Portalmonitor, Metallschrott*  
**Keywords** *orphan radioactive material, portal monitor, scrap metal*

## 1. Geschichtliche Entwicklung der Messpflicht

Täglich werden viele Tonnen Metallschrott über die Landesgrenzen für das Recycling zu ausländischen Schmelzwerken transportiert. Zu den Hauptabnehmern aus der Schweiz gehört unter anderem Italien. Nachdem in Italien eingeschmolzene radioaktive Quellen Kontaminationen verursacht hatten, wurde 1993 vom italienischen Gesundheitsministerium eine Direktive über die Radioaktivitätskontrolle von Metallschrott an den Landesgrenzen und im eigenen Land erlassen, und ab dem 1.4.1996 durften Eisenbahnwagen und Camions von ausserhalb der EU die Grenze nur noch mit dem Formular IRME 90 passieren [1]. Im Formular IRME 90 musste ein Strahlenschutz-Sachverständiger mit anerkannter Ausbildung bestätigen, dass die Messung nach bestimmten Kriterien durchgeführt und keine Radioaktivität festgestellt wurde. Insbesondere durfte bei der Messung in 20 cm Abstand von den Ladungswänden die Dosisleistung nicht höher als 5 % über dem Untergrund liegen. Die Suva führt seither für die Sachverständigen entsprechende anerkannte Strahlenschutzkurse mit einer Dauer von drei Tagen durch.

Mit dem Konzept, dass ausgebildete Strahlenschutz-Sachverständige mit geeigneten Messgeräten die Ladungen vor dem Export überprüfen, konnten die Rückweisungen an der italienischen Grenze markant reduziert werden.

Mit ihren Anstrengungen zur Detektion und Sicherstellung herrenloser radioaktiver Materialien setzt die Schweiz auch internationale Empfehlungen um [2]. 2018 wurde mit einer dreijährigen Übergangsfrist auch auf Schweizer Seite die Verpflichtung eingeführt, mit geeigneten Überwachungsverfahren die Materialflüsse auf das Vorhandensein herrenloser radioaktiver Materialien zu überprüfen (Strahlenschutzverordnung StSV, Art. 104), so dass diese Materialien noch vor einer allfälligen Verwertung oder Ausfuhr fachgerecht geborgen werden können. Diese Verpflichtung gilt für Betriebe, in denen die Wahrscheinlichkeit für das Vorkommen herrenloser radioaktiver Materialien erhöht ist. Dazu gehören ausdrücklich auch diejenigen Betriebe, die Metallschrott verwerten oder für die Ausfuhr bereitstellen. Ausserdem wurde in einem Abkommen zwischen der Schweiz und Italien vereinbart, dass die beiden Staaten die behördlich bewilligten Messkonzepte ihrer Betriebe gegenseitig anerkennen [3], nachdem Italien die Anerkennung von in der Schweiz ausgestellten IRME-90-Formularen zwischenzeitlich ausgesetzt hatte.

Viele Schweizer Metallrecyclingbetriebe installierten schon lange vor der Messpflicht aus eigenem Antrieb Portalmonitore. Das frühere IRME-90-Formular sah Portalmessungen nicht vor, und so mussten diese Betriebe vor dem neuen Abkommen für den Export nach Italien zusätzlich Messungen von Hand durchführen oder in Auftrag geben.

## **2. Anstoss zur Umsetzung der Messpflicht durch die Behörden**

Um die betroffenen Metallrecyclingbetriebe über die neue Messpflicht zu informieren und zu beraten, mussten diese zuerst einmal ermittelt werden. Dazu wurden die Daten der Eidgenössischen Zollverwaltung EZV (heute Bundesamt für Zoll und Grenzsicherheit BAZG) verwendet und entsprechend gefiltert. Daraus resultierte eine Liste von rund 500 Betrieben, die von der Suva zu einer Rückmeldung mit einem Fragebogen aufgefordert wurden, um festzustellen, ob sie unter die Messpflicht fallen. Nicht unter die Messpflicht fallen z. B. Betriebe, die ausschliesslich Neuschrotte aus bekannter Herkunft exportieren. Die Suva geht davon aus, dass die so ermittelte Liste von rund 100 betroffenen Betrieben nahezu vollständig ist und dass die übrigen betroffenen Betriebe die Information auf anderem Wege ebenfalls erhalten haben.

Neben den Metallrecyclingbetrieben, die von der Suva beaufsichtigt werden, sind auch Kehrlichtverbrennungsanlagen von der Messpflicht betroffen. Diese werden vom Bundesamt für Gesundheit BAG betreut. Ihre Sachverständigen werden in der Regel auch durch die Suva ausgebildet.

## **3. Wegleitung zur Messpflicht und Anforderungen an die Messmittel**

Um die Anforderungen im Zusammenhang mit dem Artikel 104 zu konkretisieren, erarbeitete das BAG zusammen mit der Suva, dem Paul-Scherrer-Institut PSI und in engem Austausch mit dem Verband Stahl-, Metall- und Papier-Recycling Schweiz VSMR und dem Verband der Betreiber Schweizerischer Abfallverwertungsanlagen VBSA die Wegleitung «Überprüfung von Abfällen und Recyclingmaterialien auf mögliche Radioaktivität», die von der Website des BAG heruntergeladen werden kann [4].

Die Wegleitung enthält Informationen zu den Anforderungen an die Messmittel, die Aus- und Fortbildung und die Massnahmen im Falle von Funden. Sie enthält in Anhängen Verweise auf Normen, Ablaufschemata für das Vorgehen bei Alarmen und eine Mustervorlage für die Meldung von Funden an das BAG und die Suva.

Da es für die Recyclingbetriebe oft nicht möglich ist, selbst die Konformität der Messgeräte zu beurteilen, finden sich auf der Website des BAG Gerätelisten für Portalmonitore und Handmessgeräte, die aufgrund ihrer technischen Spezifikationen als konform mit den Anforderungen der Wegleitung gelten.

## **4. Technische und organisatorische Qualitätskriterien für die Messungen**

Wir gehen davon aus, dass durch die Anwendung der Wegleitung die Betriebe mit zumutbarem Aufwand die Wahrscheinlichkeit erheblich reduzieren können, dass relevante Mengen unerwünschter Radioaktivität in den Ladungen unentdeckt bleiben. Es handelt sich hierbei aber nicht um Freimessungen im strengeren Sinne für den Nachweis, dass die Befreiungsgrenzen gemäss Anhang 3 der StSV unterschritten sind, wie sie z. B. in der Richtlinie ENSI-B04 [5] geregelt sind.

Die Messdauer bei Handmessungen und die maximale Durchfahrtsgeschwindigkeit bei Portalmonitoren müssen mit den zugehörigen Detektorvolumina und -empfindlichkeiten so

festgelegt werden, dass die Alarmschwellen genügend tief eingestellt werden können. Details dazu sind in den entsprechenden Normen festgehalten.

Bei Handmessungen muss eine Erhöhung von 5 % gegenüber dem Untergrund festgestellt werden können, wie dies schon für die Messungen nach IRME 90 der Fall war. Dazu braucht es wegen der Statistik mindestens 1000 Impulse pro Messung.

Eine einzelne Handmessung darf nicht länger als 30 Sekunden dauern, weil man sonst nicht mehr davon ausgehen kann, dass das Personal in der täglichen Routine bei oft 20 Messpunkten und mehr pro Ladung die nötige Geduld aufbringt, um die Qualität der Messungen zu gewährleisten; dies insbesondere dann, wenn längere Zeit keine erhöhten Messwerte auftreten, was ja durchaus erwünscht ist. Der Detektor muss deshalb die entsprechende Empfindlichkeit und somit ein genügend grosses Volumen haben.

Bei Portalmonitoren muss die Fehlalarmrate *mindestens* 1:1000 betragen. Gibt es durchschnittlich weniger als einen Fehlalarm pro 1000 Messungen, muss die Alarmschwelle gesenkt werden, damit auch noch schwächer strahlende Objekte detektiert werden können. Mit diesem Kriterium wird gewährleistet, dass die Leistungsfähigkeit der Detektoren optimal ausgenutzt wird. Als Fehlalarm dürfen nur Alarme gezählt werden, die bei einer Wiederholung der Messung *nicht* bestätigt werden können, sodass die wahrscheinliche Ursache ein Messwert über der Alarmschwelle ist, der durch statistische Schwankungen des natürlichen Untergrundes zustande gekommen ist. Andere, technische Alarme – z. B. wegen Überschreitung der Höchstgeschwindigkeit oder wegen technischer Störungen – werden nicht mitgezählt. Eine allzu hohe Fehlalarmrate ist allerdings auch unerwünscht, weil dies den Betriebsablauf stört und allenfalls dazu führt, dass die Alarme nicht mehr mit der gebotenen Sorgfalt abgeklärt werden.

Technische Ausfälle automatischer Portalmonitore müssen zuverlässig erkannt werden. Wenn eine gemessene Ladung für den Export bestimmt ist, wird der Ausfall der Messung in der Regel sofort erkannt, weil kein Messprotokoll erstellt wird, das dem Chauffeur übergeben werden könnte. Wenn aber die Protokollierung und Speicherung der Messdaten vollständig automatisiert und digital erfolgt, so dass das Fehlen einer Messung nicht sofort erkannt wird, dann muss das System bei einem Ausfall der Messung in irgendeiner Weise die Aufmerksamkeit einer verantwortlichen Person erregen – etwa durch einen Warnton, ein Warnlicht oder z. B. durch eine SMS auf die Mobiltelefone eines Pikettdienstes.

Dazu liegt es in der Verantwortung des Betriebes, spezielle Umstände, die die Qualität der Messungen beeinträchtigen können, zu erkennen und möglichst zu beseitigen oder abzumildern. So sollte der Portalmonitor z. B. an einem Ort stehen, der möglichst selten von externen Strahlungsquellen beeinflusst wird.

## **5. Unterstützung der Betriebe bei der Umsetzung**

Die für die Messungen verantwortlichen Sachverständigen müssen also nicht bloss das Messgerät richtig bedienen können. Sie müssen im Betrieb das Qualitätsmanagement organisieren und dazu die Fachkenntnis weiterer Personen innerhalb und ausserhalb des eigenen Betriebs nutzen.

So sind insbesondere auch die Inverkehrbringer der Handmessgeräte und der Portalmonitore gefordert. Mit der Übergabe des Messgeräts ist ihre Arbeit noch nicht zu Ende. Es braucht

Vereinbarungen über die verschiedenen Aufgaben in der Qualitätssicherung. In der Regel gibt es Wartungsverträge, und es muss durch wiederholte Auffrischungen der Instruktionen und Ausbildungen für den Erhalt der nötigen Fachkompetenzen gesorgt werden.

Die Aufsichtsbehörden – im Bereich Metallrecycling die Suva – besuchen die Betriebe stichprobenweise und passen die Intensität der Aufsicht an das Risiko und den Stand der Qualitätssicherung in den Betrieben an. Die Suva hat die meisten betroffenen Metallrecyclingfirmen in den letzten beiden Jahren mindestens einmal besucht. Die Suva und das BAG stehen auch im Dialog mit den Händlern und Servicefirmen, um Erfahrungen auszutauschen, Anforderungen zu präzisieren und so dazu beizutragen, dass die Qualität erhalten bleibt und wo nötig verbessert wird.

Auch die beiden Verbände VSMR und VBSA leisten mit ihren Veranstaltungen und Publikationen einen wichtigen Beitrag.

Natürlich wollen die Betriebe den finanziellen und organisatorischen Aufwand geringhalten. Sie sind aber ebenso daran interessiert, die Qualitätsanforderungen zu erfüllen.

## **6. Entwicklung in den letzten drei Jahren**

Seit der Einführung der Messpflicht, die mittlerweile praktisch vollständig umgesetzt wird, ist die Anzahl Funde herrenloser radioaktiver Materialien in den Betrieben angestiegen. Dabei handelt es sich mehrheitlich um Altlasten mit Ra-226, die so dem Kreislauf entzogen und der korrekten Entsorgung zugeführt werden konnten.

Das BAG kann die reinen Entsorgungskosten bei Fällen von Altlasten ganz oder teilweise auf Gesuch hin übernehmen. Dazu müssen die Betriebe unter anderem alle Fundstücke einzeln melden und Angaben zur Eingrenzung der möglichen Lieferanten machen können. Die aktuellen Zahlen können nicht direkt mit früheren Jahren verglichen werden, als noch nicht alle Funde einzeln gemeldet wurden.

Rückweisungen durch den italienischen Zoll kommen nur noch selten vor, da die Betriebe den Zolldokumenten die im Abkommen zwischen der Schweiz und Italien vorgeschriebene Messbestätigung beilegen.

Mit der Umsetzung von Art. 104, StSV, leisten die betroffenen Betriebe in der Schweiz einen wichtigen Beitrag dazu, dass herrenlose radioaktive Materialien den Kreisläufen und dem internationalen Warenverkehr entzogen werden können.

## **7. Zwei Beispiele für herrenlose radioaktive Fundstücke**

### **7.1 Typisches Beispiel: Fund eines elektronischen Bauteils mit Radium**

In einem Tessiner Betrieb meldete im Juni 2022 das Messportal leicht erhöhte Radioaktivität. Der Sachverständige des Betriebs liess das Material abladen. Mit einem Handmessgerät konnte ein einzelnes intaktes elektronisches Bauteil als Strahlungsquelle identifiziert werden (Abb. 1). Es wurde in der für diese Zwecke eingerichteten Lagerstelle aufbewahrt, bis es für die Entsorgung abgeholt wurde. Der Betrieb meldete den Fund mit dem dafür vorgesehenen

Formular dem BAG und der Suva. Der Betrieb hat die Abläufe gemäss der Wegleitung eingehalten.

Dies ist ein Beispiel dafür, dass mit der Umsetzung des Art. 104, StSV, herrenloses radioaktives Material entdeckt und fachgerecht entsorgt werden kann, das andernfalls in den Recyclingbetrieben Kontaminationen verursachen würde. Auch wenn dieser Einzelfall nicht spektakulär erscheint, so illustriert er, dass mit den Radioaktivitätsmessungen die Qualität des Recyclingmaterials noch besser kontrolliert und verbessert werden kann.



*Abb. 1: Messung eines elektronischen Bauteils auf dem Boden des Entladeplatzes*

## 7.2 Spezielles Beispiel: Fund einer Seilbahnquelle an der Zollstelle Ponte Chiasso

Beim Transport von alten Seilen aus Seilbahnen von der Schweiz nach Italien wurde im Juni 2021 am Zoll in Ponte Chiasso erhöhte Radioaktivität festgestellt, die von einer radioaktiven Quelle stammte, die noch immer im Seil eingebaut war. Ursprünglich diente die Quelle als Signalgeber für die Seilbahnsteuerung.

Eigentlich hätte die Messung bereits anlässlich der Bereitstellung für die Ausfuhr in der Schweiz durchgeführt werden müssen. Der Camion hatte aber bereits die Schweizer Seite des Zolls passiert, als bei der Kontrolle durch den italienischen Zoll festgestellt wurde, dass die vorgeschriebene Messbestätigung fehlte. Um das Einverständnis für die Weiterfahrt zu bekommen, musste der Transporteur den Camion auf der Zollstelle durch eine italienische Sachverständige messen lassen. Die Messung ergab eine maximale Dosisleistung von  $30 \mu\text{Sv/h}$  an der Oberfläche des Camions bei einem natürlichen Untergrund von  $0.07 \mu\text{Sv/h}$ .

Der Fall verursachte einen erheblichen Aufwand: Als klar war, dass es sich um eine in ein Seil eingebaute Quelle handelte, musste eine Bergungsmöglichkeit gefunden werden. Nach Abwägung der verschiedenen Möglichkeiten entschied die Suva, dass die gesamthaft für Mensch und Umwelt günstigste Möglichkeit ein Rücktransport durch den Gotthardtunnel zum ursprünglichen Versender war, weil dieser eine geeignete Einrichtung für die Seilabwicklung hatte. Nach dieser Entscheidung konnte die Freigabe für den Rücktransport beim italienischen Zoll und eine Sonderbewilligung für den Gefahrguttransport durch den Gotthardtunnel beim Bundesamt für Strassen ASTRA beantragt werden. Ein Mitarbeiter der Suva begleitete den Transport, der als dringend gemäss einer Vereinbarung unter den drei Aufsichtsbehörden

klassiert wurde (mit Angabe der Abweichungen von den Transportvorschriften im Beförderungspapier). Nach der Bergung konnte die unversehrte Cs-137-Quelle (Baujahr 1980, aktuelle Aktivität 235 MBq) eindeutig einem Verursacher zugeordnet werden (Abb. 2). Anlässlich der Stilllegung der Seilbahn vor rund 20 Jahren war die Information über die noch im Seil befindliche Quelle nicht korrekt weitergegeben worden.



*Abb. 2: Seil, Seilstück nach Entfernung der Quelle, Quelle im Bleibehälter*

Beim Verkauf der Seile als Altmetall war ein Zwischenhändler involviert (ein sogenannter Streckenhändler). Das führte dazu, dass kein klarer Entscheid vorlag, wer für die Durchführung einer Messung vor der Ausfuhr zuständig war. Aufgrund des Vorfalls passten die involvierten Metallrecyclingfirmen ihre Prozesse so an, dass die Zuständigkeit für die Messung vor dem Abtransport geklärt sein muss.

Für die Abklärung eines allfälligen Straftatbestandes wurde der Fall an die Bundeskriminalpolizei weitergeleitet.

## **5. Literaturverzeichnis**

- [1] H. Jossen: Radioaktive Stoffe im Metallschrott, die Situation in der Schweiz; 37. Jahrestagung des Fachverbandes für Strahlenschutz e.V. (FS-05-139-T); Basel, 2005
- [2] Code of Conduct on the Safety and Security of Radioactive Sources, Art. 13; IAEA, Wien, 2004
- [3] Accordo del 18 dicembre 2020 tra il Consiglio federale della Confederazione Svizzera e il Governo della Repubblica Italiana in materia di mutuo riconoscimento dei controlli radiometrici di prodotti metallici destinati all'esportazione; Schweizerische Eidgenossenschaft, Systematische Rechtssammlung, 0.814.514.541; Inkrafttreten: 17.01.2021
- [4] Wegleitung Überprüfung von Abfällen und Recyclingmaterialien auf mögliche Radioaktivität; Internet: <https://www.bag.admin.ch/herrenloses-radioaktives-material>; 09.11.2020
- [5] ENSI-B04, Richtlinie für die schweizerischen Kernanlagen, Befreiung von Kontroll- und Überwachungsbereichen sowie Materialien von der Bewilligungspflicht und Aufsicht; Eidgenössisches Nuklearsicherheitsinspektorat ENSI; Ausgabe November 2018





# **AKI Inkorporation**



# NOVELLIERUNG DER RICHTLINIE FÜR DIE PHYSIKALISCHE STRAHLENSCHUTZKONTROLLE ZUR ERMITTLUNG DER KÖRPERDOSEN TEIL 2 MIT EINHEITLICHEN REGELUNGEN FÜR DIE INKORPORATIONSÜBERWACHUNG

## AMENDMENT OF THE GUIDELINE RPHYKO 2 REGARDING UNIFORM REGULATIONS FOR INTERNAL MONITORING

Oliver Meisenberg, Simone Löscher

*Bundesamt für Strahlenschutz Berlin, Abteilung Medizinischer und beruflicher Strahlenschutz*

### **Zusammenfassung**

*Die Richtlinie für die physikalische Strahlenschutzkontrolle zur Ermittlung der Körperdosen Teil 2 (RiPhyKo 2) enthält einheitliche Regelungen zur Durchführung der Inkorporationsüberwachung von Beschäftigten, für die ein Risiko einer inneren Exposition besteht. Verschiedene Gründe erforderten eine Novellierung dieser Richtlinie, darunter das neue Strahlenschutzrecht, neue internationale Normen und Empfehlungen sowie neue Biokinetik-Daten der ICRP. In den letzten zwei Jahren wurde die Richtlinie unter Mitwirkung des Bundesumweltministeriums, des Bundesamts für Strahlenschutz sowie des Fachverbands für Strahlenschutz überarbeitet. Wesentliche Unterschiede zur bisherigen Richtlinie betreffen unter anderem die Bestimmung des Erfordernisses zur Durchführung einer Inkorporationsüberwachung, die an internationale Empfehlungen angenähert wurde. Außerdem wurden Festlegungen zum Strahlenschutz gebärfähiger Personen unter Berücksichtigung des auf den Monat bezogenen besonderen Grenzwerts der Gebärmutter-Dosis eingeführt. Für die Qualitätssicherung von Inkorporationsmessstellen wurde zur bislang verpflichtenden Akkreditierung die Alternative einer Begutachtung durch das Bundesamt für Strahlenschutz oder die Bestimmungsbehörde eingeführt. Für die Raumluftüberwachung wurde ein System wiederkehrender Prüfungen definiert.*

### **Summary**

*The guideline RiPhyKo 2 stipulates uniform regulations for the internal monitoring of workers that bear a risk of internal exposure. Several reasons demanded an amendment of this guideline, among others the new German radiation protection law, new international standards and recommendations and new biokinetic data of ICRP. During the last two years, the RiPhyKo 2 was revised with contributions by the Federal Ministry for the Environment, the Federal Office for Radiation Protection and the Association for Radiation Protection. Significant differences as compared to the previous guideline concern the provisions for the decision about regular internal monitoring, which was adjusted to international recommendations. Besides, regulations regarding the radiation protection of persons able to bear children, which take into account the special monthly dose limit for the uterus, were introduced. Regarding the quality assurance of internal monitoring laboratories, audits by the Federal Office for Radiation Protection or the competent authority were introduced as an alternative to accreditation. For the quality assurance in workplace monitoring, a system of periodic reviews was defined.*

**Schlüsselwörter** *Inkorporationsüberwachung, beruflicher Strahlenschutz*

**Keywords** *Internal monitoring, occupational radiation protection*

## **1. Einleitung**

Die derzeitige Richtlinie für die physikalische Strahlenschutzkontrolle zur Ermittlung der Körperdosen Teil 2 (RiPhyKo 2) beschreibt seit 2007 eine einheitliche Vorgehensweise bei der Durchführung der Inkorporationsüberwachung bei beruflichen Expositionen. Sie enthält Vorgaben zur Bestimmung des Erfordernisses einer regelmäßigen Inkorporationsüberwachung, verteilt die Zuständigkeiten auf die Betriebe und die behördlich bestimmten Inkorporationsmessstellen, stellt Anforderungen an die Qualität der Inkorporationsmessungen und beschreibt die Vorgehensweise bei der Dosisberechnung. 2008 wurde die RiPhyKo 2 um eine Empfehlung zu ihrer Anwendung in der Nuklearmedizin ergänzt, worin vor allem Parameter für die Bestimmung des Erfordernisses einer regelmäßigen Überwachung für verschiedene diagnostische und therapeutische Verfahren tabelliert sind.

Verschiedene Aspekte machten es erforderlich, die RiPhyKo 2 von 2007 zu überarbeiten, darunter das neue Strahlenschutzrecht, neue internationale Empfehlungen, neue Dosiskoeffizienten und Biokinetikdaten der ICRP und eine Weiterentwicklung von Arbeitsverfahren. Aus diesem Grund forderte das Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, nukleare Sicherheit und Verbraucherschutz (BMUV) im Mai 2020 das Bundesamt für Strahlenschutz (BfS) auf, eine Novelle der RiPhyKo 2 zu erarbeiten. Im Folgenden werden der Weg zur neuen RiPhyKo 2 skizziert sowie wesentliche Inhalte vorgestellt.

## **2. Organisation der Novellierung**

Der Neuentwurf der Richtlinie wurde in einer dafür eingerichteten Arbeitsgruppe verfasst. Mitglieder der Arbeitsgruppe waren zwölf Personen aus dem BMUV, dem BfS, von zuständigen Behörden der Länder, aus dem Fachverband für Strahlenschutz und dem Normenausschuss Radiologie. Im Februar 2021 wurde der erste Entwurf in einem Fachgespräch mit etwa 80 interessierten Personen diskutiert. In den Sitzungen des Fachausschusses Strahlenschutz (FAS), der dem Austausch der Bundes- und Landesbehörden dient, im Frühjahr und Herbst 2021 wurde der Entwurf den Landesbehörden vorgestellt und von ihnen kommentiert. Nach Diskussion aller Kommentare in der Arbeitsgruppe steht der Entwurf der Richtlinie im Sommer 2022 kurz vor der Finalisierung und der Vorlage im FAS mit der Bitte um Zustimmung.

## **3. Bestimmung des Erfordernisses einer Inkorporationsüberwachung**

Gemäß § 65 Absatz 1 Satz 2 StrlSchV ist eine Inkorporationsüberwachung erforderlich, wenn die zuständige Behörde sie dem Strahlenschutzverantwortlichen vorschreibt. Gemäß § 64 Absatz 1 StrlSchV wird sie dafür einen Schwellenwert von 1 mSv der prospektiv abgeschätzten potenziellen effektiven Dosis aus äußerer und innerer Exposition anwenden, wenn ein signifikanter Beitrag dazu aus innerer Exposition stammt. Die neue RiPhyKo 2 konkretisiert diese Schwellen der effektiven Dosis aus gesamter sowie innerer Exposition, unterhalb derer keine regelmäßige oder aufgabenbezogene Inkorporationsüberwachung erforderlich ist bzw. deren Unterschreiten durch innerbetriebliche Schwellenwertmessungen nachzuweisen ist (Tabelle 1).

Tabelle 1: Festlegungen zur Bestimmung des Erfordernisses einer regelmäßigen oder aufgabenbezogenen Inkorporationsüberwachung in Abhängigkeit von der potenziellen effektiven Dosis aus äußerer und innerer Exposition zusammen sowie aus innerer Exposition alleine; Tabelle aus der RiPhyKo 2 gekürzt

Potenzielle Dosis im Kalenderjahr durch äußere und innere Exposition	Überwachungsziel	Potenzielle Dosis im Kalenderjahr durch innere Exposition (Inkorporation)	Art der Überwachung
< 0,5 mSv	keines		keine Überwachung
≥ 0,5 mSv und < 1 mSv	Nachweisführung, dass 1 mSv im Kalenderjahr unterschritten wird	< 0,5 mSv	keine Überwachung
		≥ 0,5 mSv	Schwellenwertmessungen
≥ 1 mSv	Ermittlung der Werte der Körperdosis	< 0,5 mSv	keine Überwachung
		≥ 0,5 mSv und < 1 mSv	Schwellenwertmessungen; bei Absenkung der Erfordernisschwelle regelmäßige oder aufgabenbezogene Überwachung
		≥ 1 mSv	regelmäßige oder aufgabenbezogene Überwachung

Für die Berechnung der potenziellen effektiven Folgedosis aus innerer Exposition auf Grundlage der über ein Kalenderjahr kumulativ gehandhabten Aktivität stehen mit der IAEA-Empfehlung RS-G-1.2 [1] und der Norm DIN EN ISO 16637 [2] zwei internationale Empfehlungen zur Verfügung. Beide stellen einen Rechenweg für die potenziell inkorporierbare Aktivität unter Anwendung eines Inkorporationsfaktors vor und berechnen den Inkorporationsfaktor aus drei Teilfaktoren, die die physikalischen Eigenschaften des gehandhabten radioaktiven Stoffs, die Art des Umgangs und die Nutzung von Schutzeinrichtungen berücksichtigen. Die internationale Norm führt jedoch einen weiteren Teilfaktor von  $10^{-4}$  ein, der den inkorporierbaren Anteil der gehandhabten Aktivität darstellen soll. Die neue RiPhyKo 2 übernimmt im Grundsatz den Rechenweg und die drei Teilfaktoren, die beiden internationalen Empfehlungen gemeinsam sind, und schafft einen Kompromiss zwischen dem Unterschied der beiden Empfehlungen von  $10^{-4}$ .

#### 4. Überwachungsverfahren und Überwachungsprogramme

Wird für eine beschäftigte Person das Erfordernis einer Inkorporationsüberwachung festgestellt, hat der Strahlenschutzverantwortliche bzw. -beauftragte dafür zu sorgen, dass die erforderlichen Messungen zur Ermittlung der Körperdosis erfolgen. Die neue RiPhyKo 2 ergänzt in Anlehnung an die internationale Empfehlung *Radiation Protection 188* [3] die Überwachungsverfahren und -programme zur personenbezogenen Inkorporationsüberwachung. Die neue RiPhyKo 2 gibt vor, dass die aufgabenbezogene Überwachung der regelmäßigen Überwachung sowohl bezüglich der Bestimmung des Erfordernisses als auch der

Dosisberechnung nach Referenzverfahren gleichgestellt wird, um auch Expositionssituationen bei einem nur seltenen Umgang abzudecken. Des Weiteren wurde in der neuen RiPhyKo 2 auch die Raumluftüberwachung in eine regelmäßige Überwachung und eine aufgabenbezogene Überwachung unterteilt und die Dosisberechnung dafür ausführlicher dargestellt.

Eine Übersicht zu den personenbezogenen Überwachungsverfahren mit den zugehörigen Überwachungsprogrammen und den Dosisberechnungsverfahren ist in Abbildung 1 dargestellt.

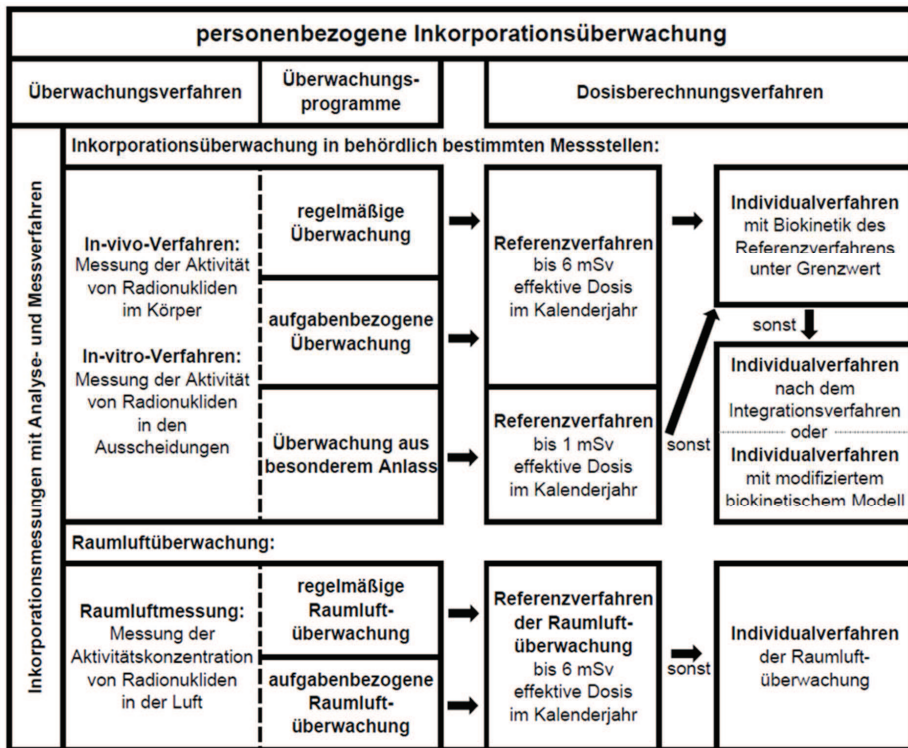


Abb. 1: Übersicht über die Überwachungsverfahren, -programme und Dosisberechnungsverfahren der personenbezogenen Inkorporationsüberwachung

## 5. Strahlenschutz gebärfähiger Personen und ungeborener Kinder

Das neue Strahlenschutzrecht führt den bereits früher bestehenden besonderen Grenzwert der Organ-Äquivalentdosis der Gebärmutter für gebärfähige Personen in Höhe von 2 mSv pro Monat fort. Dieser Grenzwert unterscheidet sich in drei Aspekten vom allgemeinen Grenzwert der effektiven Dosis für beruflich exponierte Personen in Höhe von 20 mSv im Kalenderjahr: dem Dosisbegriff, dem Zahlenwert und dem Zeitbezug. Deshalb stellt die Überwachung der Einhaltung dieses besonderen Grenzwerts besondere Anforderungen an die Bestimmung des Erfordernisses und an die Durchführung einer regelmäßigen Inkorporationsüberwachung. Insbesondere ist eine mindestens monatliche Messung erforderlich, wenn ein Erfordernis einer regelmäßigen Inkorporationsüberwachung aufgrund der Überwachung des besonderen

Grenzwerts besteht. Die neue RiPhyKo 2 legt fest, dass auch sonst für gebärfähige Personen stets neben der effektiven Dosis die Organ-Äquivalentdosis der Gebärmutter berechnet und dokumentiert wird.

Für den Strahlenschutz ungeborener Kinder stellt der vorgeschriebene Ausschluss einer inneren Exposition der schwangeren Person eine wirksame Maßnahme im Rahmen der regulären Arbeitstätigkeit der Person dar. Bei Vorkommnissen können jedoch auch schwangere Personen eine innere berufliche Exposition erhalten. Dafür legt die neue RiPhyKo 2 Maßnahmen fest. Insbesondere werden Dosiskoeffizienten für die effektive Dosis des ungeborenen Kindes tabelliert.

## **6. Inkorporationsüberwachung von Einsatzkräften**

Ein wesentlicher neuer Aspekt des neuen Strahlenschutzrechts ist der Strahlenschutz von Einsatzkräften in Notfallexpositionssituationen oder anderen Gefahrenlagen nach § 150 Absatz 2 StrlSchV. Die neue RiPhyKo 2 beschreibt Anforderungen an die Inkorporationsüberwachung von Einsatzkräften. Insbesondere soll zur Dosisberechnung als Standard eine Inhalation von Schwebstoffen mit einem AMAD von 1 µm statt wie bei sonstigen beruflichen Expositionen von 5 µm angenommen werden. Damit soll dem Umstand Rechnung getragen werden, dass die Exposition von Einsatzkräften regelmäßig eher mit einer Umweltposition als mit einer Exposition am Arbeitsplatz vergleichbar ist.

## **7. Verfahren zur Dosisberechnung**

In der bisherigen RiPhyKo 2 wird bei den Dosisberechnungsverfahren zwischen dem Referenzverfahren und verschiedenen Individualverfahren unterschieden. Kriterium für den Wechsel in ein Individualverfahren ist bislang die Überschreitung der Nachforschungsschwelle in Höhe einer effektiven Dosis von 6 mSv aus allen Dosisfeststellungen im Kalenderjahr.

Dieses Kriterium wurde für die regelmäßige und die aufgabenbezogene Überwachung in die neue RiPhyKo 2 übernommen. Die Summe der im laufenden Kalenderjahr festgestellten effektiven Dosen in Bezug auf die Einhaltung der Nachforschungsschwelle zu überwachen, wurde jetzt jedoch dem Strahlenschutzverantwortlichen auferlegt, weil unter Umständen nur er alle Dosisfeststellungen kennt. Die internationale Empfehlung *Radiation Protection 188* [3] stellt über die Nachforschungsschwelle hinaus weitere Kriterien für eine Dosisberechnung mit einem Individualverfahren auf, darunter bereits dann, wenn eine einzelne Dosisfeststellung eine zukünftige Überschreitung der Nachforschungsschwelle im weiteren Jahresverlauf erwarten lässt. Diese Kriterien wurden nicht in die neue RiPhyKo 2 übernommen, weil sie in Widerspruch zu § 65 Absatz 3 StrlSchV stehen. Bei einer Überwachung aus besonderem Anlass muss jetzt nicht sofort ein Individualverfahren gewählt werden, sondern das Referenzverfahren kann bis zu einer effektiven Dosis von 1 mSv angewendet werden.

Das bereits in vielen Inkorporationsmessstellen etablierte Verfahren, kleine Messwerte der Aktivität vor einer Dosisberechnung zunächst mit einem kritischen Wert zu vergleichen, wurde in der neuen RiPhyKo 2 institutionalisiert. Der kritische Wert ist derjenige Wert der Aktivität eines Radionuklids, der bei Dosisberechnung mit dem Referenzverfahren zu einer effektiven Dosis führt, die gerade noch zu null gesetzt wird.



Wenn bei aufeinanderfolgenden Messungen dasselbe Nuklid festgestellt wurde, war bei der zweiten Messung eine Berücksichtigung der aus der früheren Zufuhr verbliebenen Aktivität bislang nur in einem Individualverfahren erforderlich. In Angleichung an das bereits jetzt übliche Vorgehen in den Messstellen wurde diese Korrektur in das Referenzverfahren übernommen. Im Gegensatz zu anderen Unterschieden zwischen Referenz- und Individualverfahren kann diese Korrektur nämlich dafür sorgen, dass nicht nur ein anderer Wert der Dosis berechnet wird, sondern dass unter Umständen eine erneute Zufuhr zwischen den beiden Messungen erkannt oder gänzlich ausgeschlossen wird.

Die in der neuen RiPhyKo 2 tabellierten Dosiskoeffizienten, Retentionen und Ausscheidungs-raten sowie daraus abgeleitete Werte wie die geeigneten Überwachungsintervalle beruhen auf den Modellen, die von der ICRP in den letzten Jahren in der Reihe *Occupational Intakes of Radionuclides* veröffentlicht wurden.

## **8. Qualitätssicherung in behördlich bestimmten Messstellen und bei der Raumluftüberwachung**

Bislang sah die RiPhyKo 2 vor, dass sich behördlich bestimmte Inkorporationsmessstellen akkreditieren lassen müssen. Dieser Pflicht kamen jedoch erst 9 von 24 Messstellen nach (Stand Juni 2022). Um den auch zukünftig nicht akkreditierten Messstellen zu ermöglichen, ihren Messbetrieb fortzusetzen, und so das dichte Netz der Inkorporationsmessstellen zu erhalten, bietet die neue RiPhyKo 2 Alternativen: eine Begutachtung der organisatorischen und fachlichen Aspekte des Qualitätsmanagementsystems durch das Bundesamt für Strahlenschutz oder die Bestimmungsbehörde oder eine Zertifizierung der Messstelle zum Nachweis der organisatorischen Qualität mit zusätzlicher Begutachtung der fachlichen Aspekte des Qualitätsmanagementsystems. Die Inhalte der Begutachtung sind auf die Erfordernisse der Inkorporationsüberwachung zugeschnitten und in der neuen RiPhyKo 2 tabelliert.

Auch bei der Inkorporationsüberwachung mittels Raumluftüberwachung stellt die neue RiPhyKo 2 Anforderungen an die Überwachung der Qualität. Es handelt sich dabei um wiederkehrende Prüfungen, die der Betrieb durchzuführen hat. Damit soll dem Umstand Rechnung getragen werden, dass die Raumluftüberwachung ein gleichrangiges Verfahren der Inkorporationsüberwachung ist und ebenfalls zu zuverlässigen Dosisfeststellungen führen muss.

## **9. Danksagung**

Die Autor\*innen bedanken sich bei den Mitgliedern der eingerichteten Arbeitsgruppe zur Novellierung der RiPhyKo 2 für deren konstruktive Arbeit.

## **10. Literaturverzeichnis**

- [1] IAEA Safety Guide No. RS-G-1.2: Assessment of Occupational Exposure Due to Intakes of Radionuclides. Wien, 1999.
- [2] DIN EN ISO 16637:2020-07 Strahlenschutz – Überwachung und interne Dosimetrie für Beschäftigte, die durch medizinisch genutzte Radionuklide aus offenen Quellen exponiert wurden.

[3] Europäische Kommission: Radiation Protection No. 188. Technical Recommendations for Monitoring Individuals for Occupational Intakes of Radionuclides. Luxemburg: Publications Office of the European Union, 2018.

# ÜBERWACHUNGEN IN RADIOLOGISCHEN NOTFÄLLEN- EIN ANFORDERUNGSKATALOG ZUR INKORPORATIONSÜBERWACHUNG VON PERSONEN

## MONITORING IN RADIOLOGICAL EMERGENCIES – A CATALOG OF REQUIREMENTS FOR ICORPORATION MONITORING OF INDIVIDUALS

Martina Froning<sup>1</sup>, Stephan Ebert<sup>2</sup>, Daniel Gehre<sup>3</sup>, Sven Hartmann<sup>4</sup>, Andreas Holz<sup>1</sup>, Peter Hill<sup>1</sup>, Ulrich Kratzel<sup>5</sup>, Winfried Lieberz<sup>6</sup>, Daniela Löhnert<sup>2</sup>, Günter Lünendonk<sup>1</sup>, Oliver Meisenberg<sup>7</sup>, Joel Piechotka<sup>8</sup>, Clemens Scholl<sup>6</sup>, Heike Stuhlfauth-Vonderau<sup>9</sup>

<sup>1</sup>Forschungszentrum Jülich GmbH, Deutschland; <sup>2</sup>VKTA - Strahlenschutz, Analytik und Entsorgung Rossendorf e. V., Dresden; <sup>3</sup>Sächsisches Staatsministerium für Energie, Klimaschutz, Umwelt und Landwirtschaft, Dresden; <sup>4</sup>Bundesamt für Strahlenschutz, Berlin; <sup>5</sup>Bayerisches Landesamt für Umwelt, Kulmbach; <sup>6</sup>Landesinstitut für Arbeitsgestaltung NRW, Essen; <sup>7</sup>Bundesamt für Strahlenschutz, Oberschleißheim; <sup>8</sup>Bundeswehrzentral Krankenhaus, Koblenz; <sup>9</sup>Karlsruher Institut für Technologie, Karlsruhe

### **Zusammenfassung**

*Im Falle einer Notfallexpositionssituation bedarf es neben den Sofortmaßnahmen zur Eindämmung der Freisetzung auch Maßnahmen zur Analyse der möglicherweise inkorporierten Radionuklide bei Einsatzkräften und der direkt betroffenen Bevölkerung. Dieser Anforderungskatalog dient als Grundlage für die Ausarbeitung von Regelungen im Falle von Notfallexpositionssituationen und soll sich dabei insbesondere auf die Zuständigkeiten und Aufgaben, eine Abschätzung des Material- und Personalbedarfs sowie die messtechnischen Anforderungen beziehen.*

### **Summary**

*In the case of an emergency exposure situation, in addition to the immediate measures to stop the release, there is also a need for measures to analyze the potentially incorporated radionuclides among emergency personnel and the directly affected population. This catalog of requirements serves as a basis for the development of regulations in the event of emergency exposure situations and is intended to refer in particular to the responsibilities and tasks, an estimate of the material and personnel requirements, and the metrological requirements.*

**Schlüsselwörter** Inkorporationsüberwachung, Notfallschutz, Einsatzpersonal  
**Keywords** Incorporation Monitoring, Emergency Protection, Emergency staff

## **1. Einleitung**

Im Falle einer Notfallexpositionssituation bedarf es neben den Sofortmaßnahmen zur Eindämmung der Freisetzung auch Maßnahmen zur Analyse der möglicherweise inkorporierten Radionuklide bei Einsatzkräften und der direkt betroffenen Bevölkerung. Notfallexpositionssituationen können als Unfälle während geplanter Arbeiten eintreten oder aufgrund fahrlässiger oder vorsätzlicher Handlungen ausgelöst werden [1]. Kommt es zu einer Freisetzung von Radionukliden besteht das Risiko einer Inkorporation.

In Notfallexpositionssituationen müssen dabei zwei Gruppen betrachtet werden:

- Notfalleinsatzkräfte  
Die Durchführung der Messung bei Notfalleinsatzkräften ist analog zur Überwachung von beruflich exponierten Personen bei geplanten Expositionssituationen. Hier gilt jedoch für die nachzuweisende effektive Dosis ein Referenzwert von 1 mSv der effektiven Dosis [2].
- direkt betroffene Bevölkerung  
Abhängig von den betrachteten Szenarien sind einzelne Betroffene bis hin zu größeren Personenzahlen aus der Bevölkerung zu betrachten. Basierend auf den Empfehlungen der ICRP103[1], der Strahlenschutzkommission[3] und den Anforderungen nach § 93 Abs. 1 StrlSchG[4] ist für die nachzuweisende effektive Dosis der Bevölkerung bei Erwachsenen ein Referenzwert von 100 mSv und bei Kindern und Jugendlichen ein Referenzwert von 20 mSv entsprechend einem Entwurf des allgemeinen Notfallplan des Bundes (ANoPi-Bund) [5] nach einer Inkorporation anzuwenden.

Grundsätzlich kann man je nach Szenario[6] von einer weitgehend überschaubaren Anzahl von Betroffenen für eine erforderliche Inkorporationsmessung in Inkorporationsmessstellen ausgehen. Eine Inkorporation kann bei weitaus mehr Personen vorkommen, aber es wird nur bei einem kleinen Anteil eine Inkorporationsmessung erforderlich sein. Im Anforderungskatalog wurde je nach Fallbetrachtung eine mittlere Planungsgröße (Mindestanforderung) einer Personenzahl von 500 Personen für ein Ereignis angesetzt.

Um eine ausreichende Zahl von Inkorporationsmessungen durchführen zu können, ist eine hinreichend gleichmäßige, regionale Verteilung der Messstellen in Deutschland wichtig. Die räumliche Nähe und kurzen Wege zu den Betroffenen (Einsatzkräfte und Bevölkerung) gewährleisten eine intensive Beratung und Durchführungen von zeitnahen Inkorporationsmessungen. Ein Optimum an vorhandenen und vorgehaltenen Mess-, Analysen- und Auswertekapazitäten bei den In-vivo- und In-vitro-Messstellen muss bereitstehen [7][8]. Der vom Arbeitskreis entwickelte „Anforderungskatalog zu Inkorporationsüberwachung von Personen“ soll als Grundlage für die Ausarbeitung von Regelungen im Falle von Notfallexpositionssituationen dienen.

In den folgenden Kapiteln werden eine Auswahl der im Anforderungskatalog vorgestellten Empfehlungen kurz erläutert und beschreiben

- die Zuständigkeiten,
- Kontaktinformationen zu Ansprechpartnern,
- die Durchführung von Inkorporationsmessungen für ausgewählte Radionuklide mit Festlegung der Messverfahren,
- eine Abschätzung benötigter Ressourcen von Inkorporationsmessstellen (organisatorische, technische und personelle Ressourcen) für die Überwachung von
  - ✓ Einsatzkräften durch ihren Einsatz in einer Notfallexpositionssituation oder einer anderen Gefahrenlage sowie
  - ✓ der Bevölkerung.

## 2. Rechtliche Anforderungen

Eine nach § 169 Absatz 1 Nummer 2 StrlSchG [4] behördlich bestimmte Messstelle hat unter Verwendung der in ihrem Bestimmungsschreiben festgelegten Überwachungsverfahren die Aktivität der inkorporierten Radionuklide im Körper, Teilkörper oder in den Ausscheidungen zu ermitteln und die daraus abzuleitende effektive Dosis zu bestimmen.

Die Inkorporationsmessstellen wenden hierfür folgende Überwachungsverfahren [2] an:

- In-vivo-Verfahren: Bestimmung der Aktivität im Körper und in den Organen
- In-vitro Verfahren: Bestimmung der Aktivitätskonzentration in den Ausscheidungen.

Für die Überwachungen von Einsatzkräften, die durch ihren Einsatz in einer Notfallexpositionssituation oder einer anderen Gefahrenlage einer möglichen Inkorporation ausgesetzt waren, muss eine behördlich bestimmte Messstelle zusätzlich entsprechend § 169 Absatz 1 Nummer 3 StrlSchG [4] benannt werden.

## 3. Zuständigkeiten

### 3.1 Notfallpläne des Bundes

Für eine Notfallvorsorge gegen nukleare Unfälle und andere radiologische müssen Bund und Länder in Notfallplänen geplante angemessene Reaktionen auf mögliche Notfälle anhand von Referenzszenarien darstellen. Für die Notfallpläne des Bundes für den Katastrophenschutz, die allgemeine Gefahrenabwehr und Hilfeleistung sowie für die medizinische Behandlung und Vorsorge nach einer Exposition der Bevölkerung und der Einsatzkräfte ist das Bundesinnenministerium federführend zuständig. Grundlegende Angaben von Zuständigkeiten sollen daher im allgemeinen und besonderen Notfallplan des Bundes [5][9] geregelt werden. Diese liegen zurzeit als Entwurf vor.

Auf Landesebene liegt die Zuständigkeit für die Vorsorge und Bewältigung von regionalen und lokalen Notfällen bei dem betroffenen Bundesland und der nach Landesrecht zuständigen Behörde.

### 3.1 Inkorporationsmessstellen

Nach § 169 Abs. 1 Nr. 3 StrlSchG führen behördlich bestimmte Inkorporationsmessstellen, je nach behördlicher Bestimmung, die Überwachung auf Inkorporationen im Rahmen der physikalischen Strahlenschutzkontrolle für Einsatzkräfte im Notfallschutz durch.

Bei radiologischen Notfällen sollen die Messstellen zusätzlich auch den Katastrophenschutzbehörden zur Überwachung der tatsächlich oder potentiell betroffenen Bevölkerung zur Verfügung stehen bzw. die noch verfügbare Messkapazität sonstigen Dritten zur Verfügung stellen.

Die behördlich bestimmten Messstellen in Deutschland sind über die gesamte Bundesrepublik verteilt. Das Leistungsspektrum von Inkorporationsmessstellen, insbesondere von In-vitro Messstellen, ist sehr unterschiedlich. Aus Sicht der Messstellen wäre hier eine Einrichtung einer zentralen Verteilerstelle, die in einer Notfallexposition alle notwendigen Informationen schnell zur Verfügung hat, sinnvoll. Eine Verteilerstelle könnte für die Anwender radioaktiver Stoffe sowie für die Bevölkerung eine schnelle Erreichbarkeit, zum Beispiel im Falle einer radiologischen Notfallsituation gewährleisten sowie Information über das aktuelle Leistungsangebot vorhalten.

## 4. Erreichbarkeit und Messbereitschaft der Messstellen

Eine Messstelle ist während der normalen Arbeitszeiten in der Regel erreichbar. In einem Ereignisfall entscheidet zurzeit der Betreiber (z. B. ein Unternehmen, eine Einrichtung des Bundes oder eines Bundeslands sowie Forschungszentren) einer nach § 169 Abs. 1 Nr. 3 StrlSchG benannten Messstelle, ob die Erreichbarkeit für Beratung, Durchführung von Messungen sowie Probeannahme auch außerhalb von Regelarbeitszeiten möglich ist.

Die Messstelle benötigt ebenfalls eine gewisse Vorlaufzeit nach Eingang einer Ereignismeldung, um die Notfallmessungen vorzubereiten.

Zeitnah können nach Terminabsprache Ganz- und Teilkörpermessungen durchgeführt werden. Anders ist es bei Durchführung von Ausscheidungsmessungen. Eine direkte Probenahme in Form eines sogenannten Spontanurin ist kurzfristig möglich, aber je nach Probenvorbereitung und zu messenden Radionuklid und Messverfahren sollten bis zu 4 Werkzeuge eingeplant werden.

## 5. Überwachungsverfahren

### 5.1 In-Vivo-Messungen

#### 5.1.1 Mobile Messgeräte

Eine Dekorpositionstherapie ist kurz nach einer Zufuhr am wirksamsten. Deshalb ist es gegebenenfalls sinnvoll In-vivo-Inkorporationsmessungen bereits am Ort des Ereignisses durchzuführen. Für solche Messungen besitzen manche Inkorporationsmessstellen mobile Messgeräte für Ganz- und Teilkörpermessungen. Es handelt sich um tragbare Gammaskpektrometrie-Detektoren, die für Ganz- und Teilkörpergeometrien kalibriert sind. Die kalibrierte Geometrie muss reproduzierbar eingehalten werden, weshalb unter Umständen ein Stuhl und ein Tisch für die Aufstellung des Detektors mitgebracht werden.

Eine Verbreitung mobiler (tragbarer oder fahrzeuggestützter) Messgeräte für In-vivo-Inkorporationsmessungen ist wünschenswert. Bei entsprechender Schulung des Einsatzpersonals lassen sich auch Strahlungsmessgeräte der Feuerwehren und anderer Beteiligter für Erstmessungen verwenden.

#### 5.1.2 Ablauf einer In-Vivo Inkorporationsmessung im Notfall

Abbildung 1 zeigt den schematischen Ablauf einer In-Vivo Inkorporationsmessung, wie sie auch nach einer Notfallexpositionssituation durchzuführen ist. Gemäß der unterschiedlichen Aufgaben sind entsprechende Räumlichkeiten und Betreuungsaufwände zu veranschlagen, insbesondere wenn mit einer größeren Personengruppe an zu überwachenden Personen zu rechnen ist.

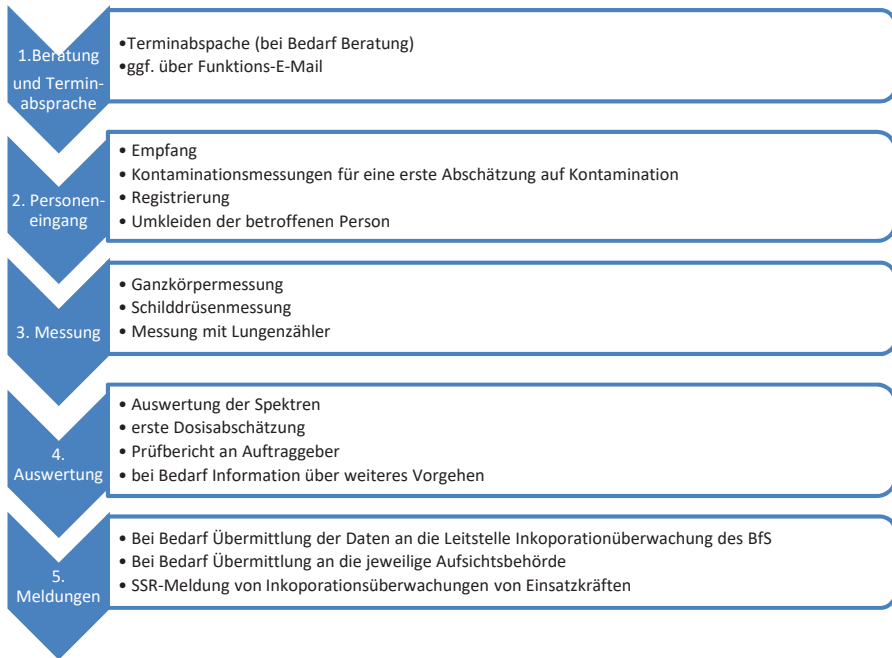


Abbildung 1: Schematische Ablauf einer In-vivo-Messung

### 5.1.3 Stationäre Ganzkörperzähler und Teilkörperzähler

Die typischen Gamma-Nuklide wie z. B. Cs-137, Co-60, Se-75, I-131 können mit den in den In-vivo-Messstellen vorhandenen Ganz- und Teilkörpermessanlagen hinreichend genau bestimmt werden. Die Durchführung der Messung erfolgt in Analogie zu dem Normalbetrieb bei Überwachungen beruflich exponierter Personen. Durch verkürzte Messzeiten kann eine ausreichende Zahl von Ganz- und Teilkörpermessungen durchgeführt werden.

Die für die Messungen eingesetzten Messgeräte sind für besonders große Aktivitäten nicht geeignet. Unter Umständen ist es deshalb erforderlich, Messungen mit geringerer Zählausbeute (zum Beispiel durch größeren Abstand zwischen Person und Messgerät) durchzuführen. Für manche Radionuklide sind bei großen Aktivitäten auch Messungen der Ortsdosisleistung in der Nähe der Person geeignet.

## 5.2 In-vitro-Messungen

### 5.2.1 Ablauf einer In-vitro-Messung

Die Vorlaufzeit für die Durchführung eine Ausscheidungsüberwachung muss beachtet werden. So müssen bei Bedarf auf Anfrage die Sammelgefäße, wenn vor Ort nicht verfügbar, zu den Betroffenen oder Auftraggeber verschickt werden. Abbildung 2 zeigt den schematischen Ablauf einer In-Vitro Inkorporationsmessung, wie sie auch nach einer Notfallexpositionssituation durchzuführen ist.

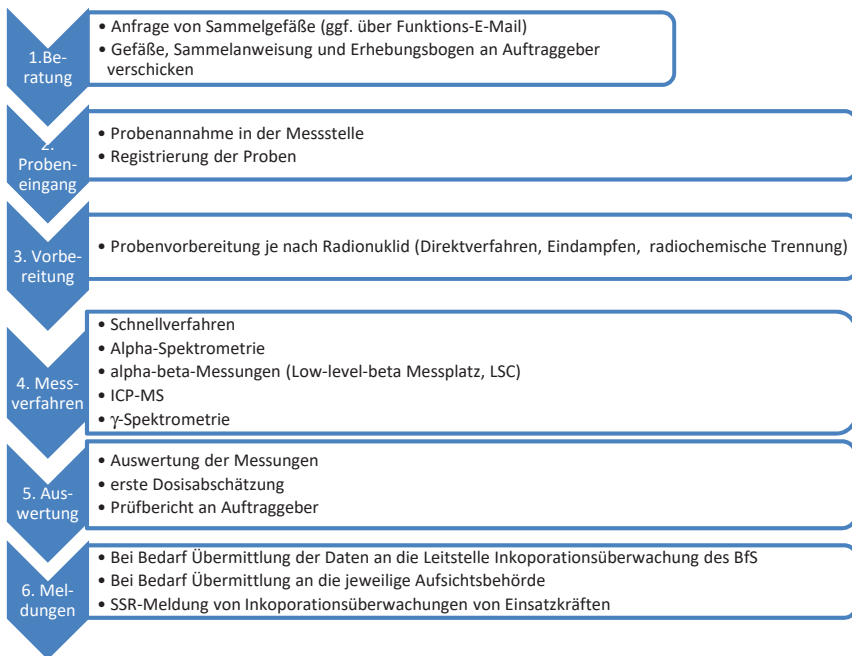


Abbildung 2: Schematischer Ablauf einer In-vitro-Messung

### 5.2.2 Probensammlung und Versand

Für In-vitro-Messungen muss der Betroffene bei einer Messstelle nicht persönlich erscheinen. Die Inkorporationsmessstellen stellen auf Anfrage Betroffenen oder den Auftraggebern dafür Sammelgefäße, Sammelanweisung und bei Bedarf Umverpackungen zur Verfügung. Urinproben müssen als biologische Stoffe der Kat. B versendet werden. Hier sind im Anforderungskatalog die notwendigen Informationen in Form von Sammel- und Versandanweisungen hinterlegt.



### 5.2.3 In-vitro Messverfahren

Inkorporation von reinen Alpha- und Betastrahlern kann anhand der Untersuchung von Urinproben nachgewiesen werden. Dabei kommen folgende Messverfahren zum Einsatz:

- *Alpha-Spektrometrie*

Ein typisches Messverfahren für die Bestimmung von Alpha-Nukliden wie Am-241, Pu-, U- und Th-Isotope in Ausscheidungsproben ist die Alpha-Spektrometrie mit praktischen Nachweisgrenzen von 1 mBq/d. Um die gesuchte Radionuklidaktivität bestimmen zu können, bedarf es einer spezifischen radiochemischen Trennung des gesuchten Radionuklids aus dem Urin mit einer anschließenden Präparation eines Messpräparates durch eine Elektrodeposition.

- *Massenspektrometer mit induktiv gekoppeltem Plasma (ICP-MS)*

Mittels ICP-MS ist die Bestimmung einer Vielzahl von Elementen im Massenbereich  $m/z$  7 bis  $m/z$  252 in relativ kurzer Zeit und guter Nachweisempfindlichkeit möglich. Das Messverfahren ICP-MS wird in der Ausscheidungsüberwachung hauptsächlich für Radionuklide mit physikalischen Halbwertszeiten  $>500$  Jahre für die Bestimmung von Uran (U-234, 235, 238), Thorium (Th-232), Ra-226 und Np-237 eingesetzt. Für die Analyse werden nur geringe Volumina, je nach Radionuklid und Probenvorbereitung von 1 ml bis 100 ml, benötigt.

Ein weitere Vorteil eines ICP-MS ist, das die Möglichkeit besteht wässrige Proben direkt ohne Probenvorbehandlung einzusetzen. Das ICP-MS-Verfahren bietet hier den Vorteil einer schnellen Analytik von ausgesuchten Radionukliden wie U-234, U-235, U-238, Th-232, Ra-226 und Np-237. Ein höhere Probendurchsatz ist durch Verwendung von Autosamplern möglich. Die geforderten Nachweisgrenzen müssen beachtet werden.

- *Flüssigszintillationsmessung (LSC)*

Bei reinen niederenergetischen betastrahlenden Radionukliden z. B. P-32, S-35 in Ausscheidungsproben erfolgt die Ermittlung der Aktivität mittels Flüssigszintillationsmessung (LSC). Für die Analyse wird ein Aliquot der Urinprobe entweder direkt mit dem entsprechenden Szintillator (LSC-Cocktail) vermischt und gemessen oder vorher durch Destillation von Verunreinigungen getrennt und dann im LSC-Cocktail gemessen. Für die Analysen werden nur geringe Volumina an Urin benötigt.

- *Proportionalzähler-Spektroskopie*

Das Messverfahren Low-level- $\beta$ -Counter wird hauptsächlich für die Bestimmung von Sr-90, Sr-89, Y-90 in flüssigen und festen Proben eingesetzt.

## 6. Zusammenfassung

Bereits seit 2009 hat sich der Arbeitskreis regelmäßig mit Zielen für den radiologischen Notfallschutz bei Inkorporationsüberwachung und Anforderungen an Messstellen befasst.

Durch Änderungen der gesetzlichen Regelwerke (StrlSchG und StrlSchV) haben sich neue zu berücksichtigende Aspekte ergeben.

Eine nach § 169 Absatz 1 Nummer 2 StrlSchG [4] behördlich bestimmte Messstelle hat unter Verwendung der in ihrem Bestimmungsschreiben festgelegten Überwachungsverfahren die Aktivität der inkorporierten Radionuklide im Körper, Teilkörper oder in den Ausscheidungen zu ermitteln und die daraus abzuleitende effektive Dosis zu bestimmen.

Für die Überwachungen von Einsatzkräften, die durch ihren Einsatz in einer Notfallexpositionssituation oder einer anderen Gefahrenlage einer möglichen Inkorporation

ausgesetzt waren, muss eine behördlich bestimmte Messstelle zusätzlich entsprechend § 169 Absatz 1 Nummer 3 StrlSchG [4] benannt werden.

Mit dem vorliegenden Anforderungskatalog wurde eine Grundlage für die Ausarbeitung von Regelungen zu Inkorporationsüberwachungen von Personen bei radiologischen Notfällen geschaffen.

Empfehlungen werden erläutert und vorgestellt wie

- Zuständigkeiten,
- Kontaktinformationen,
- Anforderungen an Messstellen wie Erreichbarkeit, Messbereitschaft und eingesetzte Überwachungsverfahren,
- Übersicht über relevanten Radionukliden und deren Überwachungsverfahren sowie
- Abschätzung des Material- und Personalbedarfs.

Mit dem vorliegenden Anforderungskatalog wurde eine Grundlage für die Ausarbeitung von Regelungen zu Inkorporationsüberwachungen von Personen bei radiologischen Notfällen.

Der Arbeitskreis wird sich weiterhin mit dem Themenschwerpunkt der Planung und Durchführung von Inkorporationsüberwachungen bei Notfallexpositionssituationen befassen. Bei Bedarf soll der Anforderungskatalog überarbeitet werden, sodass dieser stets den aktuellen Stand aufzeigt.

## 6. Literaturverzeichnis

- [1] ICRP 103. 2007. Die Empfehlung der internationalen Strahlenschutzkommission (ICRP). Deutsche Ausgabe : BfS urn:nbn:de:20090821554, März 2007
- [2] RiPhyko 2. Richtlinie für die physikalische Strahlenschutzkontrolle zur Ermittlung der Körperdosis Teil 2, 2007.
- [3] SSK 2017. Erforderliche medizinische Kapazitäten für die radiologische Versorgung und Betreuung der Bevölkerung im radiologischen und nuklearen Notfall. 2017
- [4] StrSchG. Gesetz zur Neuordnung des Rechts zum Schutz vor der schädlichen Wirkung ionisierender Strahlung. Bundesgesetzblatt Jahrgang 2017 Teil 1, Nr. 42, 2017
- [5] Entwurf Allgemeine Verwaltungsvorschrift zum Allgemeinen Notfallplan des Bundes nach § 98 Abs. 2 Nr.1 StrlSchG
- [6] SSK. „Erforderliche medizinische Kapazitäten für die radiologische Versorgung und Betreuung der Bevölkerung im radiologischen und nuklearen Notfall.“ 2017
- [7] AKI. Quo vadis? Inkorporationsüberwachung in Deutschland. 2015
- [8] Das gemeinsame Messstellenkonzept von Arbeitskreis Inkorporationsüberwachung des FS und Leitstelle Inkorporationsüberwachung des BfS. 2008
- [9] Entwurf Allgemeine Verwaltungsvorschrift zu Besondere Notfallpläne des Bundes nach § 99 Abs. 2 Nr. 1. Entwurf.



**AKMED**  
**Medizinische Aspekte des Strahlenschutzes**



## NEUE ENTWICKLUNGEN UND HERAUSFORDERUNGEN IM MEDIZINISCHEN RADIOLOGISCHEN NOTFALLSCHUTZ

Matthias Port<sup>1</sup>, Christain Reiners<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Institut für Radiobiologie in Verbindung mit der Universität Ulm, München, Deutschland

<sup>2</sup>Klinik und Poliklinik für Nuklearmedizin, Universitätsklinik Würzburg, Deutschland

### **Zusammenfassung**

*Mit Beginn des Krieges in der Ukraine hat sich die Sicherheitswahrnehmung auch der Zivilbevölkerung bezüglich radiologischer und nuklearer Gefahren deutlich verändert. Verstärkt durch Drohungen von russischer Seite, auch Nuklearwaffen einzusetzen oder die Kriegsaktivitäten rund um Kernkraftwerke in der Ukraine wurden unter anderem Jodtabletten stark nachgefragt.*

*Der radiologische Notfallschutz ist ein durchgehendes Thema in den nationalen und internationalen Gremien und Vereinigungen. So hat die Strahlenschutzkommission (SSK) mit vielen Mitgliedern des Fachverbandes Strahlenschutz intensiv an dem Handbuch „Strahlennotfallmedizin – ein Handbuch für die medizinische Versorgung und Ausbildung“ gearbeitet, welches den fachlichen Hintergrund für den „Strahlennotfallarzt“ liefern soll. Auch Grundlagen für das medizinische Notfallmanagement werden intensiv weiterentwickelt. Als unmittelbare Reaktion auf die Bedürfnisse der Bevölkerung wurde eine Arbeitsgruppe der SSK „Schutzstrategien bei Nuklearwaffeneinsatz“ eingesetzt. Diese Gruppe hat in kürzester Zeit eine wissenschaftlich fundierte Stellungnahme zur fehlenden Rationalen für Jodtabletten bei Kernwaffen erstellt und setzt nun die umfangreiche Beratungstätigkeit hinsichtlich alternativer Schutzmaßnahmen fort.*

*Aktuelle Aktivitäten zur Vernetzung finden sich im Bereich der medizinischen Diagnostik, so wurde durch den Verein RENEB (Running the European Network of Biodosimetry and Retrospective Physical Dosimetry) unter Organisation des Institutes für Radiobiologie der Bundeswehr die 2021 die weltweit größte Übung zur Biodosimetrie und retrospektiven physikalischen Dosimetrie durchgeführt.*

*Interessant und hoffnungsvoll sind die nationalen und internationalen Aktivitäten zum Stockpiling von medizinischen Notfallmedikamenten und -material – dies gilt es in den kommenden Jahren intensiv fachlich und wissenschaftlich zu begleiten und zu beobachten.*

### **Summary**

*Starting with the war in the Ukraine the security perception within the civilian society regarding radiological and nuclear threats has increased. Due to Russian threats to deploy Nuclear Weapons or the war activities in close proximity to Nuclear Power Plants, still under full operation, created a strong demand for Potassium Iodine prophylactic medication.*

*Radiation preparedness is a continuous topic within national and international bodies and associations. The Strahlenschutzkommission (SSK) pushed forward intensively the development of a manual called “Strahlennotfallmedizin”. This manual deals with medical care and training for radiological and nuclear accidents or incidents and is meant as an educational basis for radiation emergency doctors (Strahlennotfallarzt). Furthermore, basic knowledge is revisited and legal foundations for radiation preparedness are currently under revision in Germany. Consecutive to the demands of the general public a SSK consulting group “Protection Strategies for Nuclear Weapons Deployment” was initiated. Within very short time a scientific*

*recommendation was developed by this group which deals with the missing rationale for applying Potassium Iodine in Nuclear Weapon scenarios. The group is continuing with their scientific evaluation of different strategies for radiation preparedness and protection.*

*RENEB (Running the European Network of Biodosimetry and Retrospective Physical Dosimetry) performed the biggest international exercise for biodosimetry and retrospective physical dosimetry organized by the Bundeswehr Institute of Radiobiology of the German Armed Forces in 2021.*

*Interesting and optimistic appear the national and international activities for stockpiling of medical emergency medications and material – nevertheless these activities need intense technical and scientific support and last but not least careful surveillance within the upcoming years.*

**Schlüsselwörter** Radiologischer Notfallschutz, SSK, RENEB, Nuklearwaffen

**Keywords** Radiation preparedness, SSK, RENEB, Nuclear Weapons

## 1. Einleitung

Seit Beginn des völkerrechtswidrigen Angriffskrieges von Russland in der Ukraine hat sich die Sicherheitswahrnehmung in Deutschland stark verändert. Bereits die zurückliegenden Großschadensereignisse, wie die Flutkatastrophe an der Ahr, aber auch die Corona-Pandemie, haben aufgezeigt, dass die Krisenvorsorge in Deutschland zwingend ernster betrieben werden muss. Selbst für wiederkehrende Ereignisse wie Fluten und Infektionswellen wurden die vorhandenen Pläne nicht umgesetzt und die mögliche Vorbereitung wurde von der Bevölkerung alles andere als angemessen eingestuft. Die Kriegsereignisse in der Ukraine bedrohen uns faktisch bereits jetzt, da es wiederholt zu Kampfhandlungen in der Nähe von ukrainischen Atomkraftwerken gekommen ist. Die Wahrscheinlichkeit einer gesundheitlichen Gefährdung der deutschen Bevölkerung auch im Falle eines Schadens an den ukrainischen Reaktorblöcken ist zwar gering, dennoch wären auch hier bei entsprechender Freisetzung und gewissen Windkonstellationen insbesondere Maßnahmen die, die Landwirtschaft betreffen möglich. Gravierender sieht die Situation aber bereits jetzt für näher an den ukrainischen Grenzen liegende Staaten aus. Zu beachten ist, dass sich dort auch deutsche Bundesbürger, wie Botschaftspersonal, Einsatzpersonal, Mitglieder von Hilfsorganisationen und viele andere, aufhalten, die einen Anspruch auf den gleichen Schutz wie in Deutschland haben.

Eine weitere Bedrohung liegt in einer Ausweitung der Kriegshandlungen durch Russland. Medienstark wird ein Nuklearschlag auch gegen europäische Ziele - darunter Berlin, Paris oder London – angedroht. Russische Nuklearstreitkräfte werden in erhöhte Bereitschaftsstufen gebracht oder es wurde angekündigt, Trägersysteme für Nuklearwaffen in Weißrussland zu stationieren. In Frankreich wird zudem der konventionelle Angriff auf ein Atomkraftwerk auf französischem Boden intensiv diskutiert (persönliche Kommunikation mit französischen Wissenschaftlern).

Die durch den Krieg in der Bevölkerung geschürten Ängste zusammen mit einer von der Öffentlichkeit gefühlt völlig unzureichenden Notfallvorsorge fallen in den sozialen Medien auf äußerst fruchtbaren Boden. Dies wird möglicherweise noch zusätzlich durch Interessengruppen geschürt. Einen starken Aufwind verzeichnet die „Prepper“-Szene. Diese diskutiert fachlich häufig sehr unreflektiert Vorsorgemaßnahmen, die dann wieder von einem Teil der Bevölkerung umgesetzt werden. Der Schaden, den „Hamsterkäufe“ anrichten, ist unbestritten.

Richtig schwierig wird es, wenn medizinische Notfallmaßnahmen durch Bürger in Eigenregie und nicht fachgerecht ergriffen werden. Als Beispiele sind Massenkäufe von Jodtabletten oder sogar Eigenbeschaffungen von Dekorationsmedikamenten zu nennen.

Verantwortlich in Deutschland für die Erstellung bzw. Koordinierung innerhalb der Bundesregierung von Plänen für den radiologischen Notfallschutz ist das Bundesministerium für Umwelt und Verbraucherschutz (BMUV) in Abstimmung mit den zuständigen Ministerien des Bundes und der Bundesländer. Das BMUV lässt sich durch die Strahlenschutzkommission (SSK) beraten. Dieser Artikel kann nicht vollumfänglich alle Aktivitäten zum Thema in Deutschland darstellen, sondern fokussiert auf Beratungsleistungen der SSK, Anstrengungen zur Verbesserung der Diagnostik durch den Europäischen Verein für Biologische und Retrospektive Physikalische Dosimetrie (RENEB), sowie einem kurzen Abriss zur Frage von Stockpiling.

## **2. Aktivitäten der SSK**

Radiologischer und nuklearer Notfallschutz sind seit vielen Jahren wichtige Themen für die SSK. Innerhalb der SSK gibt es den Ausschuss Notfallschutz sowie den SSK-Krisenstab, die bei einem Großschadensereignis auch operationell das BMUV unterstützen sollen. Die Güte der Vorbereitung auf Notfallsituationen wird innerhalb der SSK differenziert diskutiert. Auf die in Teilen hervorragenden technischen Vorkehrungen für Schutzmaßnahmen für die Bevölkerung soll hier nicht eingegangen werden, sondern nur auf den zu optimierenden medizinischen Notfallschutz.

### **2.1. Empfehlung zum Kompetenzerhalt**

In der Empfehlung „Langfristige Sicherung der Kompetenz auf dem Gebiet der Strahlenforschung und -anwendung in Deutschland – Wichtigste wissenschaftliche Disziplinen und Hauptakteure in der Forschung“ [1] zeigt die SSK im Jahr 2018 einige Handlungsfelder auf, die dringend bearbeitet werden müssen, um die grundlegende Kompetenz für evidenzbasierten medizinischen radio-nuklearen Notfallschutz langfristig für Deutschland zu sichern. Auf dem Hintergrund des anhaltenden Abbaus der Forschung zu diesen Themenfeldern (inklusive der Aufgabe von Forschungsinstituten und Lehrstühlen) wird ein Gegensteuern als absolut unverzichtbar angesehen, was auch eine angemessene finanzielle Förderung von Forschung im medizinischen Notfallschutz einschließt.

### **2.2. Medizinische Kapazitäten für die Versorgung und Betreuung**

In 2018 wurde ein Dokument „Erforderliche medizinische Kapazitäten für die Versorgung und Betreuung der Bevölkerung im radiologischen und nuklearen Notfall. Empfehlung der Strahlenschutzkommission“ [2] verabschiedet. Die SSK empfahl die Erstellung eines abgestuften, integrierten Vorsorge- und Versorgungskonzepts, welches in Abhängigkeit von den Szenarien und den damit verbundenen erforderlichen Kapazitäten sowohl die Beratung und Versorgung von Einzelnen, die Vorsorge für die Betreuung vulnerabler Gruppen (z. B. Schwerkranken) als auch den Massenansturm von exponierten oder besorgten Personen abdeckt. Dazu gehören auch ein Konzept zur individuellen psychosozialen und ggf. psychiatrischen Betreuung und die Entwicklung einer angemessenen Informations- und Kommunikationsstrategie. Große Bedeutung maß die SSK der Einrichtung einer zentralen Koordinierungsstelle bei, die betroffene Personen geeigneten medizinischen Einrichtungen



länderübergreifend zuweist sowie der aktuellen Bestandsaufnahme der klinischen Behandlungskapazitäten und -kompetenzen. Die Umsetzung dieser Empfehlungen kann aber erst effektiv im Rahmen der besonderen Notfallplanung erfolgen. Die Beratungen und Ausgestaltung über nach dem Strahlenschutzgesetz von 2017 zu erstellende allgemeine und besondere Notfallpläne des Bundes und der Länder werden derzeit durchgeführt.

### 2.3. Ausbildungsqualifikation

Bereits im Jahr 2017 veröffentlichte die SSK eine ergänzende Empfehlung mit dem Fokus auf der Ausbildungsqualifikation: „Erforderliche medizinische Kapazitäten für die Versorgung und Betreuung der Bevölkerung im radiologischen und nuklearen Notfall – Ausbildungsqualifikation“ [3]. Die Empfehlung basiert auf der Bildung von Teams mit sich ergänzenden Qualifikationen für die Durchführung der Notfallbehandlung inklusive der psychosozialen Betreuung. Die SSK empfiehlt eine modular aufgebaute Ausbildung zur Schaffung einer gemeinsamen Wissensbasis und die Schaffung einer Fachkunde im Strahlenschutz „Strahlennotfallmanagement“ und für Ärzte die Fachkunde „Strahlennotfallarzt“. Konzepte zur Umsetzung der Ausbildung für den „Strahlennotfallarzt“ befinden sich in Vorbereitung – eine Umsetzung ist offen.

### 2.4. Aktuelle Aktivitäten

Sehr zeitaufwändig gestaltete sich die Erstellung eines Handbuchs für die Versorgung und Ausbildung mit dem Titel „Strahlennotfallmedizin“. Es geht dabei um die Überarbeitung der Bände 4 und 32 der Veröffentlichungen der SSK. Die Arbeiten dazu wurden 2018 aufgenommen; mit der Verabschiedung dieses völlig neu konzipierten Handbuchs durch die SSK ist noch in 2022 zu rechnen.

Derzeit arbeiten Arbeitsgruppen der SSK an mehreren Themen zum radiologischen und nuklearen Notfallschutz. Ergänzend zu den o.a. erwähnten Empfehlungen arbeitet eine Arbeitsgruppe an der Festlegung von Mindestanforderungen für Kliniken hinsichtlich der strukturellen, personellen und apparativen Kapazitäten im Sinne eines verbindlichen Anforderungsprofils sowie an der Erstellung der Inhalte für ein Curriculum für die geplante Fachkunde „Strahlennotfallmanagement“. Die zu erstellende Empfehlung soll in die besonderen Notfallpläne des Bundes einfließen.

Eine neue, auf die politischen Entwicklungen rund um den Krieg in der Ukraine reagierende Arbeitsgruppe bearbeitet seit Anfang 2022 das Themengebiet „Schutzstrategien bei Nuklearwaffeneinsatz“. Als erstes Beratungsergebnis wurde zur Frage Jodtabletten bei Nuklearwaffeneinsatz Stellung genommen. Hier kann berichtet werden, dass diese wegen der relativ geringen Freisetzungen von radioaktivem Jod bei Nuklearwaffenexplosionen in der Regel keine effektive Schutzwirkung entfalten können. Detailliertere Aufarbeitung der wissenschaftlichen Evidenz auch für besondere Konstellationen stehen aber noch aus.

## 3. Aktivitäten von RENEB

Der europäische Verein für Biodosimetrie und retrospektive physikalische Dosimetrie stellt im europäischen Raum den zentralen Ansprechpartner für den Einsatz dieser Spezialdiagnostik bei radiologischen und nuklearen Großschadensereignissen. RENEB bietet insgesamt nicht nur

Dosimetrieleistungen an, sondern kann mit seinen Partnern auch einen Beitrag zur medizinischen Beratung abbilden.

Insgesamt sind im Netzwerk derzeit 8 Verfahren etabliert

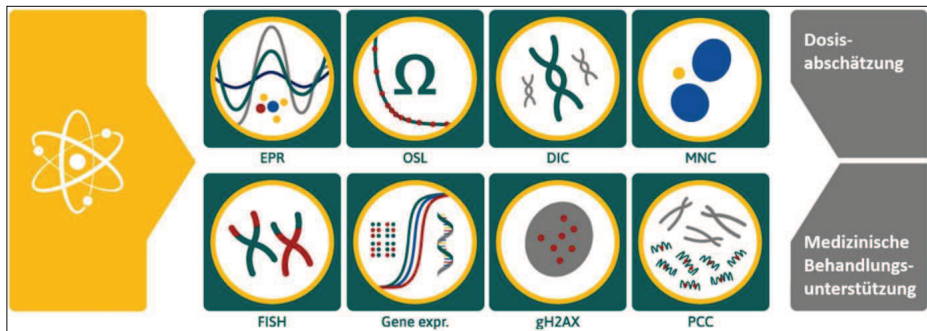


Abb. 1: Verfahren der biologischen und retrospektiven physikalischen Dosimetrie die im europäischen Netzwerk RENEb zur Verfügung stehen ([www.reneb.net](http://www.reneb.net)): Dizentrische Chromosomen (DIC), Mikrokerne (MNC), Fluoreszenz in situ Hybridisierung (FISH), premature Chromosomen Kondensation (PCC), Genexpressionsmessung (Gene expr.), gamma-H2AX focus assay (g-H2AX), para-magnetische Elektronenresonanz Dosimetrie (EPR) und Lumineszenzdosimetrie (OSL).

RENEb führt regelmäßig Übungen durch. Diese werden publiziert und die Ergebnisse stehen der wissenschaftlichen Fachwelt offen zur Verfügung [4-6]. 2021 wurde ein internationaler Laborvergleich in RENEb durchgeführt. Insgesamt nahmen 86 Laborteams aus 46 Institutionen und 27 Ländern teil. Vorläufige Ergebnisse der Übung bestätigen die Notwendigkeit von solchen Vergleichen. Insgesamt konnte das Gesamtergebnis des Laborvergleichs überzeugen, allerdings war weiterer Optimierungsbedarf zu erkennen. Identifizierte Probleme betreffen den sicheren Probenversand mit Dienstleistern, die korrekte Messung und Interpretation, insbesondere bei neuen und unerfahrenen Laboren/ Labormitarbeitern, die Kommunikation bezüglich der zu berichtenden Ergebnisse und Herausforderungen abhängig von den genutzten Strahlenquellen. Detailliertere Ergebnisse werden mit den finalen Auswertungen erwartet. Unter anderem wird ein Übersichtsartikel mit dem Titel „RENEb worldwide biological and physical dosimetry study. Laboratory inter-comparison of eight dosimetry assays.“ vorbereitet [7].

#### 4. Stockpiling von Medikamenten/ Material für radiologische und nukleare Notfallsituationen

In Deutschland wurden für die Bevölkerung mit der Vorhaltung von mobilen Notfallstationen und dem stockpiling (vorbereitenden Lagerung) von großen Mengen an Kaliumjodidtabletten Vorkehrungen in Hinblick auf Großschadensfälle in Kernkraftwerken getroffen. Mit den durchgeführten und geplanten Stilllegungen von Kernkraftwerken werden diese spezifischen Maßnahmen (Notfallstationen) nicht mehr für den ursprünglichen Zweck benötigt.

In Hinblick auf andere Szenarien radiologischer oder nuklearer Notfälle bestehen teils große Defizite. Eine gewisse Ausnahme stellen Unfälle beim beruflichen Umgang mit Strahlung oder Radioaktivität dar; für die Versorgung beruflich exponierter Personen ist das Netzwerk der Regionalen Strahlenschutzzentren der Berufsgenossenschaften vorgesehen. Allerdings schrumpft die Zahl der beteiligten Strahlenschutzzentren im Lauf der Jahre.

Ansonsten ist weder eine angemessene flächendeckende Versorgung für kleinere Strahlenunfälle gewährleistet noch existieren ausreichende Vorbereitungen für terroristische oder militärische Großschadensereignisse. Die Defizite in Ausbildung, materieller und institutioneller Hinsicht sind erkannt und müssen zügig in Angriff genommen werden.

Ein angemessener Bestand für mögliche medikamentöse Interventionen steht lediglich mit den erwähnten Kaliumjodidtabletten zur Verfügung. Derzeit existieren verschiedene Initiativen auf nationaler und internationaler Ebene, die Resilienz gegenüber terroristischen oder militärischen Strahlennotfällen zu verbessern durch Auswahl, Beschaffung und Stockpiling von Medikamenten zur Dekorporation inkorporierter Radionuklide oder zur Behandlung des akuten Strahlensyndroms. So hat die EU über eine halbe Milliarde Euro für die Beschaffung von Medikamenten und Material im Bereich CBRN bereitgestellt. Leider hat sich nach Kenntnis der Autoren keine Gruppe aus Deutschland gefunden, der es möglich war an der EU Ausschreibung teilzunehmen. Derzeit arbeiten Experten aus dem nachgeordneten Bereich der Ministerien BMUV, BMI und BMVg an der Etablierung einer Erstbefähigung. Diese Initiativen gilt es in den kommenden Jahren zu begleiten und zu beobachten.

## 5. Literaturverzeichnis

- [1] Strahlenschutzkommission (SSK). Langfristige Sicherung der Kompetenz auf dem Gebiet der Strahlenforschung und -anwendung in Deutschland – Wichtigste wissenschaftliche Disziplinen und Hauptakteure in der Forschung. Empfehlung der Strahlenschutzkommission, verabschiedet in der 312. Sitzung der SSK am 9. Juni 2021. [https://www.ssk.de/SharedDocs/Beratungsergebnisse\\_PDF/2021/2021-06-09\\_Kompetenzerhalt.html;jsessionid=5CE738428722348E04C15161F6669D88.2\\_cid339?nn=2041716](https://www.ssk.de/SharedDocs/Beratungsergebnisse_PDF/2021/2021-06-09_Kompetenzerhalt.html;jsessionid=5CE738428722348E04C15161F6669D88.2_cid339?nn=2041716). Bekanntmachung im BAnz AT 05.05.2022 B5
- [2] Strahlenschutzkommission (SSK). Erforderliche medizinische Kapazitäten für die Versorgung und Betreuung der Bevölkerung im radiologischen und nuklearen Notfall. Empfehlung der Strahlenschutzkommission, verabschiedet in der 287. Sitzung der SSK am 23./24.3.2017. [nbn-resolving.org/html/urn:nbn:de:101:1-201804238529](http://nbn-resolving.org/html/urn:nbn:de:101:1-201804238529). Bekanntmachung im BAnz AT 10.4.2018 B4
- [3] Strahlenschutzkommission (SSK). Erforderliche medizinische Kapazitäten für die Versorgung und Betreuung der Bevölkerung im radiologischen und nuklearen Notfall – Ausbildungsqualifikation. Empfehlung der Strahlenschutzkommission, verabschiedet in der 289. Sitzung der SSK am 25./26.09.2017. [nbn-resolving.org/html/urn:nbn:de:101:1-2018071613312276553270](http://nbn-resolving.org/html/urn:nbn:de:101:1-2018071613312276553270). Bekanntmachung im BAnz AT 27.06.2018 B2
- [4] Gregoire E., Barquinero J.F., Gruel G., Benadjaoud M., Martinez J.S., Beinke C., Balajee A., Beukes P., Blakely W.F., Dominguez I., Duy P.N., Gil O.M., Güçlü I., Guogyte K., Hadjidekova S.P., Hadjidekova V., Hande P., Jang S., Lumniczky K., Meschini R., Milic M., Montoro A., Moquet J., Moreno M., Norton F.N., Oestreicher U., Pajic J., Sabatier L., Sommer S., Testa A., Terzoudi G., Valente M., Venkatachalam P., Vral A., Wilkins R.C., Wojcik A., Zafiroopoulos D., Kulka U.: RENEB Inter-Laboratory comparison 2017: limits and pitfalls of ILCs.. *Int J Radiat Biol.* 2021;97(7):888-905. doi: 10.1080/09553002.2021.1928782.
- [5] Endesfelder D., Oestreicher U., Kulka U., Ainsbury E.A., Moquet J., Barnard S., Gregoire E., Martinez J.S., Trompier F., Ristic Y., Woda C., Waldner L., Beinke C., Vral A., Barquinero J.F., Hernandez A., Sommer S., Lumniczky K., Hargitai R., Montoro A., Milic M., Monteiro Gil O., Valente M., Bobyk L., Sevriukova O., Sabatier L., Prieto M.J., Moreno Domene M., Testa A., Patrono C., Terzoudi G., Triantopoulou S., Histova R., Wojcik A.: RENEB/EURADOS field exercise 2019: robust dose estimation under outdoor

conditions based on the dicentric chromosome assay. *Int J Radiat Biol.* 2021;97(9):1181-1198. doi: 10.1080/09553002.2021.1941380.

- [6] Abend M., Amundson S.A., Badie C., Brzoska K., Hargitai R., Kriehuber R., Schüle S., Kis E., Ghandhi S.A., Lumniczky K., Morton S.R., O'Brien G., Oskamp D., Ostheim P., Siebenwirth C., Shuryak I., Szatmári T., Unverricht-Yeboah M., Ainsbury E., Bassinet C., Kulka U., Oestreicher U., Ristic Y., Trompier F., Wojcik A., Waldner L., Port M.: Inter-laboratory comparison of gene expression biodosimetry for protracted radiation exposures as part of the RENEb and EURADOS WG10 2019 exercise *Sci Rep.* 2021 May 7;11(1):9756. doi: 10.1038/s41598-021-88403-4. PMID: 33963206
- [7] Port, M., Barquinero J.F., Endesfelder D. et al.: RENEb worldwide biological and physical dosimetry study. Laboratory inter-comparison of eight dosimetry assays. In preparation.

## **DIE THEMENFELDER DES MEDIZINISCHEN STRAHLENSCHUTZES UND DES AKMED**

Gerd Koletzko

*Landesanstalt für Personendosimetrie und Strahlenschutz Ausbildung (LPS) Berlin, Deutschland*

In der Medizin sind die Fächer Radiologie, Strahlentherapie und Nuklearmedizin weitestgehend bekannt. Das sind jene, in denen mit ionisierender Strahlung gearbeitet wird und demzufolge Strahlenschutz beachtet werden muss. Darüber hinaus spielt auch in der Arbeitsmedizin und dem medizinischen Notfallschutz bei Strahlenunfällen der Strahlenschutz eine wichtige Rolle. Sowohl Personal als auch Patienten müssen ordnungsgemäß geschützt sein. Dafür gibt es eine Reihe organisatorische und arbeitspraktische Maßnahmen. Oft ergeben sich dabei spezielle Herausforderungen, mit denen sich der AKMed beschäftigt. Im Vortrag soll auf einzelne Themenfelder des Strahlenschutzes im Rahmen der Medizin eingegangen werden.



**AKN**  
**Notfallschutz**



## **DIE UNTERSTÜTZUNG DER SICHERHEITSBEHÖRDEN DURCH DAS BUNDESAMT FÜR STRAHLENSCHUTZ**

Jens-Tarek Eisheh , Britta Lange

*Nuklearspezifische Gefahrenabwehr Bundesamt für Strahlenschutz (BfS) Berlin, Deutschland*

Das BfS unterstützt die zuständigen Behörden des Bundes und der Länder auf Anfrage im Falle des Verdachts einer Straftat im Zusammenhang mit radioaktiven Stoffen bei der Nachforschung, Analyse und bei Schutzmaßnahmen im Rahmen der Sicherstellung gemäß BfS-Errichtungsgesetz §2 (5). Die im Gesetz genannten Fälle werden unter dem Begriff "Nuklearspezifische Gefahrenabwehr" (NGA) zusammengefasst.

Das BfS hat ca. 65 Personen für den operativen Einsatz in der NGA vorbereitet und geschult. Alle sind sicherheitsüberprüft nach SÜG, als beruflich exponierte Personen der Kategorie A eingestuft und atemschutztauglich nach G26/2. Entsprechend ihren Aufgaben im Einsatzfall werden die Mitarbeitenden bestimmten Teams zugeordnet: Bewertung, Messteam-1 (Gammaskopie / Neutronenmessungen), Messteam-2 (verdeckte Ermittlungen), Messteam-3 (offene Suche), Logistik und Dokumentation. Im Einsatzfall können weitere Teams hinzugezogen oder vor Ort gebildet werden oder auch andere Organisationseinheiten des BfS (z.B. Inkorporationsmessstellen) im Rahmen ihrer Aufgabenwahrnehmung unterstützen. Für Anfragen und Alarmierungen außerhalb der Dienstzeiten ist eine 24/7 NGA-Rufbereitschaft eingerichtet.

Unterstützung durch das BfS kann entweder im Rahmen der Amtshilfe erfolgen oder vertraglich geregelt als Teil des 2021 gegründeten UnterstützungsverBundes CBRN (UVB-CBRN). Dort arbeitet das BfS unter der Leitung der BPOL zusammen mit BKA, RKI und Bundeswehr, um andere Sicherheitsbehörden bei CBRN-Lagen als Teil einer besonderen Aufbauorganisation (BAO) zu beraten und operativ zu unterstützen.

Amtshilfe wird z.B. regelmäßig für das BKA geleistet, um die radiologische Sicherung von besonderen Veranstaltungen zu gewährleisten, so unter anderem in 2022 beim G7-Gipfel in Elmau.

Zur Entwicklung und zum Erhalt der notwendigen Fähigkeiten führt das BfS intern oder gemeinsam mit Partnerbehörden regelmäßig Ausbildungs- und Übungsveranstaltungen durch. Abstract lag bei Druck nicht vor.



## **ALLGEMEINER NOTFALLPLAN DES BUNDES NACH § 98 DES STRAHLENSCHUTZGESETZES (ANOPL-BUND)**

Stefan Prüssmann

*KHG Kerntechnische Hilfsdienst GmbH*

Dem Notfallschutz wird im Strahlenschutzgesetz und der Strahlenschutzverordnung wesentlich mehr Platz eingeräumt als in den vorangehenden gesetzlichen Regelungen. Deutschland verabschiedet sich aus der Nutzung der Kernenergie und bis Ende 2022 wird das letzte Kernkraftwerk vom Netz gehen. Für die weiterhin bestehende Möglichkeit von Notfällen mit einer radiologischen oder nuklearen Gefährdung wurde ein System von Szenarien und eine Einteilung in lokale, regionale und überregionale Notfälle entwickelt. Die Zuständigkeit des Bundes wurde bei Notfällen, die mehr als lokale Bedeutung haben erweitert. Grundlage für die Verpflichtung zur Vorbereitung auf diese Notfälle sind die General Safety Requirements (No. „GSR Part 7“) der IAEA.

Im §97 des StrlSchG werden der Bund und die Länder aufgefordert ein System von aufeinander abgestimmten Notfallplänen zu erstellen. Der Bund wird mit dem §98 verpflichtet einen allgemeinen Notfallplan zu erlassen. In diesem allgemeinen Notfallplan werden die o.g. Szenarien aufgegriffen und eine gemeinsame Planungsgrundlage für den Bund und die Länder geschaffen. Es sollen die Planungen des Bundes, aber auch die internationalen Vorbereitungen dargestellt werden und so optimal abgestimmte Strategien für den Schutz der Bevölkerung und der Einsatzkräfte dargestellt werden.

Dieser allgemeine Notfallplan wird durch spezielle Notfallpläne ergänzt werden, die zwischen den zuständigen Ministerien abgestimmt werden. Die Länder sind mit dem § 100 StrlSchG aufgefordert ebenfalls Notfallpläne zu erstellen. Diese Notfallpläne der Länder ergänzen und konkretisieren den allgemeinen Notfallplan des Bundes und die besonderen Notfallpläne des Bundes, soweit die Länder für die Planung oder Durchführung von Schutzmaßnahmen zuständig sind.

Der Bund hat in 2022 einen Referentenentwurf diese ANoPl vorgestellt der Basis des Vortrags ist.

**AKNAT**  
**Natürliche Radioaktivität**



## DER AKTIONSPLAN RADIUM IN DER SCHWEIZ

Martha Palacios, Christen Emanuel, Di Tommaso Gennaro, Estier Sybille, Flury Thomas, Stalder Claudio, Storch Daniel, Baechler Sébastien

*Bundesamt für Gesundheit (BAG), Schweiz*

Ziel des vom Bundesrat verabschiedeten Aktionsplans Radium 2015-2022 ist die Bewältigung der radiologischen Altlasten, die durch die Verwendung radiumhaltiger Leuchtfarbe durch die Schweizer Uhrenindustrie bis in die 1960er Jahre entstanden sind. Das Bundesamt für Gesundheit (BAG) ist für seine Umsetzung zuständig.

Durch externe historische Nachforschungen wurden über 1000 Liegenschaften identifiziert, die potenziell mit Radium kontaminiert sind. Bisher wurden 880 Liegenschaften untersucht, wovon 137 einen Sanierungsbedarf aufzeigten. Gemäß der Strahlenschutzverordnung (StSV) wird ein Innenraum als sanierungsbedürftig erklärt, wenn der Referenzwert von 1 mSv pro Jahr für die Exposition der Nutzerinnen und Nutzer überschritten wird. Der Aktionsplan legt darüber hinaus einen Schwellenwert von 1000 Bq/kg für die spezifische Aktivität von Radium-226 in Außenbereichen fest.

Bis heute hat das BAG in Zusammenarbeit mit spezialisierten Firmen 116 Liegenschaften saniert. In diesem Rahmen werden radiumkontaminierte Baumaterialien entfernt bzw. belastete Gartenerde ausgekoffert und anschließend wieder Instand gestellt. Gemäß StSV können schwach kontaminierte brennbare Abfälle in einer Kehrichtverbrennungsanlage entsorgt werden, solange die wöchentliche Aktivität von 2 MBq für Radium-226 eingehalten wird. Dasselbe gilt für die Entsorgung von inerten Abfällen auf einer Deponie, sofern die maximale spezifische Aktivität von 10'000 Bq/kg für Radium-226 nicht überschritten wird. Abfälle mit einer höheren Radiumaktivität werden in das Bundeszwischenlager gebracht.

Neben der Untersuchung der betroffenen Liegenschaften zielt der Aktionsplan auch auf die Erstellung eines Inventars ehemaliger Deponien ab, die möglicherweise radiumkontaminierte Abfälle enthalten. Mit Hilfe der betroffenen Kantone und des Bundesamtes für Umwelt hat das BAG anhand von festgelegten Kriterien rund 280 Deponien identifiziert, die bei zukünftigen Aushubarbeiten radiologisch überwacht werden sollen.

## **RADONMESSUNGEN AN ARBEITSPLÄTZEN DES FREISTAATES SACHSEN**

Mandy Alisch-Mark, Janett Pezenka, Stefan Friedemann, Jacqueline Pianski, Thomas Heinrich

*Staatliche Betriebsgesellschaft für Umwelt und Landwirtschaft, Deutschland*

Im Rahmen der Umsetzung des Strahlenschutzgesetzes (StrlSchG) haben die Bundesländer Gebiete nach § 121 StrlSchG ausgewiesen (Radonvorsorgegebiete). Die Inhaber von Betriebsstätten sind gemäß § 127 StrlSchG verpflichtet, Messungen des Jahresmittelwertes der Radonaktivitätskonzentration in Innenräumen an Arbeitsplätzen durchzuführen, sofern diese in Keller- und Erdgeschossräumen in den Radonvorsorgegebieten liegen. An den Arbeitsplätzen, die zum Verantwortungsbereich des Freistaates Sachsen als Arbeitgeber gehören, wurden die Messungen durch die Staatliche Betriebsgesellschaft für Umwelt und Landwirtschaft (BfUL) durchgeführt. Das Messprogramm umfasste Arbeitsplätze in sächsischen Behörden und Dienststellen u. a. in den Polizeirevieren, in Dienststellen im Ressort des Ministeriums für Energie, Klimaschutz, Umwelt und Landwirtschaft, in den Amtsgerichten und Finanzämtern. Auch an den Arbeitsplätzen in einem Großteil der öffentlichen Schulen in den Radonvorsorgegebieten wurden die Messungen des Jahresmittelwertes der Radonaktivitätskonzentration durch die BfUL durchgeführt, sowie zu Vergleichszwecken auch außerhalb der ausgewiesenen Gebiete im Rahmen eines freiwilligen Messprogrammes. In diesem Beitrag erfolgt die Vorstellung der Durchführung des Messprogrammes sowie der Ergebnisse der Radonmessungen.

# **ARBEITSSCHUTZMAßNAHMEN ZUR VERRINGERUNG DER RADONEXPOSITION AN ARBEITSPLÄTZEN DER WASSERVERSORGUNG MIT PRAXISBEISPIELEN**

Thorsten Tennstedt

*Berliner Wasserbetriebe, Deutschland*

## **Zusammenfassung**

*Mit der Umsetzung des neuen Strahlenschutzrechtes durch das StrlSchG vom 27.06.2017 und der StrlSchV vom 28.11.2018 wurden die gesetzlichen Radonenschutzmaßnahmen verschärft. Insofern besteht ein zunehmendes Interesse an praktikablen Arbeitsschutzmaßnahmen zur Verringerung der Radonexposition an Arbeitsplätzen in Wasserversorgungsunternehmen. Anhand von Praxisbeispielen werden Ursachen und Auftreten hoher Radonexpositionen in Berliner Wasserwerken aufgezeigt und Empfehlungen zu deren Minimierung bzw. Optimierung gegeben.*

## **Summary**

*With the implementation of the new radiation protection law by StrlSchG of June 27, 2017 and StrlSchV of November 28, 2018, the legal radon protection measures were reinforced. In this respect, there is an increasing interest in practical occupational safety measures to reduce radon exposure at workplaces in water supply companies. Using practical examples, causes and conditions for the occurrence of high radon exposures in Berlin waterworks are presented, and recommendations for minimizing or optimizing them are given.*

*Schlüsselwörter: Radonexposition, Wasserwerk, Minimierung, Radon-222, Radium-226*  
*Keywords: radon exposure, waterworks, minimization, radon-222, radium-226*

## **1. Kurze Information zu den Berliner Wasserbetrieben**

Die Berliner Wasserbetriebe versorgen Berlin und Teile Brandenburgs mit Trinkwasser und kümmern sich auch um die Abwasserentsorgung. Im Jahre 2020 wurden ca. 220 Mio. m<sup>3</sup> Trinkwasser verkauft. Das Berliner Trinkwasser wird in 9 Wasserwerken in sehr guter Qualität hergestellt, wobei keine Chemikalien eingesetzt werden und auch keine Desinfektion erforderlich ist (naturnahe Aufbereitung). Die Kapazität der Berliner Wasserwerke beträgt ca. 1,1 Mio. m<sup>3</sup> pro Tag.

## **2. Warum ist der Radonschutz bei den Berliner Wasserwerken von Bedeutung?**

Weder Berlin noch Brandenburg wurden als Radonvorsorgegebiet eingestuft. Die Radonkonzentration des Rohwassers der Berliner Wasserwerke liegt bei lediglich 5 Bq/l und wird durch die überwiegende Grundwasserförderung verursacht. Maßgeblich für erhöhte Radonkonzentrationen in den Berliner Wasserwerken ist jedoch nicht das im Rohwasser enthaltene Radon, sondern sind vielmehr Spuren von Radium (Ra-226), die in der Brausteinschicht (Kieskorn) des Filtermaterials und in Eisen-/Manganschlämmen (z.B. in Reaktionskammern) der Wasserwerke aufgrund der großen Rohwasserfördermengen und der langen Laufzeit der Festbettschnellfilter von bis zu 50 Jahren akkumuliert werden. Die Uran-

238 – Zerfallsreihe ist allen Strahlenschützern bekannt. Somit ist klar, dass Radon (Rn-222) aus dem Mutternuklid Radium-226 mit einer Halbwertszeit von 1600 a ständig und nahezu unendlich nachgebildet wird und sich vorzugsweise in Filterhallen und angrenzenden Räumen anreichern kann. Zusätzlich ist natürlich auch die Emanation von im Roh- und Reinwasser gelösten Radon zu beachten. Als radonexponierte Räume wurden bei den Berliner Wasserwerken neben den Filterhallen und angrenzenden Räumen (in Betracht zu ziehen sind auch Büros, Warten und Werkstätten) vor allem Rohrkeller, Reinwasserbehälter, offene Reinwasserkanäle und Verdüsungskammern identifiziert. Keine Rolle als Radonquellen spielen dagegen die Bodenluft und Baumaterialien.

### **3. Warum ist Radon für den Gesundheitsschutz zu beachten?**

Radon ist ein radioaktives chemisches Element und zählt zu den Edelgasen. Radon ist farblos, geruchlos, geschmacklos, sehr flüchtig und geht im Wesentlichen keine chemischen Verbindungen ein. Es hat eine Halbwertszeit von 3,82 d und wird in der Zerfallsreihe des Uran-238 über mehrere Zwischenstufen durch Alphazerfall aus dem Isotop Radium-226 gebildet. Beim Zerfall von Radon entstehen weitere radioaktive Zerfallsprodukte (Polonium-218, Bismut-214, Blei-214 und Polonium-214). Diese schweben anfangs frei oder mit wenigen Wassermolekülen umgeben (Aerosole) und später angelagert an feine Partikel (Feinstaub) in der Luft. Werden Radon und seine kurzlebigen Zerfallsprodukte vom Menschen eingeatmet, wird Radon zum größten Teil wieder ausgeatmet. Seine Zerfallsprodukte jedoch werden im Atemtrakt abgelagert und verursachen eine schädigende Exposition des Lungengewebes durch die beim radioaktiven Zerfall freigesetzte Alphastrahlung. Aufgrund der biologischen Wirksamkeit dieser Alphastrahlung kann es zu einer Schädigung der Zellen und schließlich zu einer Lungenkrebskrankung kommen.

### **4. Das Minimierungsgebot des Strahlenschutzgesetzes:**

Bereits seit dem Jahr 2001 ist mit der deutschen Strahlenschutzverordnung (StrlSchV) der Schutz von Beschäftigten bei Expositionen durch natürliche Strahlungsquellen, u.a. für Radon bei entsprechend zugeordneten Arbeitsfeldern, etabliert. Arbeitsplätze in Wasserwerken gehören seither zu potenziell radonexponierten Arbeitsfeldern und es bestehen Verpflichtungen zum Strahlenschutz. Mit der Umsetzung der EU-Richtlinie 2013/59/EURATOM in nationales Recht wurden diese Regelungen mit dem Strahlenschutzgesetz (StrlSchG) vom 27.06.2017 und der Strahlenschutzverordnung (StrlSchV) vom 29.11.2018 angepasst und verschärft. U.a. wurde erstmals ein Referenzwert für die Radon-222-Aktivitätskonzentration von 300 Bq/m<sup>3</sup> in der Innenraumluft in Aufenthaltsräumen und an Arbeitsplätzen festgelegt (§ 124 bzw. § 126 StrlSchG). Bei deren Überschreitung werden Maßnahmen erforderlich. Außerdem waren von den zuständigen Behörden in den Bundesländern bis Ende des Jahres 2020 Radonvorsorgegebiete zu bestimmen. Bei diesen Gebieten wird von vornherein in Aufenthaltsräumen oder Arbeitsplätzen eine Überschreitung des Referenzwertes angenommen (§ 121 StrlSchG). Darüber hinaus sind Betreiber von Wasserwerken u.a. verpflichtet zur Information der Beschäftigten, zur Messung der Radonkonzentration, zur Abschätzung der Radonexposition und zu Maßnahmen zur Reduzierung der Strahlung infolge des Vorhandenseins von Radon.

Der Vortrag widmet sich der letzteren Aufgabe, dem sog. Minimierungs- oder Optimierungsgebot:

Das sog. Minimierungsgebot oder auch Optimierungsgebot ist nichts anderes als die konsequente gesetzliche Umsetzung des allgemein im Strahlenschutz verankerten „ALARA-Prinzips“, einem fundamentalen Grundsatz des Strahlenschutzes:

„ALARA“ steht für „As Low As Reasonably Achievable“ (übersetzt: „so niedrig wie vernünftigerweise erreichbar“) und fordert beim Umgang mit ionisierenden Strahlen, eine Strahlenbelastung von Menschen und Umwelt auch unterhalb von Grenzwerten so gering zu halten, wie dies mit vernünftigen Mitteln erreichbar ist.

Das Minimierungsgebot des Strahlenschutzgesetzes wurde in Bezug auf den Radonschutz in § 130 Abs. 2 StrlSchG neu formuliert:

„Ergibt die Abschätzung (gemeint ist hier die Radonexpositionsabschätzung), dass die effektive Dosis 6 mSv/a nicht überschreiten kann, so hat der zur Abschätzung Verpflichtete die Exposition durch Radon regelmäßig zu überprüfen. Er (der zur Anmeldung eines Arbeitsplatzes Verpflichtete [§ 130 Abs. 1 StrlSchG]) hat die Exposition durch geeignete Strahlenschutzmaßnahmen auf der Grundlage von Vorschriften des allgemeinen Arbeitsschutzes und unter Berücksichtigung aller Umstände des Einzelfalls so gering wie möglich zu halten. Die zuständige Behörde kann die Vorlage entsprechender Nachweise verlangen.“

Das Minimierungsgebot ist in Bezug auf den Radonschutz nicht neu und war bereits Bestandteil der StrlSchV 2001 (§ 94 „Dosisreduzierung“):

„Wer in eigener Verantwortung eine Arbeit der in den Kapiteln 2 bis 4 genannten Art plant, ausübt oder ausüben lässt, hat geeignete Maßnahmen zu treffen, um unter Berücksichtigung aller Umstände des Einzelfalls die Strahlenexposition so gering wie möglich zu halten.“

Was bedeutet nun dieses Minimierungsgebot in Bezug auf Arbeitsplätze in Wasserwerksanlagen:

Durch eine regelmäßige Überprüfung der Radon-Arbeitsplätze (sog. „fortlaufende Überwachung gemäß Artikel 35 Abs. 2 Satz 2 der Euratom-Richtlinie 2013/59) soll sichergestellt werden, dass sich durch Veränderungen der Expositionsumstände die Dosis für Mitarbeiter und Fremdbeschäftigte nicht erhöht und keine Überschreitung der effektiven Dosis von 6 mSv/a, die zur Einhaltung von Anforderungen des beruflichen Strahlenschutzes verpflichten würde, sichergestellt ist. Expositionsumstände sind zum Beispiel Messergebnisse der Radonkonzentration für die einzelnen Radon-Arbeitsplätze in Wasserwerksanlagen, die für die Berechnung der Radonexposition herangezogen wurden.

Die Kenntnis der aktuellen Radonkonzentration ist insbesondere bei nichtroutinemäßigen Arbeiten (ggf. auch von Arbeiten, die von der Expositionsabschätzung bislang nicht erfasst wurden) von besonderer Bedeutung, um ggf. Reduzierungsmaßnahmen in Betracht ziehen zu können. Für solche „Betriebsmessungen“, die von verantwortlichen Wasserwerksmitarbeitern durchgeführt werden können, sollten zeitaufgelöste Radonkonzentrationsmessgeräte im Wasserwerk zur Verfügung stehen.

Oft führen einfache kostengünstige Maßnahmen bereits zu einer deutlichen Reduzierung der Radonexposition für die Mitarbeiter. Nachfolgend gibt der Autor beispielhaft Empfehlungen für organisatorische und technische (solche Maßnahmen sind natürlich von der in den Wasserwerksanlagen eingesetzten Verfahrenstechnik abhängig) Maßnahmen zur Minimierung und Reduzierung der Radonexposition:



#### 4.1 Verantwortlichkeiten:

Eine Voraussetzung ist, dass die Verantwortlichkeiten für den Radonschutz im Wasserversorgungsunternehmen bis hin zum Wasserwerksmitarbeiter (Linienverantwortliche) klar geregelt sind. Also wer ist der Verantwortliche (StrlSchG § 127 Abs. 2) bzw. Verpflichtete (StrlSchG § 130 Abs. 1) für die radonexponierten Arbeitsplätze im Unternehmen? Diese Festlegung ist von besonderer Bedeutung, insbesondere um ein Organisationsverschulden zu vermeiden.

#### 4.2 Information:

Das Unternehmen muss die in Wasserwerksanlagen tätigen Beschäftigten und Fremdbeschäftigten vor Arbeitsaufnahme darüber informieren, in welchen Arbeitsräumen (sog. radonexponierte Räume) erhöhte Radonkonzentrationen auftreten können.

#### 4.3 Sicherheitsunterweisungen:

Darüber hinaus ist das Thema Radon in regelmäßigen bzw. vor Arbeitsaufnahme stattfindenden Sicherheitsunterweisungen (siehe § 12 ArbSchG und § 4 DGUV-Vorschrift 1) zu behandeln. Dies sollte insbesondere auch vor größeren Sanierungs- und Instandhaltungsmaßnahmen erfolgen.

#### 4.4 Radonschutzanweisung:

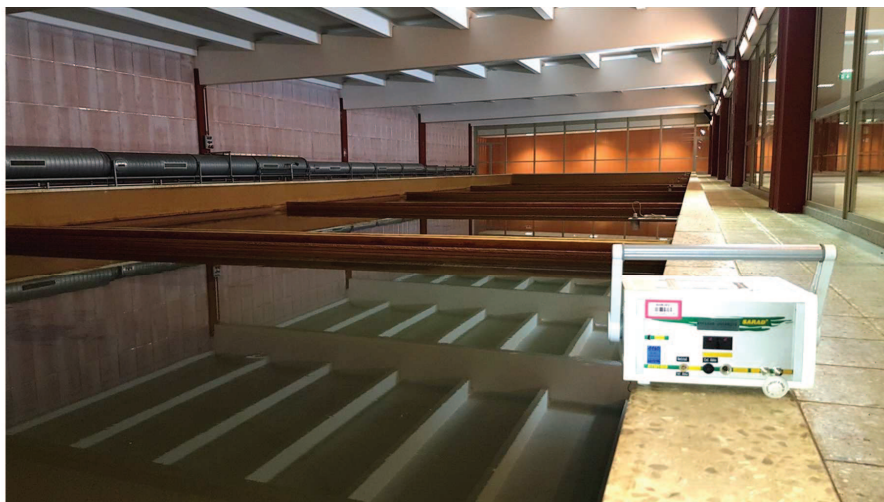
Auch wird empfohlen, Radonreduzierungsmaßnahmen für Arbeiten in radonexponierten Räumen von Wasserwerksanlagen in einer Radonschutzanweisung niederzulegen, die auch als Grundlage für Unterweisungen der Mitarbeiter dienen kann (für eine Mustervorlage siehe die DVGW-Information W256).

#### 4.5 Weitere allgemeine Handlungsempfehlungen:

- Die Aufenthaltsdauer in radonexponierten Räumen ist auf das arbeitsnotwendige Maß zu beschränken.
- In radonexponierten Räumen sind Türen, Fenster, Wanddurchbrüche, Kabelschächte, Mannlöcher, etc. zu angrenzenden Räumen ständig geschlossen zu halten und insbesondere bei Instandhaltungs- oder Sanierungsmaßnahmen soweit wie möglich (ggf. provisorisch) abzudichten.
- Zur Kontrolle von Arbeiten in radonexponierten Räumen sollten zeitaufgelöste Radonmessgeräte als Betriebsmessung angewendet werden.
- Sofern längere Tätigkeiten (mehrere Tage oder Wochen) von Beschäftigten oder Fremdarbeitskräften in radonexponierten Räumen geplant sind, wird empfohlen, einen Zielwert der Radonkonzentration (z.B.  $\leq 1000$  Bq/m<sup>3</sup>, gemessen als Mittelwert) vorzugeben, der einzuhalten ist.
- Die Einhaltung des Zielwertes sollte vor Arbeitsbeginn geprüft und erst dann eine Freigabe für den Beginn der Arbeiten erteilt werden.
- Die Einhaltung des Zielwertes sollte auch während der Arbeiten kontrolliert werden (begleitende repräsentative Betriebsmessung).

- Für in radonexponierten Räumen stationär betriebene Lüftungstechnische Anlagen sollte ein in Bezug auf die Minimierung der Radonkonzentration abgestimmtes Betriebsregime eingehalten und in einer Anweisung niedergelegt werden.
- Für alle radonexponierten Räume, die nicht mit stationärer Lüftungstechnik ausgestattet sind, sollten mobile Lüftungsanlagen vorgehalten werden.
- Rechtzeitig vor Beginn von planmäßigen Wartungs- und Instandhaltungsarbeiten oder Sanierungsmaßnahmen in radonexponierten Räumen, die mehrere Tage oder Wochen in Anspruch nehmen können, sollte ein Betriebsregime zur Minimierung der Radonkonzentration, z.B. Arbeitszeiten, Be- und Entlüftungsmaßnahmen, Raumabdichtung, Filter mit Wasser überdeckt halten, Filter abdecken etc. sowie die messtechnische Begleitung der Arbeiten abgestimmt werden.
- Bei der Planung neuer Wasserwerksanlagen oder Änderung vorhandener Anlagen (organisatorisch, baulich oder verfahrenstechnisch), bei denen radonexponierte Räume betroffen sein können, sollten Radonschutzmaßnahmen von vornherein berücksichtigt werden.
- Grundsätzlich werden regelmäßige Radonkontrollmessungen in radonexponierten Räumen und angrenzenden Räumen empfohlen.
- Vorhandene stationäre Lüftungsanlagen in radonexponierten Räumen sollten kontinuierlich bei Einhaltung eines Unterdruckes betrieben werden, um die Ausbreitung von Radon zu minimieren.
- Störungen an stationären Lüftungstechnischen Anlagen in radonexponierten Räumen sollten unverzüglich behoben werden.

#### 4.6 Spezielle Handlungsempfehlungen für Filterhallen mit offenen Festbetschnellfiltern



Bildquelle: Berliner Wasserbetriebe

- In Schnellfilteranlagen sollte die Rückspülung und das Auffüllen von Filtern während des Aufenthaltes von Beschäftigten oder Fremdarbeitskräften nicht gestattet bzw. vermieden werden oder in Zeiten verlagert werden, in denen sich keine Beschäftigten in der Filterhalle (innerhalb der Einhausung) aufhalten. Darüber hinaus sind Abklingzeiten erhöhter Radonkonzentrationen vorbeugend zu beachten.

- Das Betreten und Arbeiten in Räumen unterhalb der Filterböden von offenen Schnellfilteranlagen sollte besonderen Freigabeanforderungen unterliegen.
- Außer Betrieb befindliche Filter sollten, sofern möglich, mit einer Wasserabdeckung versehen werden.

#### 4.7 Spezielle Handlungsempfehlungen für Reinwasserbehälter und Reinwasserkanäle

- I.d.R. treten nach dem Entleeren von Reinwasserbehältern hohe Radonkonzentrationen infolge des Ausgasens aus dem Reinwasser auf. Da Reinwasserbehälter schlecht durchlüftet sind (lediglich Atmungsöffnungen), sollten entsprechende Abklingzeiten der Radonkonzentration beachtet werden. Bei Bedarf sollten mobile Lüftungsanlagen angewendet werden.
- Bei der Außerbetriebnahme von Reinwasserbehältern ist darauf zu achten, dass diese nicht raumlufttechnisch mit anderen Reinwasserbehältern oder auch Reinwasserkanälen verbunden sind, da durch den Luftaustausch hohe Radonkonzentrationen auftreten können.
- Atmungsöffnungen von Reinwasserbehältern und Reinwasserkanälen sollten nicht in geschlossenen Räumen (Filterhallen, Rohrkeller, Kabelschächte etc.) münden, in denen sich Radon anreichern kann. Der Luftaustausch aus Atmungsöffnungen sollte, soweit möglich, in die freie Atmosphäre erfolgen.

#### 4.8 Spezielle Handlungsempfehlungen für Verdüsungsanlagen/Riesler

- Verdüsungsanlagen verfügen i.d.R. über eine sehr gute Be- und Entlüftung, durch die auch Radon in die Atmosphäre abgeleitet wird. Bei Ausfall der Be- und Entlüftungsanlage sollten jedoch vorbeugende Maßnahmen getroffen werden, da sich die Radonkonzentration in der Verdüsungsanlage und auch in benachbarten Räumen sehr schnell anreichern kann.
- In Verdüsungsanlagen, insbesondere in den Reaktionsbecken, lagern sich Eisen- und Manganhydroxidschlämme ab, die als Radonquelle in Frage kommen. Ggf. können deshalb Lüftungsmaßnahmen z.B. bei Reinigungsarbeiten angezeigt sein.

#### 4.9 Spezielle Handlungsempfehlungen für Rohrkeller, Schächte und Brunnenstuben

- Da Radon sehr flüchtig ist, kann sich Radon in Rohrkellern, Schächten und Brunnenstuben, insbesondere Sammelbrunnen, anreichern. Vor Arbeitsbeginn sollten in diesen Räumen entsprechende vorbeugende Maßnahmen ergriffen werden.

Darüber hinaus wird darauf hingewiesen, dass die zuständige Strahlenschutzbehörde Rechenschaft über die verpflichtenden Radonminimierungsmaßnahmen vom Wasserwerksbetreiber fordern kann!

Für weitere Praxisbeispiele zu Radonminimierungsmaßnahmen wird auf die Präsentationsfolien verwiesen.

**AKNIR**  
**Nicht-ionisierende Strahlung**



## **SONNENSCHUTZ BEI DER ARBEIT: EINE ÜBERSICHT ZU DEN KAMPAGNEN-AKTIVITÄTEN IN DER SCHWEIZ**

Roland Krischek

*Schweizerische Unfallversicherungsanstalt (SUVA), Team Strahlenschutz, Schweiz*

Die Schweizerische Unfallversicherungsanstalt (Suva) betreibt seit mehreren Jahren Prävention zum Thema Sonnenschutz bei der Arbeit draußen an der Sonne. Der UV-Schutz ist ein Schwerpunkt in der Präventionsstrategie der Suva. Bis 2030 hat sich die Suva das Ziel gesetzt, dass sich die überwiegende Mehrheit der Arbeiter draußen mit entsprechenden Mitteln schützen. Die Sensibilisierung und Befähigung der Zielgruppen stehen dabei im Fokus. Dazu werden diverse Aktionen umgesetzt, wie beispielsweise eine Baustellen-UV-Tour, der Einsatz einer UV-Kamera oder ein Sonnenschutz-Präventionsmodul. Zudem ist ein Programm zur arbeitsmedizinischen Vorsorge vor hellem Hautkrebs in Planung.

## **EMFV UND DEREN KONKRETISIERUNG DURCH TECHNISCHE REGELN (TREMf)**

Peter Jeschke<sup>1</sup>, Carsten Alteköster<sup>2</sup>, Romanus Erik<sup>1</sup>

*<sup>1</sup>Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin, Dortmund, <sup>2</sup>Institut für Arbeitsschutz der DGUV, St. Augustin, Deutschland*

Im Jahr 2016 trat die Arbeitsschutzverordnung zu elektromagnetischen Feldern (EMFV) als nationale Umsetzung der europäischen Arbeitsschutzrichtlinie zu elektromagnetischen Feldern 2013/35/EU (EMF-RL) in Kraft. Parallel dazu begannen die Arbeiten zur Erstellung der Technischen Regeln zur EMFV (TREMf) durch Projektgruppen des Ausschusses für Betriebssicherheit, Unterausschuss 3. Das Technische Regelwerk gibt den Stand der Technik zum Schutz der Beschäftigten vor Gefährdungen durch elektromagnetische Felder (EMF) wieder und konkretisiert somit die Durchführung der Gefährdungsbeurteilung in Bezug auf EMF. Bei Einhaltung des Technischen Regelwerks kann ein Arbeitgeber davon ausgehen, dass die entsprechenden Anforderungen der EMFV erfüllt sind.

Mit Bekanntgabe der TREMF wird das Technische Regelwerk zu physikalischen Einwirkungen im staatlichen Arbeitsschutzrecht in Bezug auf EMF vervollständigt. Das Vorschriftenwerk der Unfallversicherungsträger mit DGUV-V 15 und korrespondierender Regel DGUV-R 103 013 aus dem Jahr 2001 ist derzeit parallel gültig.

Zum Einstieg in das Thema "Elektromagnetische Felder am Arbeitsplatz" wird der Beitrag einen Überblick geben zu:

- den Wirkungen von EMF auf den Menschen und das Arbeitsumfeld,
- der Einordnung in das europäische und deutsche Arbeitsschutzrecht,
- dem Schutzkonzept der EMF-RL und EMFV und
- den TREMF (Struktur, Gefährdungsbeurteilung und Fachkunde, Zonenkonzept, besonders schutzbedürftige Beschäftigte, besondere Festlegungen).



**AKP**  
**Praktischer Strahlenschutz**





## **OPERATIVER STRAHLENSCHUTZ AM SWISSFEL**

Lumen Haendler , Markus Hunziker, Albert Karcher, Lisa Pedrazzi, Christina Wouters, Sabine Mayer

*Paul-Scherrer-Institut (PSI), Schweiz*

Die neue Grossforschungsanlage des Paul-Scherrer-Instituts, der Freie-Elektronen-Röntgenlaser SwissFEL, befindet sich in einem 740m langem Tunnel und besteht aus vier Teilen: Injektor, Linearbeschleuniger, Undulatorstrecke und mehreren Experimentiereinrichtungen. Die Anlage beschleunigt Elektronen bis zu einer Energie von 5.8 GeV und erzeugt dabei Röntgenlicht mit einer Wiederholrate von maximal 100 Hz und einer Pulslänge von wenigen Femtosekunden. Damit können Forschende extrem schnelle Vorgänge wie die Entstehung neuer Moleküle bei chemischen Reaktionen verfolgen, die detaillierte Struktur lebenswichtiger Proteine bestimmen oder den genauen Aufbau von Materialien klären. Neben dem «Dose Rate Protection System», welches die erzeugt sekundäre Neutronenstrahlung überwacht, führt der Strahlenschutz verschiedene Maßnahmen und Messungen durch, um alle gesetzlichen Anforderungen an den Strahlenschutz zu erfüllen und um einen sicheren Betrieb des Beschleunigers zu gewährleisten. Einige dieser Routinekontrollen werden im Folgenden kurz beschrieben.

Bei jeder Öffnung des Strahl隧nells wird die Strahllinie auf Aktivierung, welche durch die Neutronenstrahlung entsteht, ausgemessen und die Messwerte protokolliert. Alle Materialien, welche den Strahl隧nellen verlassen, werden durch den Strahlenschutz kontrolliert und auf Aktivierung überprüft. Bevor der Strahl隧nellen wieder geschlossen wird, wird ein Rundgang durchgeführt, um zu kontrollieren ob sich noch Personen oder Materialien, welche während des Betriebs nicht benötigt werden, im Tunnel befinden. Außerdem wird die Raumluft des Strahl隧nells ständig und das Kühlwasser der Linearbeschleuniger in regelmäßigen Abständen auf Aktivierung überprüft sowie die Hochfrequenzstationen auf Gammadosisleistung gemessen.

Dieser Beitrag beschreibt die aufgelisteten und weiteren Maßnahmen, welche vom Strahlenschutz am SwissFEL durchgeführt werden im Detail sowie die damit verbundenen Herausforderungen und Probleme aus Sicht des Strahlenschutzes.

## **ONLINE-DOSISLEISTUNGSÜBERWACHUNG BEIM FREIE-ELEKTRONEN-RÖNTGENLASER SWISSFEL**

Eike Hohmann, , Christine Harm, Lisa Pedrazzi, Walter Nick, Sabine Mayer

*Paul-Scherrer-Institut (PSI), Schweiz*

Die neue Grossforschungsanlage des Paul-Scherrer-Instituts, der Freie-Elektronen-Röntgenlaser SwissFEL, befindet sich einen 740 Metern langen Tunnel und besteht aus vier Teilen: Injektor mit Elektronenquelle, Linearbeschleuniger, Undulatorstrecke und Experimentiereinrichtungen. Die Anlage beschleunigt Elektronen bis zu einer Energie von 5.8 GeV und erzeugt dabei Röntgenlicht mit einer Wiederholrate von maximal 100 Hz und einer Pulslänge von wenigen Femtosekunden in zwei Strahllinien. Die Integration des SwissFEL in ein nationales Naherholungsgebiet sowie der gepulste Primärstrahl stellen hohe Anforderungen an Strahlenschutz und Messtechnik.

Zur Sicherstellung der Einhaltung von gesetzlichen Vorgaben wurde die Abschirmung des Tunnels durch analytische- und Monte Carlo-Methoden detailliert charakterisiert und anhand der radiologischen Klassifizierung der angrenzenden Bereiche eine maximal erlaubte Neutronen-Dosisleistung im Strahlkanal bestimmt. Ein Online-Dosisleistungsüberwachungssystem mit derzeit 60 Detektoren überwacht diese kontinuierlich und überführt den SwissFEL mit einer funktionalen Sicherheit (Performance Level (PL) nach EN ISO 13849-1) der Kategorie «PL\_d» vor einer Überschreitung in einen radiologisch sicheren Zustand.

Das Online-Dosisleistungsüberwachungssystem ist so aufgebaut, dass ein Tausch oder eine Umpositionierung von Detektoren einfach möglich ist und stellt Funktionen zur Vermeidung einer Fehlbedienung zur Verfügung.

Dieser Beitrag beschreibt den Aufbau des SwissFEL aus Sicht des Strahlenschutzes und den damit verbundenen Anforderungen an die Online-Dosisleistungsüberwachung.

## **HERAUSFORDERUNGEN BEIM UMGANG MIT HOCHAKTIVEN BESCHLEUNIGERKOMPONENTEN: VON DER PLANUNG BIS ZUR REPARATUR**

Sophie Harzmann, , Lisa Pedrazzi, Sabine Mayer

*Paul-Scherrer-Institut (PSI), Schweiz*

Das Paul Scherrer Institut (PSI) ist das Forschungsinstitut mit einer der grössten Vielfalt an unterschiedlichen Anlagen und Laboratorien. Zu den Grossforschungsanlagen zählen ein Hochenergieprotonenbeschleuniger, eine Spallationsquelle und zwei Elektronenbeschleuniger. Um die Verfügbarkeit der Anlagen zu gewährleisten, findet jährlich ein mehrmonatiger Shutdown statt. Hier werden Reparatur- und Wartungsarbeiten an hochaktivierten und kontaminierten Beschleunigerkomponenten durchgeführt, die eng durch das Strahlenschutzpersonal begleitet werden. Dieser Beitrag zeigt anhand von diversen Beispielen den kompletten Prozess und dessen Herausforderungen auf: Von der Erfassung der radiologischen Situation mittels Dosisleistungs- und Kontaminationsmappings, über die Strahlenschutzplanung zur Abschätzung einer Kollektivdosis bis hin zur Arbeitsplatzüberwachung vor Ort beim Ausbau und der anschliessenden Reparatur.

**AKR**  
**Rechtliche Aspekte des Strahlenschutzes**



## **DIE 4. ÄNDERUNGSVERORDNUNG ZUR STRLSCHV**

Astrid Lange

*Niedersächsisches Ministerium für Umwelt, Energie, Bauen und Klimaschutz, Deutschland*

Nach der umfassenden Novellierung des neuen Strahlenschutzrechts zum 31.12.2018 steht mit der 4. Änderungsverordnung die erste umfassende Änderung der StrlSchV an. In diesem Beitrag wird der aktuelle Stand der Diskussion über die wichtigsten geplanten Änderungen aus Sicht einer Landesbehörde vorgestellt, Hintergründe dazu erläutert und Auswirkungen auf die Praxis prognostiziert.

## **DIE SEWD-RICHTLINIE – EINE RICHTLINIE OHNE RECHTSGRUNDLAGEN?**

Astrid Lange

*Niedersächsisches Ministerium für Umwelt, Energie, Bauen und Klimaschutz, Deutschland*

In der Richtlinie für den Schutz gegen Störmaßnahmen und sonstige Einwirkungen Dritter beim Umgang mit und bei der Beförderung von sonstigen radioaktiven Stoffen (SEWD-Richtlinie sonstige radioaktive Stoffe) werden Regelungen und Maßnahmen unter anderem im Bereich der hochradioaktiven Quellen festgelegt, die ein Entwenden oder anderen Missbrauch dieser Quellen verhindern sollen. Vorgesehen sind dafür auch mit Sicherungsaufgaben beauftragte Personen, die einer Fachkunde bedürfen. In diesem Beitrag wird die Problematik der fehlenden rechtlichen Grundlage im Bereich der SEWD-Richtlinie beleuchtet, die daraus in der Praxis resultierenden Probleme aufgezeigt und mögliche Lösungen präsentiert.

## "GUT DING WILL WEILE HABEN": ZUM BESCHLUSS DES BUNDESVERFASSUNGSGERICHTS VOM 7.12.2021 ZUM UMSCHLAGVERBOT VON KERNBRENNSTOFFEN IN BREMISCHEN HÄFEN

“GOOD THINGS COME TO THOSE WHO WAIT: ON THE DECISION OF THE FEDERAL CONSTITUTIONAL COURT OF 7 DECEMBER 2021 ON THE BAN ON HANDLING NUCLEAR FUEL IN THE PORTS OF BREMEN

Ulrike Feldmann

*Wirtschaftsverband Kerntechnik Deutschland e.V., Deutschland*

### **Zusammenfassung**

*Vor 10 Jahren beschloss der Bremer Senat aus politischen Gründen, in das Bremische Hafenbetriebsgesetz ein „Umschlagverbot“ für Kernbrennstoffe einzuführen. Mit diesem Umschlagverbot – durch Gesetz vom 31. Januar 2012 als § 2 Abs. 3 Bremisches Hafenbetriebsgesetz (BremHafenbetrG) neu eingefügt – wurde das Be- und Entladen von Kernbrennstoffen in bremischen Häfen grundsätzlich untersagt. Das Gesetz sah jedoch die Möglichkeit vor, Ausnahmen zuzulassen. Drei Unternehmen aus der Energie- und Logistikbranche beantragten daher 2012 beim Bremer Senat, für ihre jeweiligen anstehenden Seetransporte Ausnahmen von dem Umschlagverbot zuzulassen. Alle drei Anträge wurden vom Bremer Senat als unzulässig und unbegründet abgelehnt. Gegen die Ablehnungsbescheide erhoben alle drei Unternehmen Klage vor dem Verwaltungsgericht (VG) Bremen. Das VG Bremen zog alle drei Klagen zu einer zusammen und erließ am 9. Juli 2015 den Beschluss, dem Bundesverfassungsgericht (BVerfG) die Frage vorzulegen, ob § 2 Abs. 3 BremHafenbetrG mit Art. 71 GG, der die ausschließliche Gesetzgebungskompetenz des Bundes auf dem Gebiet der Kernenergienutzung regelt, und Art. 73 Abs. 1 Nr. 14 GG, der die Gesetzgebungsbefugnis der Länder in Fällen der ausschließlichen Gesetzgebungskompetenz des Bundes definiert, sowie dem Grundsatz der Bundestreue unvereinbar ist und das Verfahren vor dem VG Bremen bis zur Entscheidung des BVerfG auszusetzen.*

*Mit Beschluss vom 7. Dezember 2021 stellte das BVerfG fest, dass die Klage sowohl zulässig als auch begründet ist und bestätigte vollumfänglich den Vorlagebeschluss des VG Bremen, bejahte also die Verfassungswidrigkeit des bremischen Umschlagverbots.*

### **Summary**

*10 years ago, the Bremen Senate decided for political reasons to introduce a "ban on handling" nuclear fuel into the Bremen Port Operations Act. This ban on handling - newly inserted as § 2 para. 3 of the Bremen Port Operations Act (BremHafenbetrG) by the law of 31 January 2012 - basically prohibited the loading and unloading of nuclear fuel in the ports of Bremen. However, the law provided for the possibility of allowing exceptions. In 2012, three companies from the energy and logistics sector therefore applied to the Bremen Senate for permission to make exceptions to the "ban on handling" for their respective upcoming sea transports. All three applications were rejected by the Bremen Senate as inadmissible and unfounded. All three companies took legal action against the rejection notices before the Bremen Administrative Court (VG). The VG Bremen combined all three actions into one and issued a decision on 9 July 2015 to submit the question to the Federal Constitutional Court (BVerfG) as to whether § 2 para. 3 BremHafenbetrG is incompatible with Art. 71 of the Basic Law, which regulates the*

*exclusive legislative competence of the Federation in the field of nuclear energy us,e and Art. 74 para. 1 no. 14 of the Basic Law, which defines the legislative competence of the Länder in cases of exclusive legislative competence of the Federation, as well as with the principle of federal loyalty. Furthermore, the VG Bremen decided to suspend the proceedings before the VG Bremen until the BVerfG had reached a decision.*

*In its decision of 7 December 2021, the BVerfG found that the action was both admissible and well-founded and fully confirmed the order of reference of the Bremen Administrative Court, i.e. affirmed the unconstitutionality of Bremen's "ban on handling".*

**Schlüsselwörter** Kernbrennstofftransporte, Umschlagverbot, ausschließliche Gesetzgebungskompetenz des Bundes, Prinzip der Bundestreue

**Keywords** Nuclear fuel transports, ban on handling, exclusive legislative competence of the Federation, principal of federal loyalty

## 1. Einleitung

Ende Januar 2012 hatte der Bremer Senat vor dem Hintergrund der landespolitischen Zielsetzungen des Ausbaus der erneuerbaren Energien das Bremische Hafenbetriebsgesetz dahingehend geändert, dass der Umschlag von Kernbrennstoffen, also das Be- und Entladen von Kernbrennstoffen, in den bremischen Häfen grundsätzlich verboten ist<sup>1</sup>, wobei das Gesetz zwei Fälle nennt, in denen der Senat allgemein oder im Einzelfall Ausnahmen zulassen kann. Das Gesetz zur Änderung des Bremischen Hafenbetriebsgesetzes trat am 07.02.2012 in Kraft.

Mit dem Gesetz wurde ein ungewöhnlicher und weitreichender Präzedenzfall geschaffen, der u.a. die Frage aufwarf, ob die Kompetenz eines Landes so weit reicht, dass sein Recht auf Widmung und Entwidmung seiner Häfen auch eine schrankenlose Teilentwidmung bzw. Umschlagverbote einschließt, und zwar auch dann, wenn der Bund die ausschließliche Regelungskompetenz für eine Rechtsmaterie – im vorliegenden Fall für das Atomrecht – hat. Da es seit vielen Jahren zudem Initiativen in den Städten mit großen deutschen Seehäfen (z.B. Cuxhaven, Emden, Lübeck und Wilhelmshaven) gab und gibt, Nukleartransporte durch diese Städte und den Umschlag von radioaktivem Material in diesen Seehäfen zu verhindern, stand für die in- und ausländische Kernenergiebranche zu befürchten, dass das bremische Beispiel in anderen deutschen Seehäfen Schule machen könnte. Der Präzedenzcharakter des Umschlagverbots beschränkt sich jedoch nicht auf den „Nachahmungseffekt“ in anderen Seehäfen, sondern bezieht sich auch auf die Möglichkeit, andere Verkehrsinfrastruktureinrichtungen der Länder wie z.B. Landstraßen in Zukunft für beliebig andere Güter ebenfalls zu entwidmen. Nicht zuletzt würde die Zulässigkeit eines Umschlagverbots für bestimmte Güter, die einem Land politisch nicht genehm sind, das Prinzip des Universalhafens aushebeln.

Die naheliegende Annahme, dass die 2012 amtierende Bundesregierung die Beachtung ihrer ausschließlichen Gesetzgebungskompetenz beim Land Bremen einfordern würde – notfalls auch gerichtlich – erwies sich als unrealistisch.

Da die in der Kernenergiebranche tätigen Unternehmen keine rechtliche Handhabe hatten, gegen das Änderungsgesetz direkt vorzugehen, beantragten drei Unternehmen aus dieser Branche 2012 beim Bremer Senat, für ihre jeweiligen anstehenden Seetransporte Ausnahmen von dem Umschlagverbot zuzulassen. Nach Ablehnung aller drei Anträge als unzulässig und

---

<sup>1</sup> Gesetz zur Änderung des Bremischen Hafenbetriebsgesetzes vom 31. Januar 2012, Gesetzblatt der freien Hansestadt Bremen vom 6. Februar 2012, S. 10.



unbegründet durch den Bremer Senat, erhoben die Unternehmen vor dem Verwaltungsgericht Bremen (VG Bremen) Klage gegen die Freie Hansestadt Bremen (vertreten durch den Bremer Senat) auf Feststellung, dass der Umschlag von Kernbrennstoffen in den bremischen Häfen nach dem Hafeneinrichtungsgesetz nicht genehmigungsbedürftig ist.

Zum besseren Verständnis des Beschlusses des Bundesverfassungsgerichts vom 7. Dezember 2021 sollen nachfolgend zunächst die wesentlichen Aspekte der Klagebegründung, der Auffassung der Beklagten sowie der Entscheidung des VG Bremen skizziert werden.

## **2. Klageverfahren vor dem Verwaltungsgericht Bremen**

### **2.1 Wesentliche Klagebegründung**

Zur Begründung trugen die Klägerinnen vor, dass die Norm gegen die grundgesetzliche Kompetenzordnung verstoße. Die ausschließliche Gesetzgebungskompetenz im Bereich der friedlichen Nutzung der Kernenergie – einschließlich des Umgangs mit radioaktiven Stoffen, also auch der Beförderung dieser Stoffe, und der Entsorgung stehe gemäß Art. 73 Abs. 1 Nr. 14 dem Bund zu. Die Beförderung radioaktiver Stoffe habe der Bund außerdem erschöpfend in § 4 AtG geregelt. Genehmigungsbehörde sei eine Bundesbehörde. Vorschriften des Landes, die in die ausschließliche Gesetzgebungskompetenz des Bundes eingriffen, seien daher nichtig. Außerdem werde mit dem Verstoß gegen die bundesstaatliche Kompetenzverteilung gleichzeitig der verfassungsrechtlich geschützte Grundsatz der Bundestreue verletzt. Im Übrigen verstoße das Umschlagverbot gegen die unionsrechtliche geschützte Warenverkehrsfreiheit (Art. 93 EAGV<sup>2</sup> iVm. Art. 34 ff AEUV<sup>3</sup>).

Das VG Bremen zog alle drei Klagen zu einer Klage zusammen.

### **2.2. Wesentliche Begründung der Beklagten zur Abweisung der Klage**

In dem Verfahren verteidigte der Bremer Senat das Umschlagverbot mit dem Hinweis, dass den Ländern eine Widmungskompetenz zustehe, die auch eine Entwidmung bzw. eine Teilentwidmung erlaube. Das Umschlagverbot stelle also eine kompetenzrechtlich zulässige Teilentwidmung dar. Auch seien die Klägerinnen gar nicht auf die bremischen Häfen angewiesen, da es noch andere Seehäfen gebe, die von den klägerischen Unternehmen in der Vergangenheit bereits genutzt worden seien. Zudem seien die bremischen Häfen in den zurückliegenden fünf Jahren für die Beförderung von Kernstoffen von den Klägerinnen nicht mehr genutzt worden. Im Übrigen sei die Freie Hansestadt Bremen nicht verpflichtet, überhaupt einen Hafen zum Umschlag von Gütern zur Verfügung zu stellen, also auch nicht für bestimmte Güter. Weder der Bund noch der einzelne Bürger hätten einen Anspruch gegen ein Land auf Bereitstellung eines Hafens. Ggf. hätte der Bund ein Seehäfen-Infrastrukturgesetz erlassen müssen. Ferner verneinte der Bremer Senat eine Verletzung von EU-Recht. Die Teilentwidmung sei keine mengenmäßige Beschränkung.

### **2.3. Beschluss des VG Bremen vom 9. Juli 2015**

In seinem Beschluss vom 9. Juli 2015 kommt das VG Bremen zu dem Ergebnis, dass die Klage sowohl zulässig als auch begründet ist.

---

<sup>2</sup> Vertrag zur Gründung der Europäischen Atomgemeinschaft/Euratom-Vertrag (EAGV).

<sup>3</sup> Vertrag über die Arbeitsweise der Europäischen Union (AEUV).

Das in § 2 Abs. 3 BremHafenbetrg statuierte Umschlagverbot, so das Gericht, sei unvereinbar mit dem Grundgesetz, da es gegen die ausschließlich dem Bund in Art. 73 Abs. 1 Nr. 14 GG zugewiesene Kompetenz für Regelungen auf dem Gebiet der Kernenergie einschließlich der Beförderung und der Entsorgung verstoße. Auch sei die vom Bund getroffene Regelung für die Beförderung von Kernbrennstoffen in § 4 AtG abschließend. Eine eigene Risiko-bewertung seitens des Landes sei unzulässig. Die Regelung sei daher gemäß Art. 71 GG unwirksam. Grundsätzlich könnten die Länder zwar den Widmungsumfang ihrer Häfen frei bestimmen. Im vorliegenden Fall stelle das Umschlagverbot jedoch keine dem Recht der öffentlichen Sachen unterliegende Bestimmung des Widmungsumfangs der bremischen Häfen dar. Ein Umschlagverbot könne zwar Nebenfolge, aber nicht Hauptzweck einer widmungsrechtlichen Entscheidung sein. Das Gericht wies der Beklagten u.a. anhand von Plenarprotokollen des Bremischen Landtags nach, dass ihr Hauptmotiv für das Umschlagverbot nicht, wie vom Bremer Senat vorgetragen, eine stärker an der Nachhaltigkeit und der Vorsorge ausgerichtete Politik war, sondern dass das Umschlagverbot einen Kontrapunkt gegen die Atompolitik des Bundes setzen sollte. Zudem sah das VG Bremen im Umschlagverbot eine Umgehung der Gesetzgebungskompetenz des Bundes durch Landesrecht und damit auch eine Verletzung des Grundsatzes der Bundestreue.

Da, so das Gericht, mangels einer Entscheidung des EuGH ungeklärt sei, inwieweit ein landesgesetzliches Umschlagverbot für Kernbrennstoffe mit Unionsrecht unvereinbar sei und auch die Rechtsvorschriften der EU zu dieser Frage nicht eindeutig seien, sei es rechtlich nicht zwingend, erst ein Vorlageersuchen an den EuGH zu richten, sondern das VG Bremen könne direkt eine Vorlage an das BVerfG richten.

Das VG Bremen erließ deshalb am 9. Juli 2015 den Beschluss, das Verfahren auszusetzen und die Entscheidung des BVerfG einzuholen, ob § 2 Abs. 3 BremHafenbetrg mit Art. 71 GG, der die ausschließliche Gesetzgebungskompetenz des Bundes auf dem Gebiet der friedlichen Nutzung der Kernenergie regelt, und mit Art. 73 Abs. 1 Nr. 14 GG, der die Gesetzgebungsbefugnis der Länder in Fällen der ausschließlichen Gesetzgebungskompetenz des Bundes definiert, sowie mit dem Grundsatz der Bundestreue unvereinbar ist<sup>4</sup>.

### **3. Vorlageverfahren vor dem Bundesverfassungsgericht**

#### **3.1. Zusätzliche Argumentationslinie der Beklagten**

Der Vorlagebeschluss des VG Bremen ersparte den Klägerinnen zwar den langwierigen Weg durch die Instanzen, also den Klageweg über den Verwaltungsgerichtshof des Landes Bremen und das Bundesverwaltungsgericht. Er vermochte jedoch nicht zu verhindern, dass die Klägerinnen sechseinhalb Jahre auf die Entscheidung des Bundesverfassungsgerichts warten mussten. In den in dieser Zeit zwischen den Parteien ausgetauschten Schriftensätzen hielten beide Parteien des Rechtsstreits an ihren jeweiligen Auffassungen fest.

Neu hinzu trat allerdings in der Argumentation der Beklagten, dass sie die Zulässigkeit der Klage bestritt. So seien die Anforderungen des § 80 Abs. 2 S. 1 BVerfGG an die Substantiierung des Vorlagebeschlusses nicht erfüllt. Neu eingeführt wurde auch das Argument, das VG

---

<sup>4</sup> Nach Eingabe des Aktenzeichens 5 K 171/13 und des Datums 9.07.2015 findet sich die Entscheidung unter folgendem Link: <https://www.verwaltungsgericht.bremen.de/entscheidungen/entscheidungssuche-12796?ges%5Baktenzeichen%5D=5+K+171-13&ges%5Bbeginn%5D=9.07.2015&ges%5Bbegriff%5D=&ges%5Bende%5D=&ges%5Bext%5D=&ges%5Bnormen%5D=&ges%5Brechtsgebiet%5D%5B0%5D=12808&ges%5Brechtsgebiet%5D%5B1%5D=12808&sub mit=Suche+starten>.

Bremen habe es versäumt zu prüfen, ob unabhängig von der Frage einer Ausnahmegenehmigung nach § 2 Abs. 3 BremHafenbetrG eine Verkehrserlaubnis nach § 11 Abs. 1 S. 1 Nr. 1 BremHafenbetrG einschlägig sein könnte. Das VG Bremen hätte sich dazu mit der obergerichtlichen Rechtsprechung und der Gesetzeslage auseinandersetzen müssen. Zudem monierte der Bremer Senat, das VG Bremen habe sich nicht mit der Möglichkeit einer verfassungskonformen Auslegung des § 2 Abs. 3 S. 2 BremHafenbetrG auseinandergesetzt, der ein Ermessen der Genehmigungsbehörde vorsehe. Ferner bestritt der Bremer Senat ein schutzwürdiges Feststellungsinteresse der Klägerinnen. Dieses habe das VG Bremen nicht entsprechend den Anforderungen des § 80 Abs. 2 S. 1 BVerfGG<sup>5</sup> dargelegt. Insbesondere habe sich das Fachgericht nicht hinreichend mit den naheliegenden Alternativen (vor allem mit den Häfen in Nordenham und Hamburg) auseinandergesetzt. Die im Laufe des Jahres 2021 zunehmende Fokussierung des Bremer Senats auf das Bestreiten der Zulässigkeit dürfte darin begründet liegen, dass das BVerfG in seinem „Berliner Mietdeckel“-Beschluss<sup>6</sup> vom 25. März 2021 bereits klare Grenzen für den Kompetenzbereich der Länder gezogen hatte. In diesem Beschluss stellte das BVerfG u.a. fest, dass Doppelzuständigkeiten dem Grundgesetz in der Regel fremd seien und sich der Kompetenzbereich der Länder grundsätzlich durch die Reichweite der Bundeskompetenzen bestimme und nicht umgekehrt.

### 3.2. Der Beschluss des Bundesverfassungsgerichts vom 7. Dezember 2021

Mit seinem Beschluss vom 7. Dezember 2022<sup>6</sup> teilt das BVerfG die Auffassung des VG Bremen, dass die Klage sowohl zulässig als auch begründet ist.

### 3.3. Zulässigkeit der Klage

Das BVerfG bestätigt, dass das VG Bremen nachvollziehbar dargelegt habe, dass die von den Klägerinnen beantragte Feststellungsklage der richtige prozessuale Weg sei, um über die generelle Genehmigungsbefähigung oder -freiheit des Kernbrennstoffumschlags in bremischen Häfen entscheiden zu können. Die Entscheidungserheblichkeit des § 2 Abs. 3 BremHafenbetrG sei durch die Nichterwähnung des § 11 Abs. 1 S. 1 Nr. 1 BremHafenbetrG durch das VG Bremen nicht in Frage gestellt. Dazu stellt das BVerfG weiter fest, dass die vom Fachgericht vorgenommene Beurteilung des einfachen Rechts grundsätzlich von ihm zu akzeptieren sei und sie im vorliegenden Fall jedenfalls nicht offensichtlich unhaltbar sei, weil es sich bei dem Umschlagverbot nach § 2 Abs. 3 BremHafenbetrG und der Verkehrserlaubnis für das Befahren mit Fahrzeugen nach § 11 Abs. 1 S. 1 Nr. 1 BremHafenbetrG um zwei unterschiedliche Regelungsgegenstände handele. Ferner sieht das BVerfG die Überzeugung des VG Bremen von der Unvereinbarkeit des § 2 Abs. 3 BremHafenbetrG mit Art. 72 und 73 Abs. 1 Nr. 14 GG und dem Grundsatz der Bundestreue hinreichend im Vorlagebeschluss begründet. Das BVerfG unterstreicht, dass § 80 Abs. 2 S. 1 BVerfGG das vorlegende Gericht nicht dazu verpflichte, auf jede denkbare Rechtsauffassung einzugehen. Auch tritt das BVerfG der Auffassung des Bremer Senats entgegen, das VG Bremen habe zu Unrecht eine verfassungskonforme Auslegung des § 2 Abs. 3 BremHafenbetrG verneint. Diese Regelung enthalte „ein klares und ausdrückliches Verbot“, von dem nur in eng begrenzten Ausnahmen abgewichen werden könne. Die Auffassung des VG Bremen, dass eine solche

---

<sup>5</sup> Bundesverfassungsgerichtsgesetz (BVerfGG).

<sup>6</sup> Aktenzeichen: 2 BvL 2/15; die Entscheidung findet sich unter dem Link: [https://www.bundesverfassungsgericht.de/SiteGlobals/Forms/Suche/Entscheidungensuche\\_Formular.html?gtp=5403124\\_list%253D3&facetedYear=2021&language\\_=de](https://www.bundesverfassungsgericht.de/SiteGlobals/Forms/Suche/Entscheidungensuche_Formular.html?gtp=5403124_list%253D3&facetedYear=2021&language_=de).

Ausnahmemöglichkeit im vorliegenden Fall nicht gegeben ist, wird vom BVerfG nicht beanstandet. Ebenso wenig sieht das BVerfG Veranlassung, im vorliegenden Fall einem Vorabentscheidungsersuchen an den EuGH Vorrang vor einem Vorlageverfahren zur Prüfung der Verfassungsmäßigkeit des § 2 Abs. 3 BremHafenbetrg (konkrete Normenkontrolle) einzuräumen und folgt damit auch in diesem Punkt der Auffassung des VG Bremen.

#### 3.4. Begründetheit der Klage

Das BVerfG teilt ferner die Ansicht des VG Bremen zur ausschließlichen Gesetzgebungskompetenz des Bundes für die friedliche Nutzung der Kernenergie nach Art. 73 Abs. 1 Nr. 14 GG. Diese Kompetenznorm sei umfassend und erschöpfend zu verstehen, also einschließlich Beförderung, Verladevorgänge und Umschlag. Das BVerfG stellt u.a. erfreulich klar, dass die friedliche Nutzung der Kernenergie die Sicherstellung der Versorgung der Kernkraftwerke mit entsprechenden Kernbrennstoffen und die Sicherstellung der Entsorgungswege, also auch die Nutzung der Verkehrsinfrastruktur voraussetzt.

Im Hinblick auf möglicherweise überlappende Kompetenztitel stelle sich Art. 73 Abs. 1 Nr. 14 GG im Zweifel als *lex specialis* dar und beschränke sich nicht allein auf seinen kompetenzrechtlichen Charakter, sondern enthalte darüber hinaus eine materiell-rechtliche Legitimation der Kernenergie, ohne allerdings einen verpflichtenden Rechtssetzungsauftrag an den Gesetzgeber zu enthalten. Dem Bund obliegen damit die Risikobewertung aller mit dem Transport radioaktiver Stoffe zusammenhängenden Vorgänge sowie die Festlegung der daraus abzuleitenden Genehmigungsvoraussetzungen zur Gewährleistung eines sicheren Transports. § 4 Abs. 2 Nr. 3 AtG enthalte also keine Befugnis der Länder, den vom Bund festgelegten Vorsorgemaßstab aufzuheben oder zu modifizieren. Auch entscheide der Bund nach § 4 Abs. 2 Nr. 6 AtG, ob der Genehmigung öffentliche Interessen entgegenstünden. Ferner folge aus der ausschließlichen Bundeszuständigkeit eine auf dem Gebot der Bundestreue beruhende Verpflichtung der Länder, Maßnahmen zu unterlassen, „mit denen im Wege der Bildung eines Landesstaatswillens politischer Druck auf Bundesorgane ausgeübt wird, die von ihnen unter Inanspruchnahme einer Bundeskompetenz getroffenen Sachentscheidungen zu ändern“.

In Bezug auf die Widmungskompetenz bestätigt das BVerfG ebenfalls die Auffassung des VG Bremen. Das Widmungsrecht der Länder gelte nur insoweit, wie die Widmungsentscheidung nicht als Hauptzweck eine Regelung trifft, für die der Bund die ausschließliche Gesetzgebungskompetenz besitzt. Im konkreten Fall stelle sich das Umschlagverbot jedoch als schwerpunktmäßig atomrechtliche Regelung dar.

#### 4. Fazit

Mit diesem Beschluss des BVerfG wird die Auffassung der Klägerinnen und des vorlegenden VG Bremen vollumfänglich bestätigt. Für die Praxis ist insbesondere wichtig, dass neben der Beförderungsgenehmigung nach § 4 AtG keine weiteren Genehmigungen nach dem bremischen Hafenbetriebsgesetz – auch nicht nach § 11 Abs. 1 BremHafenbetriebsG – zulässig sind. Zum anderen wird das Universalhafenprinzip gestützt sowie in Ergänzung der Entscheidung zum Berliner-Mietdeckelfall eine grundsätzliche Klärung der Kompetenzordnung zwischen Bund und Ländern vorgenommen.



**AKS**  
**Biologische Strahlenwirkung**



## **ANALYSIS OF CHROMOSOMAL ABERRATIONS AFTER EXPOSURE TO THE AUGER ELECTRON EMITTER IODINE-125, THE $\beta$ -EMITTER TRITIUM AND CAESIUM-137 $\Gamma$ -RAYS**

Marcus Unverricht-Yeboah, Ralf Kriehuber

*Forschungszentrum Jülich GmbH, Geschäftsbereich Sicherheit und Strahlenschutz, Deutschland*

Ionizing radiation (IR) induced chromosomal aberrations (CA) are structural changes of the genome. Whether the amount of CA is associated with the linear-energy-transfer (LET) and/or the actual complexity of the induced DNA-double-strand-breaks (DSB) remains elusive. The DNA-incorporated Auger-electron-emitter Iodine-125 as 125I-UdR is known to cause high LET-type cell-survival-curves. DNA-incorporated Tritium (3H-thymidine) is also known to show slightly increased relative biological effectiveness in cell killing experiments. These findings are explained in the literature by the overall complexity of the induced DNA-damage. Here, we investigated whether DNA-lesions of different complexity induced at different cell-cycle stages have an impact on the amount of induced CA.

Cells were synchronized and pulse-labeled in S-phase with 125I-UdR or 3H-thymidine. For decay accumulation, cells were frozen either after pulse-labeling in S-phase or after progression to G2/M- or G1-phase. Accordingly, experiments with  $\gamma$ -irradiation were performed. After thawing, the CA assay was applied. All experiments were performed at the same DSB level as measured by  $\gamma$ -H2AX induction.

CA induction after 125I-UdR exposure showed a 3-fold and 1.7-fold increase compared to  $\gamma$ -irradiation and exposure to 3H-thymidine in G2/M exposed cells and a 2.6-fold increase compared to 125I-UdR exposure of G1 cells. In contrast, no differences were observed between the three radiation qualities with respect to exposure in S- or G1-phase.

This indicates that the 3D-organization of replicated DNA in G2/M seems to be more sensitive to DNA-lesion complexity when compared to the DNA-architecture in S- or G1-cells. Whether this is due to the DNA-organization itself or DNA-repair obstructions remain unclear.



## **EFFECTS OF IONIZING RADIATION ON HUMAN NEURAL PROGENITOR CELLS AND NEURAL DIFFERENTIATION IN A 3D CELL MODEL**

Jin-Ho Lee , Sabine Schmitz, Ralf Kriehuber

*Forschungszentrum Jülich GmbH, Geschäftsbereich Sicherheit und Strahlenschutz, Deutschland*

Past epidemiological and clinical studies revealed the severe neurotoxic effects of ionizing radiation on the human brain, especially at early development. In the last decade, novel 3D neural cell models emerged with improved physiological properties over traditional 2D monolayer cell models, however remain underrepresented in radiobiological studies. In this work, we use a fast and reproducible 3D model to study radiation effects on the differentiation of neural progenitor cells into neural and glial cell fates. So far, our 3D model is compatible with standard down-stream analyses such as apoptosis assay, RNA and protein assays, flow cytometry, and whole-mount fluorescence microscopy.

First experiments showed marked changes in neurosphere morphology upon  $\geq 1$  Gy  $^{137}\text{Cs}$  gamma ray exposure when compared to low dose ( $\leq 50$  mGy) and non-irradiated controls at 24 hours post-irradiation. Furthermore, reduced proliferation and increased apoptosis were observed at 1-2 Gy but not for doses  $\leq 50$  mGy. Preliminary qRT-PCR data indicate increased GFAP (astrocytic marker) levels at low (25-50 mGy) and high (1-2 Gy) radiation doses while no changes were observed for progenitor (Nestin, SOX-2), neural (TUBB3) and oligodendrocyte (NG2, PDGFRA) marker genes 24 h post-irradiation. These effects were more pronounced in 3D neurospheres compared to 2D cell cultures. Further investigations will clarify marker expression changes at later post-irradiation time points.

Our works provide the basis to study radiation effects on human neural progenitor cells and their differentiation under improved physiological conditions using an efficient and reliable 3D cell model system.

**AKSIGMA**  
**Nachweisgrenzen**



## **EIN VERGLEICH DER METROLOGISCHEN KONZEPTE AUS DER SICHT DES RICHTIGEN GEBRAUCHS DER FACHBEGRIFFE**

Jonny Birkhan

*Technische Universität Darmstadt, Deutschland*

Fehler, Unsicherheit, Präzision und Genauigkeit sind nur vier von vielen wichtigen metrologischen Fachbegriffen, die immer wieder synonym benutzt werden, obwohl Sie in Wahrheit teils völlig verschiedene Bedeutungen haben. Ein sicherlich nicht zu vernachlässigender Grund dafür ist der Umstand, dass das Konzept der Messunsicherheiten mit seinem Bayesschen Wahrscheinlichkeitsansatz verstärkt Eingang in die verschiedensten Wissenschaftsbereiche gehalten hat, die im Hinblick auf ihre Datenanalysen aber bisher vom frequentistischen Ansatz, also dem Fehlerkonzept geprägt waren. Infolgedessen hat eine Vermischung nicht nur der Fachbegriffe, sondern auch der Methoden aus beiden Konzepten stattgefunden. Der Vortrag stellt die wesentlichen Unterschiede in den beiden Konzepten vor und demonstriert dabei den richtigen Gebrauch der wichtigsten Fachbegriffe in Anlehnung an die aktuelle DIN ISO 11929, um hier Klarheit zu schaffen

## **BERÜCKSICHTIGUNG VON UNSICHERHEITEN UND DIE BESTIMMUNG VON CHARAKTERISTISCHEN GRENZEN IN GAMMASPEKTROMETRISCHEN FASSMESSUNGEN**

Martin Dürr, Kai Krycki, Andreas Havenith

*AiNT GmbH, Deutschland*

In den vergangenen Jahren wurde durch eine umfassende Erweiterung der DIN EN ISO 11929, erarbeitet im AK Sigma des Fachverbands für Strahlenschutz, eine normative Grundlage für die Auswertung von Messungen ionisierender Strahlung geschaffen. Die in der Norm festgeschriebenen Verfahren behandeln die Berücksichtigung von Unsicherheiten in der Auswertung von Kernstrahlungsmessungen und die Berechnung von charakteristischen Grenzen. Im Zuge der nahenden Inbetriebnahme des Endlagers Konrad gerät die radiologische Charakterisierung von Abfallprodukten zunehmend in den Fokus der Ablieferungspflichtigen. Die mit Fassmessanlagen erworbenen Messergebnisse sind die Grundlage für die Bestimmung der Aktivitätsinventare der in den Behältern verpackten Abfallprodukte, wobei entsprechend den Konrad Annahmebedingungen sämtliche relevanten Nuklide der Abfälle deklariert werden müssen. In den Maßnahmen zur Produktkontrolle wird dargelegt, dass messtechnische Unsicherheiten von Nachweisverfahren bei der Deklaration von Abfällen zu berücksichtigen sind. Somit sind beispielsweise für die Aktivitätsdeklaration die Grenzen des Überdeckungsintervalls gemäß DIN EN ISO 11929 zur Bewertung der Messergebnisse von Relevanz.

Für die konkrete Behandlung von Unsicherheiten und die Bestimmung der charakteristischen Grenzen in Fassmessungen existieren unterschiedliche Konzepte. Diese werden im „Leitfaden für gammaspektrometrische Messungen von radioaktivem Abfall“ DIN EN ISO 19017 skizziert, jedoch bietet der Leitfaden Anwendern wenige konkrete und nachvollziehbare Beschreibungen zur Quantifizierung von Messunsicherheiten. Daher erscheint uns eine

Diskussion sowohl des Stands der Technik als auch der Umsetzung der DIN EN ISO 11929 in der Charakterisierung von Abfällen mit Fassmessanlagen als notwendig. In diesem Beitrag werden konkrete Vorschläge zur Anwendung der DIN EN ISO 11929 auf gammaspektrometrische Fassmessungen diskutiert sowie ein normgerechtes Vorgehen anhand eines Rechenbeispiels demonstriert.

# **ERKENNEN WIR MÖGLICHE STATISTISCHE FEHLSCHLÜSSE BEI DER AUSWERTUNG UNSERER MESSUNGEN ODER AKZEPTIEREN WIR ERGEBNISSE "MIT AN WAHRSCHEINLICHKEIT GRENZENDER SICHERHEIT"?**

DO WE RECOGNISE STATISTICAL FALLACIES IN THE EVALUATION OF OUR MEASUREMENTS OR ARE WE ACCEPTING RESULTS MORE ON SEEMINGLY PROBABILITY GROUNDS THAN ON SECURITY NECESSITIES?

Boris Kraut, Wolfgang Kraut

*Duale Hochschule Baden-Württemberg (DHBW) Karlsruhe, Deutschland*

## **Zusammenfassung**

*Der Beitrag untersucht, inwieweit unterstellte mathematische Modelle einer Strahlenschutzmessung tatsächlich auch korrekte Ergebnisse der real vorliegenden Situation wiedergeben können. Wie beispielsweise der Frage nach unterschiedlichen Bedingungen bei Messungen einerseits mit Zeitvorgabe bzw. andererseits mit Impulsvorgabe oder z.B. der empfohlene Übergang von DIN 11929- zu GUM 1 aufgrund zu hoher Unsicherheiten der berücksichtigten Modellparameter.*

## **Summary**

*This contribution investigates different conclusions and results which might possibly wrongly be given by routine statistical models in radiation protection measurements.*

**Schlüsselwörter** *statistische Fehlschlüsse, Strahlenschutzmessung, DIN ISO 11929, GUM1*

**Keywords** *statistical fallacies, health-physics measurements, DIN ISO 11929, GUM1*

## **1. Einführung**

Wahrscheinlichkeiten beschreiben als bedingtes Maß von Unsicherheit das Eintreten von Ereignissen. Explizite Ergebnisse unserer Messungen können deshalb auch nur näherungsweise auf mathematische oder statistische Modelle der realen Situation abgebildet werden. Fehlerhafte statistische Interpretationen treten zwangsläufig auf - nicht nur bei Methoden der klassischen, sondern ebenso der Bayes'schen Statistik. Der bekannte englische Statistiker George Box [1] brachte es einmal auf den Punkt indem er sagte: "... *all models are approximations. Essentially, all models are wrong, but some are useful!*" Ebenso weisen die Medizinphysiker Hans-Hermann Dubben und Hans-Peter Beck-Bornholdt treffend in ihrem Buch „*Mit an Wahrscheinlichkeit grenzender Sicherheit*“ [2] auf solche statistische Fehlschlüsse z.B. in Medizintechnik und der Strahlentherapie hin.

In der klassischen Statistik fehlen oft eindeutige axiomatische Grundlagen (z.B. bei der Anwendung verschiedener statistischer „Schätzer“) und führen zu widersprüchlichen Ergebnissen. Bayes Formel hingegen kennzeichnet immer(!) einen formal korrekten mathematischen Zusammenhang. Jedoch bleiben auch hier oft Fragen („holes“) offen, wie z.B.

Fragen nach der korrekten Wahl des benötigten Priors (flat, weak, subjective etc.?) oder auch nach der korrekten Anwendung des Prinzips der maximalen Informationsentropie (PME). Da die zugrundeliegende Mathematik meistens recht komplex ist, kann es nicht ausbleiben, dass Modelle oder Annahmen schlichtweg ungenau werden oder dass auch „bugs“ im üblichen bayes'schen „workflow“ schnell zu fundamentalen Fehleinschätzungen der Ergebnisse führen können. Im Folgenden versuchen wir, an einigen Beispielen diese Schwierigkeiten aufzuzeigen.

## 2. Exakte Ergebnisse durch das Prinzip der maximalen Entropie (PME)?

Zitat aus DIN ISO 11929-2 [7]: *“The normal or Gaussian distribution is the exact solution of the PME if the available information consists only of a measured value  $x$  and its associated standard uncertainty  $u(x)$ .”*

Bernardo und Smith [4] sehen die Anwendbarkeit des PME aus mathematischen Gründen nicht zur Bestimmung von Wahrscheinlichkeitsverteilungen  $P(x)$  mit kontinuierlicher Variablen  $x$  als gegeben an. In den Empfehlungen unserer Normen wird auf eine Unterscheidung zwischen kontinuierlicher bzw. diskreter Abhängigkeit der Verteilungen von  $x$  nicht eingegangen. Ein meistens nicht bekanntes Handicap der Verwendung des PME liegt zudem darin, dass die Lösungsmannigfaltigkeit des PME eingeschränkt ist [5]. Beispielsweise ergibt sich für Erwartungswert  $E(x)$  gleich der Standardunsicherheit  $u(x)$  als Lösung nicht wie erwartet eine Gauß-Verteilung, sondern explizit eine Exponentialverteilung! Zudem existieren für  $E(x) < u(x)$  überhaupt keine Lösungen des PME. Ähnliche Einschränkungen betreffen auch Lösungen für eingeschränkte Variablenbereiche, z.B.  $0 < x < R$ .

In dieser Hinsicht sind insbesondere auch Lösungen des PME, die wie in DIN ISO 11929-2 (Anhang B) z.B. zu abgeschnittenen Verteilungen führen können, genau auf mögliche Fehleinschätzungen zu prüfen.

## 3. Erkennungsgrenzen mit oder ohne Messunsicherheiten?

Üblicherweise werden im Strahlenschutz Erkennungsgrenzen  $y^*$  (oder auch Nachweisgrenzen  $y^\#$ ) ohne spezielle Angaben einer Messunsicherheit  $u(y^*)$  dargestellt. Gibt es für diese Größen vielleicht tatsächlich keine Unsicherheiten? Mit Sicherheit nein! Der Ausdruck  $y^* = k_{1-\alpha} * w * 2 * x_0^{1/2}$  sagt sofort aus, dass die Unsicherheiten von  $w$  und  $x_0$  direkt multiplikativ eine Unsicherheit von  $y^*$  beeinflussen. Wir können uns diesen Zusammenhang an einem einfachen Beispiel klar machen, ohne eine spezielle Unsicherheit von  $w$  zusätzlich zu berücksichtigen: Die Messwerte  $x_0$  des Backgrounds zeigen z.B. statistische Unsicherheiten zwischen  $x_0=2$  und  $x_0=8$ . Daraus resultiert ein Verhältnis  $y^*(x_0=8) / y^*(x_0=2) = 2$ . Die Erkennungsgrenzen  $y^*$  könnten deshalb je nach Wert von  $x_0$  um bis zu 100% schwanken. Eine Angabe der Erkennungsgrenze evtl. noch mit Kommastellen wäre natürlich wenig hilfreich.

Ungeklärt indessen bleibt jedoch immer noch die Frage, mit welcher Wahrscheinlichkeit ein Messwert  $y$  bei Überschreiten der Erkennungsgrenze, d.h.  $y > y^*$ , tatsächlich dem Nulleffekt oder einem Bruttoeffekt zugerechnet werden kann. Ein  $1-\alpha$  Quantil kennzeichnet nämlich nicht die Wahrscheinlichkeit für das Eintreten eines einzelnen Ereignisses, sondern gibt nur die Häufigkeit einer Stichprobe wieder!

#### 4. Bayes-Formel oder GUM?

Bei großen relativen Unsicherheiten empfiehlt DIN ISO 11929-2 nach GUM Supplement 1 [8] vorzugehen. Dabei wird eine Posterior Verteilung  $f_Y(\tilde{y}|\mathbf{a})$  definiert über die sog.

$$\text{Markov-Formel}^1 \quad f_Y(\tilde{y}|\mathbf{a}) = \int f_X(\xi|\mathbf{a}) \cdot \delta(\tilde{y} - G(\xi)) \, d\xi$$

Die Markov-Formel beschreibt unserem Wissen nach nur Variablentransformationen von Wahrscheinlichkeits-Dichtefunktionen der Statistik in einer kompakten mathematischen Darstellung (siehe auch Vorgehensweise in der Quantenmechanik oder stat. Physik bei Transformationen von Verteilungsfunktionen im Hilbert- oder Phasenraum). Sie ist äquivalent einer Transformation mit einer Jacobischen Determinante. Als Beispiel:

Transformation von  $\tilde{x}_1$  und  $\Phi \rightarrow$  nach  $\tilde{y} = \frac{\tilde{x}_1}{\Phi}$  mit  $\tilde{x}_1$ : Zählrate („wahrer“ Wert),

$\Phi$ : Nachweiswahrscheinlichkeit,  $\tilde{y}$ : Aktivität und  $\tilde{x}_1, \Phi : P(\tilde{x}_1, \Phi | x_1) = P(\Phi) \cdot P(\tilde{x}_1 | x_1)$  und  $x_1$  als Messwert, dann folgt

$$\text{Für } \tilde{y}, \Phi : P(\tilde{y}, \Phi | x_1) = \frac{1}{|J|} P_0(\Phi) \cdot P(\tilde{x}_1 | x_1) \Big|_{\tilde{x}_1 = \tilde{y} \cdot \Phi}$$

Die Transformationsvorschrift mit Jacobischer Funktionaldeterminante ist gegeben durch

$$|J| = \left| \frac{\partial \tilde{y}}{\partial \tilde{x}_1} \right|.$$

Ausintegrieren der Variablen  $\Phi$  ergibt die folgende mathematische Identität:

$$P(\tilde{y} | x_1) = \int d\Phi \frac{1}{|J|} P(\Phi) \cdot P(\tilde{x}_1 | x_1) \Big|_{\tilde{x}_1 = \tilde{y} \cdot \Phi} = \int d\Phi \int d\tilde{x}_1 \cdot P(\Phi) \cdot P(\tilde{x}_1 | x_1) \cdot \delta\left(\tilde{y} - \frac{\tilde{x}_1}{\Phi}\right)$$

Das Ergebnis  $P(\tilde{y} | x_1)$  der Anwendung der „Markov-Formel“ kann somit nicht für die Bestimmung einer Posteriori-Wahrscheinlichkeit  $P^*(\tilde{y} | x_1)$  gemäß dem Bayes'schen Satz stehen.

Es fehlen (!) nämlich: die Prior-Wahrscheinlichkeit  $P_0(\tilde{y})$  und die Likelihood von  $\tilde{y}$  d.h.  $P(x_1, \Phi | \tilde{y})$ . Die Methoden nach GUM1 bzw. Bayes führen deshalb notwendigerweise zu verschiedenen Ergebnissen!

#### 5. Unendliche Varianz bei reellen Messwerten?

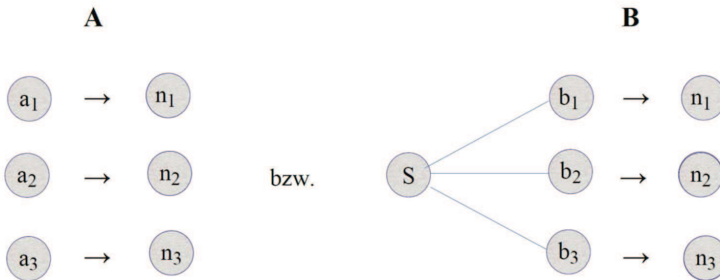
Es ist evident, dass jedes Bayes Problem mit einem geeigneten Prior und einer beschränkten Likelihood-Funktion zu einer realistischen Posterior Verteilung führen muss - falls die Daten

---

<sup>1</sup> Den Autoren ist unbekannt, welches Mitglied der Familie Markov sich mit Anwendungen von Delta-Distributionen einen Namen gemacht hatte.



natürlich nicht dem Modell widersprechen. Im Folgenden ist ein Beispiel einer Probenahme mit  $m=3$  Proben skizziert. Im Fall A sind die Proben  $a_i$  voneinander unabhängig, im Fall B sind die Proben  $b_i$  hierarchisch über die Quellstärke  $S$  (Aktivität) voneinander abhängig ( $n_i$  steht für die jeweils gemessenen Impulse, Skizze in Anlehnung an [3])



Für wiederholte zählende Messungen mit zufälligen Einflüssen gibt es nach DIN ISO 11929-1 [6] keine Möglichkeit die Unsicherheiten der Mittelwerte voneinander abhängiger Messungen  $b_i$  für eine Anzahl  $m \leq 3$  zu bestimmen:

$$\bar{n} = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m n_i; \quad u^2(\bar{n}) = \frac{1}{m} \left( \bar{n} + \frac{m-1}{m-3} \bar{n} + \frac{1}{m-3} \sum_{i=1}^m (n_i - \bar{n})^2 \right)$$

Im Fall A können wir sinnvoll die uns bekannte klassische Formel der Standardabweichung ansetzen. Im Fall B tut man sich hingegen schwer, sich vorzustellen, dass für  $m \leq 3$  keine endlichen Lösungen existieren sollten, zumal in der Praxis solche Fälle ja vielfach auftreten. Jaynes [3, Chap. 6] zeigte im Fall B, wie eine beliebige Anzahl  $m$  von Proben, die z.B. über eine Poisson-Verteilung hierarchisch von  $S$  abhängen, erfasst werden können. Poisson-Verteilung und Gauss-Verteilung sind grenzwertig miteinander so eng verbunden, dass auch eine endliche Lösung nach DIN ISO 11929-1 existieren sollte.

## 6. Messergebnisse, Zeitvorgabe oder Impulsvorgabe?

Statistisch verhält sich die Größe einer Zählrate  $\rho = n/t$ , bei der Messung die zu erreichende Impulszahl  $n$  fest vorgegeben wird gemäß einer sog. kontinuierlichen Erlang-Verteilung für  $t$ . Üblicherweise wird aber die Zeit  $t$  festgelegt, dann ist die Poisson-Verteilung für  $n$  zu verwenden. Die Ergebnisse sind i. Allg. verschieden. Es gilt für

$$t = T \text{ fest: } \text{Var}(n / T) = T^{-2} \cdot \text{Var}(n) = T^{-2} \cdot n = \rho / T \quad \rho = n/T, \text{ Poisson-Verteilung}$$

$$n = N \text{ fest: } \text{Var}(N / t) = N^2 \cdot \text{Var}(1 / t) = N^2 \cdot \rho^2 / ((N-2) \cdot (N-1)^2) \quad \rho = N/t, \text{ Erlang-Verteilung}$$

→  $\text{Var}(n / T) \neq \text{Var}(N / t)$ , insbesondere auch dann, falls zufällig die Rate  $\rho = N/T$

→  $\text{Var}(n / T) \approx \text{Var}(N / t)$  nur für sehr große Impulszahlen  $n \gg 1$  !

Hingegen ist ein ein Bayes-Modell z.B. für den wahren Wert  $\tilde{y}$  einer Aktivität unabhängig davon, ob einerseits die Zeit  $t$  mit dem Wert  $T$  gemessen wird und die Zerfälle  $n$  als Parameter  $N$  vorgegeben sind oder umgekehrt  $t$  als Parameter  $T$  festgehalten und  $n$  als die Anzahl  $N$  gemessen wird. Hier ein Beispiel für einen solchen Probeneffekt:

Einfachstes Modell z.B.  $Y = R_b - R_0$ , mit  $W=1, X_3 = 1, X_4 = 0$

Voraussetzungen	Daten D	Bedingung C	Modellinformation I0	$p(\tilde{y} \mid D, C, I_0)$
A: Zeitvorgabe	$n_0, n_b$	$t_0, t_b$	I0	$p(\tilde{y} \mid n_0, n_b, t_0, t_b, I_0)$
B: Impulsvorgabe	$t_0, t_b$	$n_0, n_b$	I0	$p(\tilde{y} \mid t_0, t_b, n_0, n_b, I_0)$

→ Aufgrund gleicher Voraussetzungen D, C, I0 (wobei D, C, I0 natürlich äquivalent zu C, D, I0 ist) müssen in beiden Fällen die Ergebnisse gleich sein! Falls sich aber für Zeitvorgabe bzw. bei Impulsvorgabe sich verschiedene Schlussfolgerungen bei gleichen Messwerten ergeben, dann müssen auch einige der Voraussetzungen voneinander abweichen (z.B. I0).

## 7. Literaturverzeichnis

- [1] G. Box, *Journal of the American Statistical Association*, 71 (356): 791–799, (1976),
- [2] H.H. Dubben, H.-P. Beck-Bornholdt, *Mit an Wahrscheinlichkeit grenzender Sicherheit*, Rowohlt (2011) ISBN: 978-3-644-44001-2
- [3] E.T. Jaynes, *Probability Theory, The Logic of Science*, Cambridge University Press, (2003)
- [4] J.M. Bernardo, A.F.M. Smith, *Bayesian Theory*, John Wiley&Sons, Chichester (1994)
- [5] J.N. Kapur, *Maximum-Entropy Models in Science and Engineering*, Wiley Eastern Limited, New Delhi (1989)
- [6] DIN ISO 11929-1
- [7] DIN ISO 11929-2
- [8] *Gum-Supplement 1*, JCGM 101:2008



## **AKU Umweltaktivität**



# ÜBERWACHUNG UND BILANZIERUNG VON I-123 IN DER FORTLUFT

## MONITORING OF I-123 DISCHARGE WITH AIR

Marcus Walter , Jana Scheibke, Michael Kaden

VKTA – Strahlenschutz, Analytik und Entsorgung Rossendorf e. V., Deutschland

### **Zusammenfassung**

*Die messtechnische Überwachung der Ableitung von I-123 (Halbwertszeit 13,2 h) mit Luft ist nur mittels kontinuierlicher Messung (Iodmonitor) möglich. Für eine korrekte Bilanzierung der Ableitung wird der radioaktive Zerfall von I-123 durch Nachauswertung berücksichtigt. Ebenso können Störeinflüsse durch die gleichzeitige Ableitung von PET-Nukliden (z. B. F-18) und Xe-123 korrigiert werden.*

### **Summary**

*Monitoring of I-123 discharges with air requires continuous measurements by using an iodine monitor. The radioactive decay of I-123 is considered by recalculating of the measured data. By this method, also the perturbation of the measurement by simultaneously F-18 or Xe-123 discharges can be corrected.*

**Schlüsselwörter** Iod-123, Fortluft, Emissionsüberwachung

**Keywords** iodine-123, emission monitoring

## **1. Einleitung**

Am Forschungsstandort Rossendorf (FSR) wird für die radiopharmazeutische Forschung und die Herstellung von Radiopharmaka das Radionuklid I-123 erzeugt und verarbeitet. Die Ableitung von I-123 mit der Fortluft aus den Anlagen bzw. Einrichtungen wird messtechnisch überwacht. Auf Grund der kurzen Halbwertszeit von I-123 (13,2 Stunden) ist dies nur mittels kontinuierlicher Messung mit einem Iodmonitor möglich.

## **2. Überwachung von I-123 mittels Iodmonitor**

Zur Messung der I-123 Konzentration in der Fortluft wird der Iodmonitor BAI 9103-4 der Firma Berthold Technologies GmbH & Co. KG verwendet. In dem Monitor wird aus einem Teilluftstrom kontinuierlich I-123 auf einer, mit Tetraethylenediamin imprägnierten, Aktivkohlekartusche abgeschieden. Die Aktivität von I-123 auf der Aktivkohlepatrone wird gammapektrometrisch mit einem  $^{22}\text{NaI(Tl)}$ -Szintillationsdetektor nach der „2-Fenster-Methode“ bestimmt:

$$A_t = w \cdot (r_A - 0,5 \cdot r_B) \quad (1)$$

$A_t$	Aktivität auf der Adsorberpatrone zum Zeitpunkt $t$ [Bq]
$w$	erweiterter Kalibrierfaktor
$r_A$	Bruttozählrate Kanal A ( $\pm 15\%$ des Photopeaks bei 159 keV)
$r_B$	Bruttozählrate Kanal B ( $\pm 30\%$ des Photopeaks bei 159 keV)

Vom zugehörigen Datenlogger wird aus der Aktivität und dem Volumendurchsatz nach der Differenzmethode die I-123 Aktivitätskonzentration sowie deren Erkennungsgrenze, Nachweisgrenze und Unsicherheit berechnet.

### 3. Bilanzierung mit Korrektur des radioaktiven Zerfalls

Bei der Differenzmethode wird zur Ermittlung der Konzentration der Aktivitätszuwachs zwischen zwei aufeinander folgenden Messintervallen ( $t_d$ ) auf das Probenvolumen im Messintervall bezogen. Eine Korrektur des radioaktiven Zerfalls des bereits abgeschiedenen I-123 wird von der Firmware des Iodmonitors nicht berücksichtigt (handelsübliche Iodmonitore sind meist für I-131 konzipiert, wo dies wegen der längeren Halbwertszeit keine Rolle spielt). Um eine korrekte Bilanzierung zu ermöglichen, werden die primären Messdaten auf Basis der Stundenmittelwerte mit Korrektur der Halbwertszeit unter Berücksichtigung der Vorgaben der DIN ISO 11929 [1] nach Gl. 2 nachberechnet.

$$c_d = f_k \cdot \frac{3.600 \cdot e^{\lambda \cdot t_{pn}}}{t_d \cdot \dot{V}_{IM}} \cdot (A_t - e^{-\lambda \cdot t_d} \cdot A_{t-t_d}) \quad (2)$$

mit

- $c_d$  mittlere Aktivitätskonzentration im Zeitraum  $t_d$  [Bq/m<sup>3</sup>]
- $f_k$  Korrekturfaktor für Energiekalibrierung / Peakshift
- $\lambda$  Zerfallskonstante von I-123,  $\lambda = \ln 2 / (3.600 \cdot 13,2 \text{ h})$
- $t_{pn}$  Zeitintervall für Zerfallskorrektur während der Probenentnahme [s]
- $\dot{V}_{IM}$  Volumenstrom des Iodmonitors [m<sup>3</sup>/h]
- $t_d$  Zeitintervall für Differenzbildung [s]
- $A_{t-t_d}$  Aktivität auf der Adsorberpatrone zum Zeitpunkt  $t - t_d$  [Bq]

Weiterhin wurden die Gleichungen für die charakteristischen Grenzen (Gl. 3 bis 5) angepasst.

Berechnung der Erkennungsgrenze der I-123 Konzentration  $c_d^*$ :

$$c_d^* = f_k \cdot \frac{3.600 \cdot w \cdot e^{\lambda \cdot t_{pn}}}{t_d \cdot \dot{V}_{IM}} \cdot k_{1-\alpha} \cdot \sqrt{\frac{r_{A,v} + (e^{-\lambda \cdot t_d})^2 \cdot r_{A,v}}{t_m} + 0,5^2 \cdot \frac{r_{B,t} + (e^{-\lambda \cdot t_d})^2 \cdot r_{B,v}}{t_m}} \quad (3)$$

$k_{1-\alpha}$  Faktor für die statistische Sicherheit  $k_{1-\alpha} = 1,645$

Berechnung der Nachweisgrenze der I-123 Konzentration  $c_d^\#$ :

$$c_d^\# = \frac{2 \cdot c_d^* + k_{1-\beta}^2 \cdot \frac{f_k \cdot w \cdot e^{\lambda \cdot t_{pn}}}{t_d \cdot \dot{V}_{IM}}}{1 - k_{1-\beta}^2 \cdot u_{rel}^2(w')} \quad (4)$$

$u_{rel}^2(w')$  relative Unsicherheit des erweiterten Kalibrierfaktors

Berechnung der Unsicherheit (Typ A) der I-123 Konzentration  $u_A(c_d)$ :

$$u_A(c_d) = f_k \cdot \frac{3.600 \cdot w \cdot e^{\lambda \cdot t_{pn}}}{t_d \cdot \dot{V}_{IM}} \cdot \sqrt{\frac{r_{A,t} + (e^{-\lambda \cdot t_d})^2 \cdot r_{A,v}}{t_m} + 0,5^2 \cdot \frac{r_{B,t} + (e^{-\lambda \cdot t_d})^2 \cdot r_{B,v}}{t_m}} \quad (5)$$

Bei der Nachberechnung werden zunächst nur die Typ A Unsicherheiten (Zählstatistik) erfasst. Diese werden für den Bilanzierungszeitraum der Berichterstattung (Quartal, Jahr) aufsummiert. Erst danach werden die Typ B Unsicherheiten (Kalibrierung, etc.) angebracht. Damit wird vermieden, dass die Typ B Unsicherheiten bei hoher Anzahl von Messwerten durch die Gauß'sche Fehlerfortpflanzung herausgemittelt werden. Eine Korrektur der Messwerte hinsichtlich des Peakshifts ist bei regelmäßiger Kontrolle der Energiekalibrierung in der Regel nicht notwendig.

Abb. 1 zeigt den Einfluss der Zerfallskorrektur auf die Konzentration, Erkennungsgrenze und die bilanzierte Ableitung von I-123. Während starke Kurzzeitemissionen auch ohne Korrektur gut erkannt werden, wirkt sich die Zerfallskorrektur insbesondere auf langanhaltende, geringe Konzentrationen bei hoher Filterbelastung aus. Die bisherige Betriebserfahrung zeigt, dass ohne Korrektur des radioaktiven Zerfalls nur ca. die Hälfte der Ableitung messtechnisch erfasst wird.

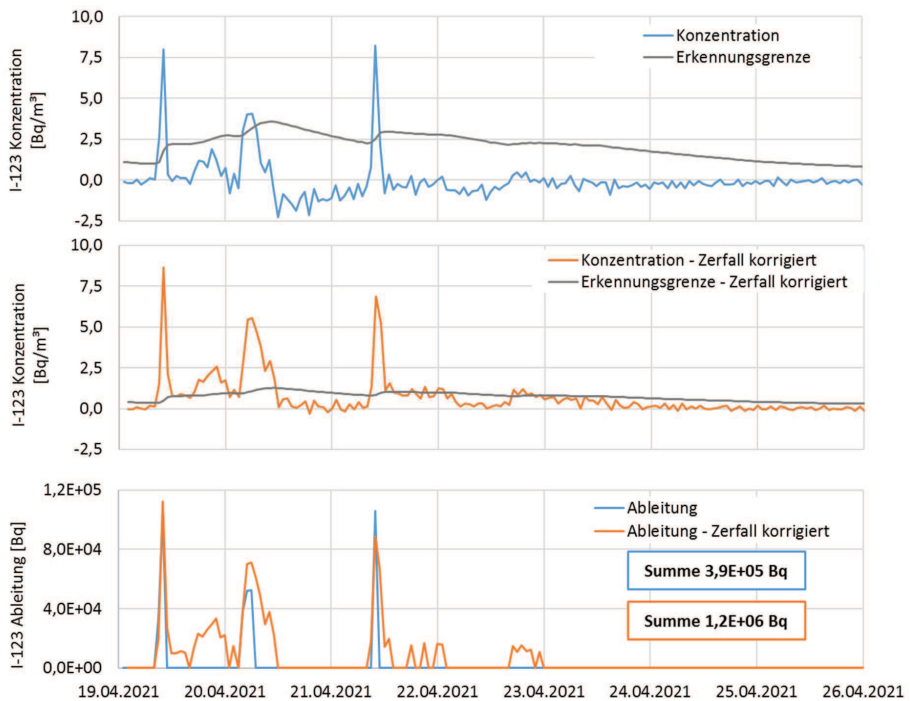


Abb. 1: Einfluss der Zerfallskorrektur auf die Aktivitätskonzentration, Erkennungsgrenze und bilanzierte Ableitung von I-123

#### 4. Korrektur von Störeinflüssen durch PET-Nuklide und Xe-123

In einer Einrichtung am FSR werden außer I-123 auch Radionuklide für die Positron-Emissions-Tomographie (PET) wie C-11 und F-18 erzeugt und verarbeitet. Insbesondere das Radionuklid F-18 wird als Halogenid ebenfalls mit auf der Aktivkohlekartusche abgeschieden und stört die korrekte Messung von I-123. Als weiteres Störnuklid tritt Xe-123 auf, welches ähnliche Gammaenergien wie I-123 hat.



Von Vorteil ist, dass F-18 und Xe-123 wesentlich kürzere Halbwertszeiten als I-123 haben. In diesem Fall wird die Bilanzierung von I-123 auf Basis des Stundenmittelwertes für 04 Uhr MEZ durchgeführt. Zu diesem Zeitpunkt ist das am Vortrag erzeugte F-18 fast vollständig abgeklungen und eine neue Erzeugung bzw. Verarbeitung von Radionukliden hat noch nicht stattgefunden. Das innerhalb von 24 Stunden gesammelte I-123 wird dann (zerfallskorrigiert) auf Tagesbasis bilanziert. Mit diesem verlängerten Bilanzierungsintervall werden auch die Erkennungs- bzw. Nachweisgrenze deutlich verringert. Der Störeinfluss und die Korrektur sind in Abb. 2 beispielhaft dargestellt.

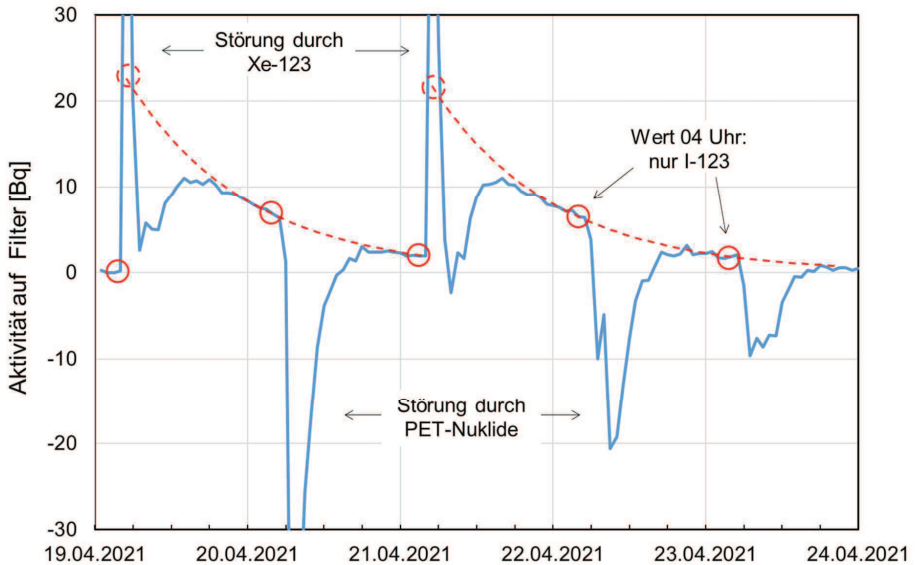


Abb. 2: Störeinfluss von PET-Nukliden und Xe-123 auf die I-123 Messung

## 5. Literaturverzeichnis

[1] Kerntechnischer Ausschuss, Sachstandsbericht KTA-GS-82 „Bestimmung der charakteristischen Grenzen (Erkennungsgrenze, Nachweisgrenze und Grenzen des Vertrauensbereichs) bei Kernstrahlungsmessungen nach DIN ISO 11929 (2011-01), Anwendungsbeispiele für die KTA-Regeln der Reihe 1500, Revision 1, November 2016

# **<sup>137</sup>CS UND <sup>90</sup>SR AUF DER SPUR – SPURENANALYSE ZUR ÜBERWACHUNG DER RADIOAKTIVITÄT IN DER UMWELT AM BUNDESAMT FÜR STRAHLENSCHUTZ**

## **ON THE TRAIL OF CS-137 AND SR-90 – TRACE ANALYSIS TO MONITOR RADIOACTIVITY IN AIR AT THE GERMAN FEDERAL OFFICE FOR RADIATION PROTECTION**

Sandra Baur, Sabine Schmid, Jacqueline Bieringer, Andreas Bollhöfer

*Bundesamt für Strahlenschutz, Atmosphärische Radioaktivität und Spurenanalyse, Deutschland*

### **Zusammenfassung**

*Im Rahmen des Integrierten Mess- und Informationssystem zur Überwachung der Radioaktivität in der Umwelt (IMIS) ist das Bundesamt für Strahlenschutz (BfS) für die Bestimmung der Aktivitätskonzentrationen aerosolpartikel-gebundener Radionuklide im Rahmen der Spurenanalyse zuständig [1]. Das Fachgebiet Atmosphärische Radioaktivität und Spurenanalyse ist sowohl für die Probenentnahmen in Freiburg i.Br. und auf dem Schauinsland als auch für die Spurenanalyse von  $\alpha$ -,  $\beta$ -, und  $\gamma$ -Strahlern in diesen Proben verantwortlich. Hierzu zählt u.a. die gammaspektrometrische Messung von Cs-137 ebenso wie die aufwändige radiochemische Aufbereitung, Abtrennung und anschließende Messung von Sr-90 mit einem Low Level  $\alpha/\beta$ -Counter.*

*Die angewandten Verfahren ermöglichen es, nicht nur geringste Mengen dieser radioaktiven Stoffe in der Umwelt nachzuweisen, sondern auch deren Herkunft, Verteilung und Transport in der Umwelt zu untersuchen. Mittlere Aktivitätskonzentrationen (Median) über den gesamten Probenzeitraum in der bodennahen Luft für Cs-137 und Sr-90 sind  $0,43 \mu\text{Bq m}^{-3}$  bzw.  $0,06 \mu\text{Bq m}^{-3}$ . Die Nachweisgrenzen für Cs-137 liegen aktuell in den Wochenproben im Mittel bei  $0,17 \mu\text{Bq m}^{-3}$  und in den Monatsproben für Sr-90 bei  $0,02 \mu\text{Bq m}^{-3}$ . Die beiden Radionuklide sind ausschließlich anthropogenen Ursprungs und stammen überwiegend aus zurückliegenden oberirdischen Kernwaffentests oder dem Reaktorunfall in Tschernobyl. Die Radionuklide werden bspw. durch Bodenbearbeitung im Frühjahr, Holzverbrennung in den Wintermonaten, Waldbrände oder Sandstürme resuspendiert und können dann in der bodennahen Luft nachgewiesen werden. Die Spurenanalyse dient somit dazu, kurz- und langfristige Änderungen der Radioaktivität in der Umwelt auf niedrigstem Aktivitätsniveau zu verfolgen.*

### **Summary**

*The German Federal Office for Radiation Protection is responsible for the trace analysis of aerosol bound particulates within the framework of the German Integrated Measurement and Information System for Monitoring Radioactivity in the Environment (IMIS) [1]. The Atmospheric Radioactivity and Trace Analysis section is in charge of sampling in Freiburg i.Br. and on Mt. Schauinsland, and of sample preparation and analysis of  $\alpha$ -,  $\beta$ -, and  $\gamma$ -emitters in the samples. This includes the gamma spectrometric measurement of Cs-137 as well as the complex radiochemical preparation, separation and subsequent measurement of Sr-90 with a Low Level  $\alpha/\beta$ -Counting System.*

*The methods applied allow to detect smallest amounts of these radioactive substances as well as to investigate their origin, distribution and transport in the environment. For the entire sample period, mean activity concentrations (median) in ground-level air for Cs-137 and*

*Sr-90 are 0.43  $\mu\text{Bq m}^{-3}$  and 0.05  $\mu\text{Bq m}^{-3}$ , respectively. The detection limit (LOD) for Cs-137 is currently on average 0.17  $\mu\text{Bq m}^{-3}$  in weekly samples, and 0.02  $\mu\text{Bq m}^{-3}$  in monthly samples for Sr-90. The two radionuclides are exclusively anthropogenic and originate predominantly from past aboveground nuclear weapons tests or the reactor accident in Chernobyl. The radionuclides are resuspended, for example, during soil cultivation in spring, wood fires in winter, wildfires or sandstorms, and can then be detected in the near-ground air. Thus, trace analysis is used to track short- and long-term changes in radioactivity in the environment at lowest activity levels.*

**Schlüsselwörter** Atmosphärische Radioaktivität, Spurenanalyse, Cs-137, Sr-90

**Keywords** Atmospheric Radioactivity, Trace Analysis, Cs-137, Sr-90

## 1. Einleitung

Mit hochempfindlichen physikalischen Messsystemen ist es in den teils akkreditierten Laboren des Fachgebiets Atmosphärische Radioaktivität und Spurenanalyse am Bundesamt für Strahlenschutz (BfS) möglich, geringste Spuren radioaktiver Stoffe zu detektieren. Dabei kann unterschieden werden, ob die nachgewiesenen radioaktiven Spuren natürlichen oder künstlichen Ursprungs sind. In diesem Zusammenhang gehört es unter anderem zu den Aufgaben des BfS deren Herkunft, Verteilung und Transport in der Umwelt zu untersuchen und kurz- und langfristige Änderungen in der Umwelt auf niedrigstem Aktivitätsniveau zu verfolgen. Ziel soll es sein, im Zuge der gesetzlichen Aufgaben, radioaktive Stoffe in der Umwelt kontinuierlich zu überwachen und kurz- oder langfristige Änderungen auf niedrigstem Aktivitätsniveau zu erkennen und so ggf. auch verdeckte nukleare Aktivitäten nachzuweisen. So ist das BfS einerseits im Rahmen des Integrierten Mess- und Informationssystem zur Überwachung der Radioaktivität in der Umwelt (IMIS) für die Bestimmung der Aktivitätskonzentrationen aerosolpartikel-gebundener Radionuklide zuständig. Andererseits ist es maßgeblich an der Überwachung des weltweiten Stopps von Kernwaffenversuchen beteiligt, dessen gesetzliche Grundlage der Vertrag zur Überwachung des Kernwaffenteststoppabkommens (CTBT) ist. Cs-137 und Sr-90 sind ausschließlich anthropogenen Ursprungs und stammen überwiegend aus zurückliegenden oberirdischen Kernwaffentests oder dem Reaktorunfall in Tschernobyl. Die Radionuklide werden bspw. durch landwirtschaftliche Bodenbearbeitung, Holzverbrennung in den Wintermonaten, Waldbrände oder Sandstürme resuspendiert und können dann in der bodennahen Luft nachgewiesen werden.

## 2. Anforderungen an die Spurenanalyse und Methoden am BfS

Um zuverlässige und reproduzierbare Ergebnisse im Rahmen der Spurenanalyse von Cs-137 und Sr-90 zu erzielen und den gesetzlichen Anforderungen und unterschiedlichen Messprogrammen gerecht zu werden, müssen niedrige Nachweisgrenzen (NWG) erreicht werden. Beispielsweise werden im Programm für die Überwachung der Umweltradioaktivität durch Verwaltungsbehörden des Bundes nach § 11 StrVG [1] für die Bestimmung aerosolpartikel-gebundener Radionuklide NWG von 0,3  $\mu\text{Bq m}^{-3}$  für die Gammaskopimetrie (bezogen auf Co-60) und 1  $\mu\text{Bq m}^{-3}$  für die Sr-90 Bestimmung angegeben.

In den Laboren im Fachgebiet Atmosphärische Radioaktivität und Spurenanalyse wird dies durch die Optimierung der Probennahme (Vergrößerung des Probenvolumens), der Detektorempfindlichkeit, der Messzeit und durch eine effiziente Probenaufbereitung (radiochemischer Trennungsgang) erreicht.

Der für die Spurenanalyse von Cs-137 und Sr-90, benötigte Luftstaub aus der bodennahen Luft wird mit Hilfe von Hochvolumensammlern auf Großflächenfiltern akkumuliert. Der Großflächenfilter besteht aus einem Polypropylen Oberfilter mit Stützzvlies und einem Glasfaserfilter. Die Probenentnahme erfolgt sowohl an der Messstation Schauinsland als auch auf dem Dach der Dienststelle Freiburg i.Br. Der Luftdurchsatz beträgt in der Regel ca.  $900 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1}$  und der Sammelzeitraum eine Woche. Im radiologischen Ereignisfall ist eine Verkürzung des Sammelzeitraums bis hin zu täglicher Probenahme vorgesehen. Nach der Besaugung wird zunächst der Großflächenfilter nach einer festgelegten Vorgabe gefaltet und in einer geschlossenen PE-Tüte mit Probenlaufzettel ins Labor transportiert.

In dem nach DIN EN ISO/IEC 17025:2018 akkreditierten Gammaskpektrometrie-Labor erfolgt die Messung der Aktivitätskonzentrationen der verschiedenen gammastrahlenden Radionuklide, inklusive Cs-137, mit stickstoffgekühlten, hochempfindlichen Reinstgermaniumdetektoren. Die Detektoren besitzen eine Bleiabschirmung, zur Reduzierung der überall vorhandenen Umgebungsstrahlung, so dass ein geringer Untergrund gewährleistet wird. Die Stabilität der Elektronik wird durch die Verwendung einer digitalen Signalverarbeitung und die Klimatisierung im Labor sichergestellt, damit empfindliche Messungen durch lange Messzeiten durchgeführt werden können.

Es werden sowohl gammaskpektrometrische Vorabmessungen als auch Routinemessungen der Luftstaubfilter durchgeführt. Für die Vorabmessungen werden die gefalteten Großflächenfilter verwendet. Eine Effizienzkalibrierung der Messgeometrie ist nicht erforderlich, da es sich um eine qualitative Bewertung der Messprobe handelt. Die Vorabmessungen dienen dazu, auftretende hohe Aktivitätskonzentrationen oder „ungewöhnliche“ anthropogene Radionuklide zeitnah nach der Probenentnahme nachzuweisen.

Für die Routinemessung wird der Polypropylen Oberfilter vom Stützzvlies und vom Glasfaserfilter getrennt. Anschließend werden die Filter mit einer Hydraulikpresse zu dünnen Filtertabletten gepresst. Das Pressen dient dazu eine reproduzierbare Messgeometrie zu erhalten und hat damit direkten Einfluss auf die Empfindlichkeit. Die Routinemessungen dienen zum Nachweis anthropogener Radionuklide, welche in geringen Konzentration vorkommen. Im Routinebetrieb liegen in der Regel zwischen dem Ende der Besaugung des Filters und der Routinemessung zwei Tage, um durch das Abklingen kurzlebiger natürlicher Radonfolgeprodukte den Untergrund in den Spektren zu reduzieren. Im Ereignisfall können kürzere Abklingzeiten vorgegeben werden, um eine beschleunigte Analyse der Filter vornehmen zu können. Die Standardmessdauer der Vorabmessung beträgt zwei Stunden, die Routinemessungen zwei Tage.

Im Rahmen der Qualitätskontrolle erfolgt monatlich die Überprüfung der Energiekalibrierung und Halbwertsbreite, sowie der Ausbeute mit Hilfe eines Eu-152- Präparates. Die Qualität und Genauigkeit der Ausbeutefunktion bestimmt wesentlich die Qualität der Auswertungen. Daher sollten Geometrie, Matrix, Aktivität und Energiebereich für die Kalibrierung möglichst denen der späteren Messungen ähneln. Zur Kalibrierung der Ausbeute werden daher in der Regel mit Referenzlösungen dotierte Filter, mit rückführbaren Aktivitäten, verwendet, die in dieselbe Messgeometrie gebracht werden wie die zu messenden Proben.

Im Gegensatz zu den Gammastrahlern haben Betastrahler ein geringes Durchdringungsvermögen durch Materie. Die Energien der Betastrahler sind nicht diskret und damit charakteristisch für das entsprechende Radionuklid, weshalb eine Integralmessung erfolgt. Eine direkte, rein physikalische Messung mit niedrigen NWG von Betastrahlern, wie Sr-90, ist nahezu unmöglich, weshalb im Radiochemielabor aufwändige radiochemische Trennverfahren angewandt werden (

Abb. 1). Durch die Veraschung wird der hohe Anteil an organischer Matrix im Oberfilter der Wochenproben reduziert. Vor der eigentlichen radiochemischen Abtrennung und Reinigung

werden die Wochenproben der Oberfilter zu Monatsproben zusammengeführt. Anschließend werden die Monatsproben aufgeschlossen, um somit die Radionuklide in eine großvolumige Lösung zu überführen. Mit Hilfe der Extraktionschromatographie wird ein großer Teil der störenden Radionuklide und der inaktiven Probenmatrix abgetrennt und das Sr-90 angereichert. Zur Bestimmung der Aktivitätskonzentration von Sr-90 wird ein festes Messpräparat, bestehend aus einem Filterkuchen (ca. 5 cm Ø), hergestellt. Das Messpräparat wird anschließend in einem Low Level  $\alpha/\beta$ -Counter analysiert. Die Standardmessdauer beträgt 5 Tage und im Routinebetrieb wird die Sr-90 Messung am gleichen Messpräparat nach zwei und sechs Wochen wiederholt.

In der Radiochemie zählt zu den Qualitätssicherungsverfahren die Bestimmung der radiochemischen Ausbeuten, sowie die Ermittlung der Nulleffektbeiträge und der radiochemischen Blindwerte, welche einen erheblichen Aufwand erfordern und berücksichtigt werden müssen.

Nationale und internationale Vergleichsmessungen dienen sowohl im Gammaskpektrometrielabor als auch im Radiochemielabor, der externen Qualitätskontrolle und ermöglichen die Bewertung der Eignung der angewandten Methoden.

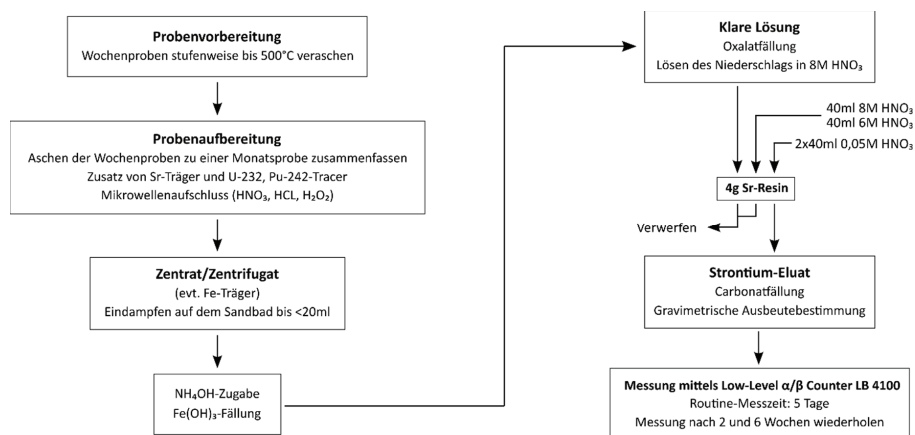


Abb. 1 Schematische Darstellung des Verfahrens zur Trennung von Strontium für die Spurenanalyse.

### 3. Ergebnisse

Abb. 3 zeigt die Aktivitätskonzentrationen in der bodennahen Luft von Cs-137 im Zeitraum von 1989 (dem Gründungsjahr des BfS) bis 2022 an der Messstation Schauinsland. Die erhöhte Aktivitätskonzentration, die durch den Reaktorunfall von Tschernobyl verursacht wurde und an der Messstation Schauinsland im Mai 1986 einen Maximalwert von  $5 \text{ Bq m}^{-3}$  aufwies, nahm im Laufe der Jahre ab und erreichte in den letzten 10 Jahren der Aufzeichnung einen nahezu stabilen jährlichen Durchschnittswert (Median) von  $0,26 \mu\text{Bq m}^{-3}$ . Die Nachweisgrenze für Cs-137 liegt in den Wochenproben aktuell (Stand 2022) im Mittel bei  $0,13 \mu\text{Bq m}^{-3}$ . In unregelmäßigen Abständen werden höhere Aktivitätskonzentrationen gemessen, welche hauptsächlich durch Resuspension verursacht werden, beispielsweise sind die erhöhten Messwerte (Faktor 10) im Jahr 1992 auf einen Waldbrand in der Sperrzone zurückzuführen. In den darauffolgenden Jahren wurde eine ähnlich hohe Cs-137 Aktivitätskonzentration mit  $18 \mu\text{Bq m}^{-3}$  nur im Jahr 1998 detektiert, als Folge einer Cs-137-Emission aus einem Stahlwerk

in Algeciras (Spanien). Weitere Resuspensionsereignisse, mit wesentlich geringeren gemessenen Aktivitätskonzentrationen ( $6 \mu\text{Bq m}^{-3}$ ), wurden 1999 und 2003 beobachtet. Der Unfall von Fukushima 2011 hatte im Aufzeichnungszeitraum die höchsten am Schauinsland gemessenen Aktivitätskonzentrationen zur Folge mit  $96 \mu\text{Bq m}^{-3}$  in einer Tagesprobe. Der Anstieg der Cs-137 Aktivitätskonzentrationen ist teilweise auch bedingt durch den Eintrag von Saharastaub. Auch lokale Ereignisse, wie die Bodenbearbeitung in Trockenperioden und die daraus resultierende Resuspension des im Boden deponierten Cs-137 oder das Verbrennen von mit Cs-137 belasteten Holzpellets während der Heizperiode können zu einer Erhöhung führen.

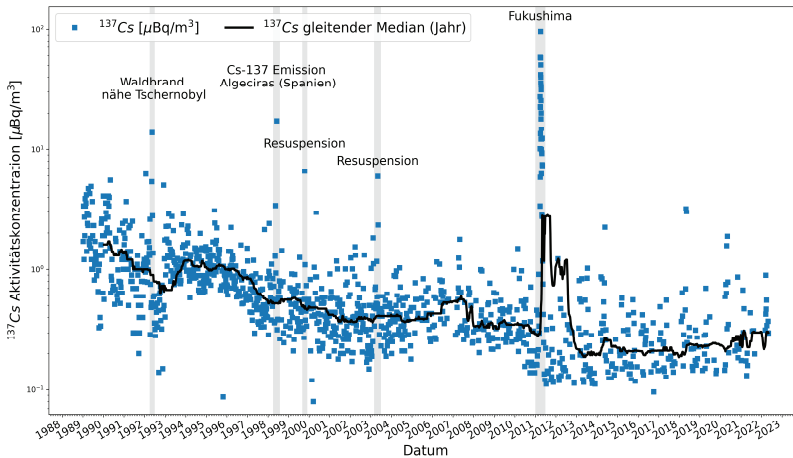


Abb. 2 Aktivitätskonzentrationen von Cs-137 in der bodennahen Luft an der Messstation Schauinsland ( $n=1325$ ). Die durchgezogene schwarze Linie stellt den jährlichen, gleitenden Median von Cs-137 über den gesamten Probenzeitraum dar.

Die Aktivitätskonzentrationen von Sr-90 im Zeitraum von 2003-2021 für die analysierten Monatsproben an der Messstation Schauinsland (Abb. 3) zeigen weitestgehend denselben Verlauf wie die Cs-137 Aktivitätskonzentrationen. Im dargestellten Zeitraum sind die Aktivitätskonzentrationen (Median) für Sr-90 geringer und liegen seit der regelmäßigen Analyse ab 2017 bei  $0,03 \mu\text{Bq m}^{-3}$ . In den Monatsproben wird für Sr-90 in den aktuellen Proben (Stand 2020/21) eine Nachweisgrenze von  $0,008 \mu\text{Bq m}^{-3}$  erreicht. Die erhöhten Sr-90-Messwerte sind auch hier bspw. auf Resuspensionen in Folge von Waldbränden nach dem Unfall von Tschernobyl zurückzuführen oder sind durch den Eintrag von resuspendierten Spaltprodukten aus Kernwaffentest durch Saharastaub bedingt.

Das Cs-137/Sr-90 Verhältnis der Aktivitätskonzentrationen in den Jahren 2003 bis 2021 lag zwischen 0,28 und 20,9. Geringere Cs-137/Sr-90 Verhältnisse sind charakteristisch für den weltweiten Fallout nach den Atombombentests im Sammelzeitraum 1956 bis 1985 [2]. Wesentlich höhere Cs-137/Sr-90 Verhältnisse wurden nach den Reaktorunfällen in Tschernobyl oder Fukushima gemessen [3,4]. Mittlere Cs-137/Sr-90 Verhältnisse an der Messstation Schauinsland kommen durch die bereits für Cs-137 und Sr-90 beschriebenen regionale (Bodenbearbeitung und Verbrennung von Holzpellets), aber auch internationale (Waldbrände in der Nähe von Tschernobyl) Resuspensionsereignisse zustande.

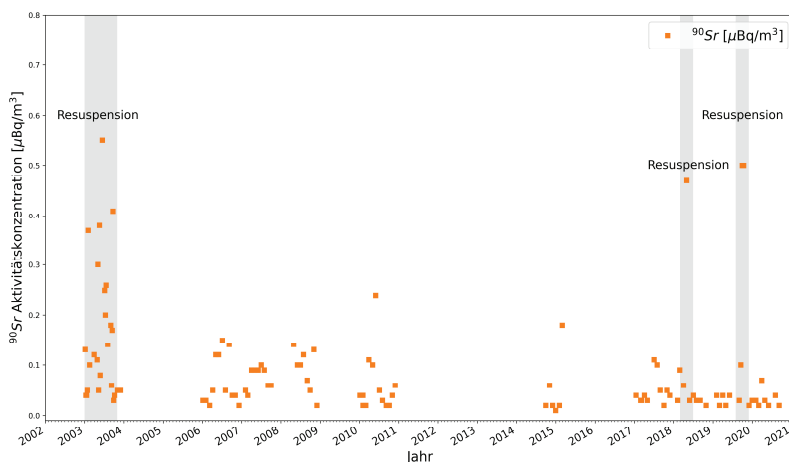


Abb. 3 Spezifische Aktivität von Sr-90 in der bodennahen Luft an der Messstation Schauinsland (n=139).

## 4. Danksagung

Ein besonderer Dank geht an unsere Kollegen\*innen im Fachgebiet RN6. Insbesondere an unsere Mitarbeiter Andreas Zehr und Richard Kern für die Bearbeitung der Filter, sowie an unseren Labormitarbeiter Hannes Knüppel, für die Bearbeitung der Proben im Radiochemielabor.

## 5. Literaturverzeichnis

- [1] Allgemeine Verwaltungsvorschrift zum Integrierten Mess- und Informationssystem zur Überwachung der Radioaktivität in der Umwelt nach dem Strahlenschutzvorsorgegesetz (AVV-IMIS) vom 13. Dezember 2006 (BAnz. 2006, Nr. 244a)
- [2] Storebø, P. B. (1959). Orographical and climatological influences on deposition of nuclear-bomb debris. *Journal of Atmospheric Sciences*, 16(6), 600-608. [https://doi.org/10.1175/1520-0469\(1959\)016<0600:OACIOD>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0469(1959)016<0600:OACIOD>2.0.CO;2)
- [3] Zhang, Z., Ninomiya, K., Yamaguchi, Y., Kita, K., Tsuruta, H., Igarashi, Y., & Shinohara, A. (2018). Atmospheric activity concentration of <sup>90</sup>Sr and <sup>137</sup>Cs after the Fukushima Daiichi nuclear accident. *Environmental Science & Technology*, 52(17), 9917-9925. <https://doi.org/10.1021/acs.est.8b01697>
- [4] Irlweck, K., Khademi, B. (1993) 239(240), 238Pu, <sup>90</sup>Sr, <sup>103</sup>Ru and <sup>137</sup>Cs concentrations in surface air in Austria due to dispersion of Chernobyl releases over Europe. *Journal of Environmental Radioactivity* 20, 133-148. [https://doi.org/10.1016/0265-931X\(93\)90038-9](https://doi.org/10.1016/0265-931X(93)90038-9)

## **RADIOÖKOLOGISCHE UNTERSUCHUNG EINER ALTLAST IN SÜDDEUTSCHLAND**

Frederike Dohrmann, Lena Drieling, Stefan Bister, Clemens Walther

*Institut für Radioökologie und Strahlenschutz Leibniz Universität Hannover*

Im Frühjahr 2021 wurde in dem Internet-Blog [www.opengeiger.de](http://www.opengeiger.de) über eine erhöhte Ortsdosisleistung entlang des Hirschgrabens berichtet, der als Vorfluter am östlichen Rand des KIT Campus Nord verläuft und über sechs Sandfänge das Regenwasser-Netz des Campus ableitet. Zur Überprüfung wurden durch die Abteilung Sicherheit und Umwelt (SUM) des Karlsruher Instituts für Technologie (KIT) Messungen und Probenahmen am Hirschgraben vorgenommen, die besonders an Sandfang V erhöhte Dosisleistungen von bis zu 300 nSv/h ergaben. Das abschließende Ergebnis des KIT-Berichts an die Aufsichtsbehörde Umweltministerium Baden-Württemberg lautete jedoch, dass eine Gefährdung von Mensch und Umwelt durch die Kontamination gänzlich ausgeschlossen werden konnte.

Um zusätzliche Informationen zu der Kontamination zu gewinnen, wurden im Juni 2021 durch Mitarbeiter des Instituts für Radioökologie und Strahlenschutz (IRS) Hannover Bodenproben am Sandfang V entnommen, welche im Rahmen einer Bachelor- und einer Masterarbeit untersucht werden sollten. Gammaspktrometrische Analysen von Cs-137 und Am-241 und erste alphaspektrometrische Ergebnisse zu Pu-238 und Pu-239/240 sollten genaueren Aufschluss über die Ursache der Kontamination geben. Erste Ergebnisse dieser Untersuchungen wurden von Lena Drieling im Rahmen der AKU-107 Sitzung im März 2022 vorgestellt. Es wurden erste Annahmen zum Hergang der Kontamination getroffen, die sich auf die im Bericht des KIT zusammengetragenen möglichen Kontaminationsereignisse beziehen.

Diese, sowie die Ergebnisse der vollständigen alphaspektrometrischen Untersuchung der Bodenproben sollen hier vorgestellt werden. Des Weiteren werden Ergebnisse zu den Versuchen gezeigt, mittels Flüssigzintillationsspektrometrie (engl. Liquid Scintillation Counting, LSC) den Pu-241 Gehalt quantitativ zu ermitteln, um über eine Zerfallskorrektur zum Am-241 eine Abschätzung über das Alter der Verunreinigung zu ermöglichen.





**YP**  
**Young Professionals**



# ERKENNUNG UND QUANTIFIZIERUNG VON ANOMALIEN IN ODL-MESSREIHEN DER UMWELTRADIOAKTIVITÄT MIT HILFE VON KÜNSTLICHER INTELLIGENZ

Harald Breitzkreutz<sup>1</sup>, J. Mayr<sup>1</sup>, M. Bleher<sup>2</sup>, S. Seifert<sup>2</sup>, U. Stöhlker<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Scienta Envinet, <sup>2</sup>Bundesamt für Strahlenschutz, <sup>3</sup>ehemals Bundesamt für Strahlenschutz

ODL-Sonden sind das weitverbreitetste Werkzeug zur kontinuierlichen Überwachung der Umweltradioaktivität. Sie sind günstig in Beschaffung und Betrieb und im Allgemeinen wartungsarm. Da keine spektrale Information vorliegt, ist die Grenze zur Erkennung von Unregelmäßigkeiten jedoch entsprechend hoch, üblicherweise werden hier etwa 20 nSv/h angesetzt. Die Alarmierungsgrenzen werden insbesondere von niederschlagsinduzierten Signalspitzen limitieren.

Durch die Hinzunahme von Wetterdaten und eine geeignete Abfolge von Algorithmen aus der Domäne des maschinellen Lernens und der künstlichen Intelligenz soll die Grenze zur Erkennung von Unregelmäßigkeiten abgesenkt werden, bei mindestens gleichbleibender Zuverlässigkeit. Die Algorithmen sind so auszulegen, dass ein integriertes Sicherheitsnetz falsch negative Ergebnisse minimiert, d.h. die Wahrscheinlichkeit, nicht-natürliche Erhöhungen der ODL als normal zu klassifizieren bzw. zu übersehen, minimal ist.

Eine solche Algorithmenfolge wurde in einem Forschungsprojekt der Scienta Envinet und des Bundesamts für Strahlenschutz erarbeitet, implementiert und getestet. Der erste Schritt besteht in der Zusammenführung der ODL-Daten (BfS) mit den zugehörigen Wetterdaten (DWD). Danach werden mittels Regression eines Niederschlagsmodells die ODL-Spitzen der ausgewaschenen Radonfolgeprodukte entfernt, sofern eine Prüfung der Regressionsparameter eine hinreichende Übereinstimmung mit vergangenen Niederschlagsereignissen am Messort ergibt.

Mit Hilfe der Wetterdaten wird sodann durch ein neuronales Netz der Erwartungswert der verbliebenen ODL-Reihe für die vorherrschenden Verhältnisse berechnet. Auf der Differenz von Soll- und Ist-Wert wird sodann eine Anomalieerkennung ausgeführt. Hierbei kommen die statistische Extremwerttheorie und hierarchisches Clustern, d.h. das gezielte Zusammenführen und Vergleichen von Untersequenzen zum Einsatz. Durch die Kombination der beiden Erkennungsmethoden wird das Spektrum an Unregelmäßigkeiten möglichst empfindlich abgedeckt.

Die Algorithmen wurden implementiert und mit realen Messdaten trainiert. Zur Verifizierung wurden die Daten mit den Ergebnissen aus JRODOS-Simulationen von Kernkraftwerksunfällen ergänzt.

Zusammengenommen kann mit der vorgestellten Methodik die Grenze zu Erkennung von Unregelmäßigkeiten auf etwa 4 nSv/h abgesenkt werden, d.h. etwa einen Faktor 5 unter dem bisherigen Konsenswert. Darüber hinaus quantifiziert der Algorithmus die Höhe der ODL-Unregelmäßigkeit auch, was weitergehende Analysen ermöglicht.



## **Diskussionsrunden**



## **DISKUSSIONSRUNDE 1: WEITERENTWICKLUNG IM STRAHLENSCHUTZ – ERWARTUNGEN AN DIE ICRP**

Moderator: Hansruedi Völkle

Für die von der ICRP angekündigte Erneuerung des Systems der Empfehlungen im Strahlenschutz sollten wir uns zu folgenden Punkten Gedanken machen: Wollen wir (endlich) eine einheitlich und international abgestimmte Regelung für Radon im Wohnbereich ? Entspricht die LNT-Hypothese noch dem heutigen Stand des Wissens? Wie weit nach unten soll der Bereich der Optimierung gehen, also unterhalb welcher Dosis (Bevölkerung und am Arbeitsplatz) sind keine weiteren Massnahmen mehr erforderlich? Was verstehen wir unter „reasonable“ beim ALARA-Grundsatz? Diese Themen sollen kontrovers diskutiert werden.

### **EIN AMPELMODELL FÜR DEN STRAHLENSCHUTZ**

#### **A TRAFFIC LIGHT MODEL FOR RADIATION PROTECTION**

Hansruedi Völkle

*Bis 2009: Abteilung Strahlenschutz, Schweizer Bundesamt für Gesundheit (BAG), Bern  
und bis 2106: Physikdepartement, Universität Freiburg/Schweiz*

#### **Zusammenfassung**

*Der Strahlenschutz steht heute auf hohem Niveau. Das soll uns aber nicht davon abhalten, weiter an dessen Verbesserung und Optimierung zu arbeiten. Ein Schritt in diese Richtung könnte ein Ampelmodell für den Strahlenschutz sein. Rot bedeutet dabei: Stopp und Gefahr; Gelb: Achtung, hier ist Handeln erforderlich; bei Grün ist alles in Ordnung und es gelten nur die üblichen Vorsichtsregeln. Die Toleranzschwelle grenzt den roten gegen den gelben Bereich ab, die Akzeptanzschwelle den gelben gegen den grünen. Zwischen den beiden Schwellen – also im gelben Bereich – sind gemäß dem ALARA-Prinzip Optimierungsmaßnahmen durchzuführen. Solche Maßnahmen sollten jedoch nicht durch deren Machbarkeit gerechtfertigt werden, sondern dadurch, wieweit sie zur Senkung der gesamten Strahlenexposition beitragen. Hierzu haben sie sich an den Risiken des täglichen Lebens – im privaten Bereich wie am Arbeitsplatz – und an der ubiquitären, natürlichen Strahlenexposition zu orientieren. Gemäß UNSCEAR 2008 beträgt deren typischer Variationsbereich für die Weltbevölkerung 1 bis 13 mSv pro Jahr. Hieraus ergibt sich denn auch ein unteres Ende des Optimierungsbereiches, nämlich dort wo Maßnahmen nicht mehr zu einer signifikanten Senkung der gesamten Strahlenexposition, und damit des daraus resultierenden Risikos, führen und also nicht mehr gerechtfertigt sind.*

#### **Summary**

*Radiation protection is at a high level today. But that shouldn't stop us from continuing to work on improving and optimizing it. A step in this direction could be a traffic light model for radiation protection. Red means: stop and danger; Yellow: Attention, action is required here; if it is green, everything is fine and only the usual precautionary rules apply. The tolerance threshold separates the red from the yellow area, the acceptance threshold the yellow from the green. Between the two thresholds – i. e. in the yellow area – optimization measures must be carried*



out according to the ALARA principle. However, such measures should not be justified by their feasibility, but by the extent to which they contribute to reducing overall radiation exposure. To do this, they must consider the risks of everyday life – in the private sphere as well as at work – and the ubiquitous, natural exposure to radiation. According to UNSCEAR 2008, the typical variation range for the world population is 1 to 13 mSv per year. This results in a lower end of the optimization range, namely where measures no longer lead to a significant reduction in the overall radiation exposure and thus the resulting risk and are therefore no longer justified.

**Schlüsselwörter:** Ampelmodell, Optimierung, LNT, ALARA  
**Keywords:** Traffic Light Model, Optimization, LNT, ALARA

## 1. Das Ampelmodell [3]

Ampelmodelle sind einfach zu verstehen: Im Straßenverkehr haben wir uns seit langem daran gewöhnt. Rot bedeutet Halt; bei gelb müssen wir uns überlegen, ob wir noch vor dem Lichtsignal halten können, ohne die Verkehrsteilnehmer hinter uns auszubremsen oder ob wir es noch während der Gelb-Phase über die Kreuzung schaffen ohne andere Personen zu gefährden; bei Grün haben wir freie Fahrt, müssen aber trotzdem die Verkehrsregeln einhalten und die anderen Verkehrsteilnehmer und deren Verhalten im Auge behalten. Ampelmodelle sind zweistufige Konzepte für die Differenzierung von Schutzmaßnahmen bei Gefahrstoffexposition; sie werden vor allem für den Schutz vor Schadstoffen am Arbeitsplatz angewendet. Die untere Stufe, Akzeptanzschwelle genannt, ist die Abgrenzung zwischen dem grünen Bereich, ohne Gefährdung oder Risiken für Gesundheitsschäden, und dem mittleren, gelben Bereich, wo noch unerwünschte Risiken bestehen. Die obere Stufe, Toleranzschwelle genannt, grenzt den roten Bereich einer Gefährdung durch ein nicht mehr vertretbares Risiko gegenüber dem gelben Bereich ab. Im Letzteren wird ein Risikomanagement verlangt, dass Risiken auf ein Maß reduziert, welches den höchsten Grad an Sicherheit garantiert, der vernünftigerweise praktikabel, also finanziell und/oder technisch mit vertretbarem Aufwand realisierbar ist, so wie es das ALARA-Prinzip verlangt.

## 2. Optimieren im Strahlenschutz mit ALARA

Beim Optimieren im Strahlenschutz gilt der Grundsatz ALARA: *«To keep radiation exposure as low as reasonably achievable, taking into account economic and social factors.»* Was unter *«So tief wie vernünftigerweise möglich»* zu verstehen ist, wird seit längerem in Arbeitsgruppen debattiert. Soll es denn beim Optimieren auch eine untere Grenze bei der Dosis geben, also dort wo – außer den übliche Vorsichtsregeln – weiteren Maßnahmen nicht mehr sinnvoll sind? Und wo soll man diese Grenze setzen? Im Weiteren stellt sich die Frage nach der Rechtfertigung solcher Optimierungsmaßnahmen. Soll erstere allein durch deren Machbarkeit gegeben sein, oder eher dadurch, wie weit sie zur Senkung der gesamten Strahlenexposition beitragen? Wäre demnach eine Maßnahme, die nur durchgeführt wird, weil sie machbar ist – aber an der gesamten Strahlenexposition nichts verändern – eine Verschwendung von Ressourcen?

Das Gebot der Nachhaltigkeit in allen Bereichen unseres täglichen Lebens soll auch im Strahlenschutz gelten. Dies bedingt, dass die Stichworte zur Begründung der *«Reasonableness»* beim ALARA-Grundsatz – gemeint sind *«Economic and Social»* – durch ein drittes zu ergänzen sind, nämlich *«the principles of Sustainability»*. Nachhaltigkeit soll sowohl bei den Anwendungen von Strahlung und Radioaktivität in allen Bereichen gelten, bei Maßnahmen im Strahlenschutz und schließlich auch bei der Behandlung und Bewirtschaftung von radioaktiven Reststoffen,

Rückständen und Abfällen, etwa bezüglich Ressourcenverbrauch. Die Berücksichtigung der Nachhaltigkeit bei den Strahlenschutz-Grundsätzen Rechtfertigung, Optimierung und Begrenzung bedingt dann eine holistische Bewertung von Dosen und den damit verbunden Risiken.

### 3. Die LNT-Hypothese

Die von der ICRP 1959 eingeführte LNT-Hypothese galt langezeit als solides Rückgrat im praktischen Strahlenschutz. Bei LNT (*Linear No-Threshold Hypothesis*) wird angenommen, dass es keine untere Dosischwelle für eine schädigende Wirkung ionisierender Strahlung gibt und dass somit das Risiko ab Dosis Null linear mit dieser ansteigt. Für den unteren Dosisbereich gibt es jedoch keine statistisch belastbare Daten über den Zusammenhang zwischen Dosis und Wirkung. LNT bleibt somit eine Hypothese, für die es keine wissenschaftliche Evidenz gibt. Zwar scheint es biologisch plausibel, dass das Schadensausmaß in erster Näherung proportional mit der Dosis ansteigt. Man darf dabei aber nicht außer Acht lassen, dass biologische Organismen mehr sind als eine Ansammlung von passiven Targets im Sinne eines klassischen Treffermodells. Ganz im Gegenteil: Lebenden Zellen reagieren aktiv auf äußere Einwirkungen. Sie kommunizieren miteinander und die Natur ist bestrebt, die Integrität und Funktionalität eines Organismus zu erhalten. Darin, und insbesondere beim Reparieren von Schäden an der DNA, wie auch beim Eliminieren beschädigter Zellen – diese könnten zu Krebszellen werden – ist sie denn auch sehr erfolgreich. Dieses Verhalten biologischer Systeme lässt vermuten, dass es eine untere Dosischwelle oder gar eine Hormesis bei Strahlung gibt. Es ist weiter zu berücksichtigen, dass eine Krebserkrankung das Ergebnis eines mehrstufigen und komplexen Prozesses ist. Eine durch Strahlung oder andere Agenzien ausgelöste oder spontan entstandene Mutation ist darin nur ein erster Teilschritt und die Natur hat viele Möglichkeiten, den Prozess der Krebsentstehung anzuhalten oder zu verzögern.

Es ist somit nachvollziehbar, dass diese Unsicherheit nicht nur bei «besorgten Experten», sondern auch bei Strahlenschutzfachleuten Anlass zur Diskussion gibt. Einige von ihnen sind der Meinung, dass es eine untere Dosischwelle gäbe oder gar eine Hormesis bei tiefen und sehr tiefen Dosen. Eine Debatte über Art und Rechtfertigung dieser Extrapolation von hohen zu tiefen Dosen bestand schon seit längerem. Hier geht es um die Frage, ob die Extrapolation linear, supralinear oder linear-quadratisch sein soll, ob es eine untere Dosischwelle gibt oder ob gar ein Teil der Kurve im untersten Dosisbereich negativ sein könnte. Letzteres würde bedeuten, dass die Strahlung in diesem Bereich eine positive Wirkung auf die Gesundheit hat. Falls es eine solche Hormesis im tiefen Dosisbereich wirklich gibt, wäre sie wohl im Variationsbereich der natürlichen Strahlenexposition bis etwa einige Zehn mSv pro Jahr zu vermuten. Dann würde Mutter Natur dies in ihrer Weisheit bereits nutzen und wir würden jetzt schon davon profitieren. Wir könnten aber dann diesen Joker kein zweites Mal ins Spiel bringen, indem wir annehmen, dass eine zusätzlich „kleine“ Dosis das Risiko weiter senkt.

LNT wird von einigen durchaus seriösen Wissenschaftlern in Frage stellen. Deren Argumente würden allerdings den Rahmen dieses Textes sprengen. Dass ein Hinterfragen von LNT gerechtfertigt ist, möge ein einfaches Gedankenexperiment darlegen: Würde jemand behaupten, das Risiko bei einem Verkehrsunfall zu sterben, beginne bei Geschwindigkeit Null und steige dann linear mit der Geschwindigkeit an, dann würden wir ihm wohl entgegenen: So einfach ist das auch nicht! Das gilt auch für LNT [4].

Was wären denn die Alternativen zu LNT? Es gibt in der Tat bessere Modelle, aber diese sind wesentlich komplexer und lassen sich nicht einfach für eine große, gemischte Population verallgemeinern. Dazu müssten die unterschiedliche Strahlenempfindlichkeit zwischen Frauen

und Männern, zwischen verschiedenen Altersklassen sowie zwischen einzelnen Individuen berücksichtigt werden. Hinzu kommt, dass multiplikative Risikoprojektionsmodelle die Wirklichkeit besser beschreiben, was heißt, dass ein zusätzliches, strahlenbedingtes Risiko multiplikativ mit dem bereits vorhandenen, also spontanen Risiko verbunden ist. Wer also aufgrund seiner Genetik, seiner Lebensumstände, seines Berufes, sowie aufgrund weiterer Faktoren bereits ein erhöhtes Krebsrisiko hat, bei dem ist folglich das strahlenbedingte auch höher. Solche Modelle brauchen nämlich mehrere Modellparameter deren jeweilige Zahlenwerte meist nicht oder zu wenig genau bekannt sind. Als konservativen Ansatz für generelle Empfehlungen im Strahlenschutz und damit zur Herleitung von Grenzwerten und Richtwerten sind sie somit kaum geeignet. Anstatt die Gültigkeit von LNT in Frage zu stellen, wäre zu klären, wozu LNT benötigt wird, wo es angewendet werden darf und wo dessen Grenzen sind. Die ICRP warnt ausdrücklich davor mit LNT hypothetische Krebstodesfälle zu berechnen; ein gleiches gilt für die Ermittlung des Krebsrisikos im Einzelfall. Auch die Anwendbarkeit von LNT für die natürlich Strahlenexposition, insbesondere bei NORM, und in der Medizin bleibt zu hinterfragen.

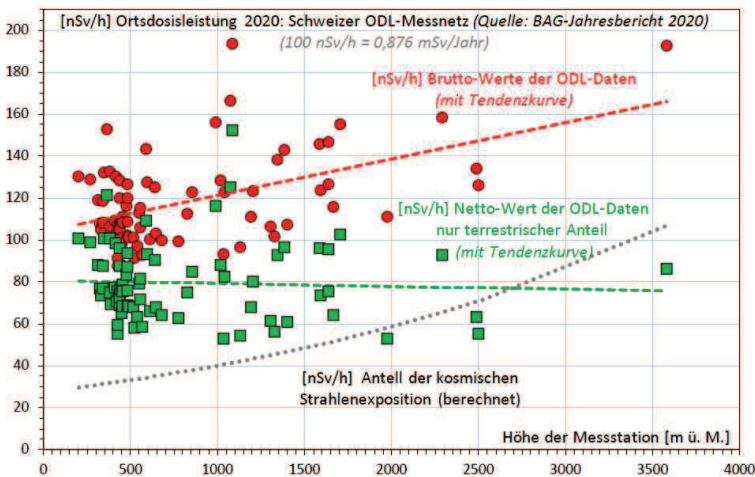


Abb. 1: Variationsbereich der Ortsdosisleistung in Funktion der Höhe (Schweiz; 2020)

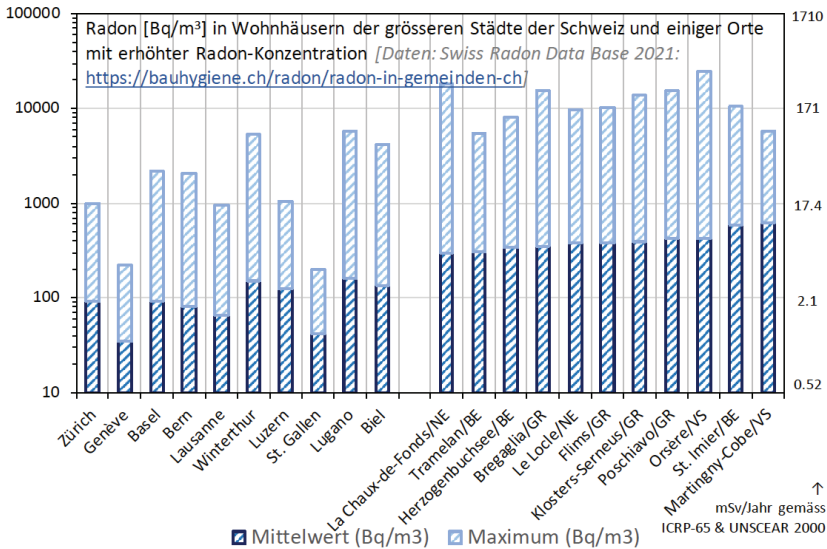


Abb. 2: Radon im Wohnbereich der Schweiz: Größere Städte und Orte mit hohen Werten

#### 4. Die natürliche Strahlenexposition als Referenzgröße

Die Strahlenexposition einer Bevölkerung zeigt einen großen Variationsbereich. Dies gilt sowohl für die natürliche Komponente als auch für die anthropogene, also den durch menschliche Tätigkeit verursachten Anteil. Die von den einzelnen Ländern veröffentlichten mittleren Dosiswerte für deren jeweilige Bevölkerung sind somit nur grobe Schätzwerte. Sie beruhen auf Modellen und verschiedenen verallgemeinernden Annahmen. Im Einzelfall können die Dosiswerte vom Durchschnitt stark abweichen. Für die auf Abbildungen 3 dargestellten Beispiele für die Schweizer Bevölkerung beträgt der Variationsbereich 1.6 bis 22 mSv pro Jahr [2]. Sowohl die terrestrische als auch die kosmische Strahlenkomponente variieren je nach Geologie, respektive nach der Höhe (Abbildung 1). Noch wesentlich breiter ist der Wertebereich beim Radon<sup>1</sup>, dessen Messwerte annähernd log-normal verteilt sind und zwei bis drei Größenordnungen überdecken (Abbildung 2). Ähnlich ist es bei der beruflichen Strahlenexposition und den Strahlendosen durch medizinische Anwendungen. Hier kann sich die Dosis von 0 mSv pro Jahr in vereinzelten Fällen auf bis auf über 20 mSv/Jahr erstrecken. Dass die Angestellten der Zivilluftfahrt, infolge kosmischer Strahlung, die am stärksten belasteten der beruflich Exponierten sind, ergibt sich aus dem Anteil der Dosiswerte über 1 mSv pro Jahr im Vergleich jenen unter 1 mSv: Zivilluftfahrt: 77.2 zu 22.8 %, Kernanlagen: 15.8 zu 84.2 %, übrige: > 97 zu < 3 % (Datenquelle: Dosimetrie-Bericht 2018 des Schweizer Bundesamtes für Gesundheit).

<sup>1</sup> Die Dosen durch Radon im Wohnbereich basieren auf dem Umrechnungsfaktor für die Konversion der Radonexposition in effektive Dosis gemäß UNSCEAR 2000 (Annexe A, Seite 36) von 9 nSv pro Bq h m<sup>3</sup> (EEC). Dabei wurde ein Gleichgewichtsfaktor von 0.4 angenommen und ein Anteil der im Wohnhaus verbrachten Zeit von 80%.

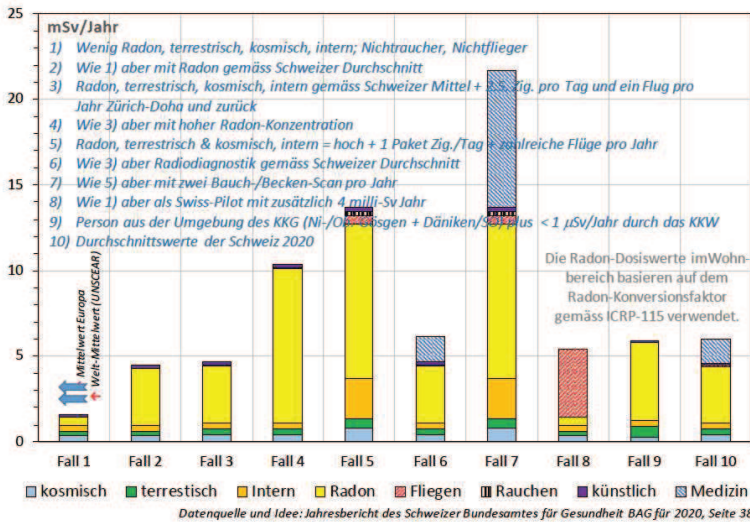


Abb. 3: Beispiele berechneter, hypothetischer Dosiswerte für die Schweizer Bevölkerung

## 5. Die Anwendung des Ampelmodelles im Strahlenschutz

Zur Herleitung der Grenzwerte im Strahlenschutz einigt man sich zuerst auf eine Obergrenze des Risikos, das als politisch und gesellschaftlich gerade noch akzeptabel bewertet wird. Diesem Risiko wird dann ein Dosiswert zugeordnet. Dazu werden die Daten aus der Epidemiologie benötigt und LNT (*Linear No Threshold Hypothesis*) für die Extrapolation von hohen zu tiefen Dosen. Die LNT-Hypothese nimmt an, das Strahlenrisiko beginne bei Dosis Null und steigt dann linear mit dieser an. Wird nun LNT in Frage gestellt, müssen die Grenzwerte im Strahlenschutz auf einer anderen Basis abgestützt werden und es stellt sich Frage von deren Rechtfertigung. In diesem Fall wäre zu überlegen, ob nicht die natürliche Strahlenexposition und deren großer Variationsbereich von typischerweise etwa 1 bis 20 mSv pro Jahr als Referenz für deren Rechtfertigung beigezogen werden sollte [3]. Das Ampelmodell würde somit zu einer prüfenswerten Alternative. Seine Anwendung (unterste zwei Balken im Diagramm) ist auf der Abbildung 4 im Kontext mit verschiedenen Variationsbereichen der Strahlenexposition dargestellt. Beim Ampelmodell gelten im roten Bereich die Grenzwerte: Also 20 mSv pro Jahr am Arbeitsplatz und 1 mSv pro Jahr für die Bevölkerung aus anthropogenen Strahlenquellen. Im gelben Bereich müssen wir handeln, also unter Anwenden von ALARA optimieren. Im grünen Bereich ist alles in Ordnung; es braucht keine über die übliche Vorsichtregeln hinausgehenden Maßnahmen. Für die so genannte Akzeptanzschwelle – also die Abgrenzung zwischen dem gelben und grünen Bereich – schlagen die «Strahlenschutzphilosophen» des FS [1] den Wert von 1 mSv pro Jahr für den Arbeitsplatz vor und für die Bevölkerung durch anthropogene Strahlenquellen 0.1 mSv pro Jahr. Diese Werte für die Akzeptanzschwelle sind eine Größenordnung höher als die Empfehlungen der ICRP, erscheinen aber, angesichts des großen Variationsbereiches der natürlichen Strahlenexposition, als durchaus gerechtfertigt.

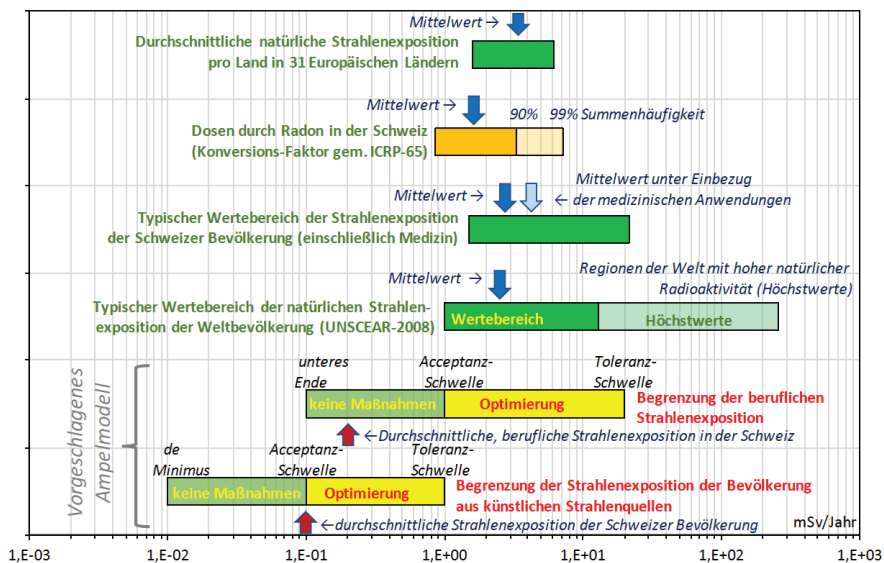


Abb. 4: Das vorgeschlagene Ampelmodell im Vergleich zu typischen Dosiswerten

## 6. Literaturverzeichnis

- [1] Michel, R., Völkle, H. und Lorenz, B.: Strahlenschutz heute – Erfolge, Probleme, Empfehlungen für die Zukunft. StrahlenschutzPRAXIS Nr. 4/2018, pp. 5-47
- [2] Estier, S. und Steinmann Ph. (Herausgeber): Bundesamt für Gesundheit: Umweltradioaktivität und Strahlendosen in der Schweiz 2020. Bundesamt für Gesundheit, Bern, Juli 2021
- [3] Völkle, H.: Ein Ampelmodell zur Optimierung in Strahlenschutz. StrahlenschutzPRAXIS Nr. 3/2021, pp. 55-69
- [4] Völkle, H.: Ein Kommentar – Kommt bald das Ende von LNT? StrahlenschutzPRAXIS Nr. 2/2022, pp. 76-80

## **DISKUSSIONSRUNDE 2: TECHNISCHE REGELN ZUR EMFV**

Moderatoren: Hans-Dieter Reidenbach , Matthias Brose

*Institut für Angewandte Optik und Elektronik Köln, Berufsgenossenschaft Energie Textil  
Elektro Medienerzeugnisse Köln,*

*hans.reidenbach@th-koeln.de, hans.reidenbach@th-koeln.de*

Schwerpunkt sind die neuen technischen Regeln zur Konkretisierung der Verordnung zum Schutz der Beschäftigten vor Gefährdungen durch elektromagnetische Felder – Arbeitsschutzverordnung zu elektromagnetische Felder (EMFV) – TREMF. Geplant sind zwei Diskussionsrunden:

Thema 1: Arbeitsschutz bei EMF-Exposition

- Rechtsrahmen
- TREMF MR
- TREMF aus der Arbeitgeberperspektive
- TREMF aus der Vollzugsperspektive
- Zusammenspiel TREMF und DGUV Informationen

Thema 2: Anwendungsszenarien EMF

- Energieversorgung
- Digitalisierung und 5G
- Implantatträger
- Elektronische Warensicherungssysteme

## **DISKUSSIONSRUNDE 3: TECHNISCHE REGELN ZUR EMFV**

Moderator: Gerd Koletzko

*Landesanstalt für Personendosimetrie und Strahlenschutz Ausbildung (LPS) Berlin,  
Deutschland*

Notfälle mit ionisierender Strahlung assoziieren wir oft mit Großereignissen von nationaler oder internationaler Tragweite. Jedoch können Notfälle mit ionisierender Strahlung auch von deutlich kleinerem Umfang sein, wie beispielsweise einem Verkehrsunfall mit Transportfahrzeugen radioaktiver Stoffe für Wissenschaft und Medizin oder Havarien in einem Labor oder einer technischen Bestrahlungsanlage. Logischerweise braucht es für Notfallszenarien klare Pläne und Strategien für den Schutz der Bevölkerung und der Behandlung exponierter oder kontaminierter Personen. Wer kümmert sich in Deutschland konkret darum? Welche Institutionen, welches Fachpersonal mit welchen Qualifikationen kommt zum Einsatz? Darüber wollen wir in der Diskussionsrunde 3 „Notfälle-Vorsorge und Reaktionen“ sprechen. Ausgehend von einer Falldiskussion, zu der alle Teilnehmenden gefragt sind, sollen die aktuellen Handbücher der SSK des Ausschusses Notfallschutz wesentliche Impulse zum Thema geben.

## **DISKUSSIONSRUNDE 4: KOMMUNIKATION MIT DER BEVÖLKERUNG IM ANGESICHT DES ETHIK-CODES DES FS**

### **COMMUNICATION WITH THE PUBLIC IN VIEW OF THE FS CODE OF ETHICS**

Moderator: Rainer Gellermann

*Nuclear Control & Consulting GmbH, Braunschweig, Deutschland*

#### **Zusammenfassung**

*Im Rahmen einer offenen Diskussion wird anhand fünf ausgewählter Themenfelder danach gefragt, wie eine Kommunikation von beruflichen Strahlenschützern mit der Bevölkerung im Angesicht des Ethik-Codes des FS gelingen kann.*

#### **Summary**

*In the context of an open discussion, five selected topics will be used to ask how communication between radiation protection practitioners and the public can succeed in the face of the FS Code of Ethics.*

**Schlüsselwörter** *Kommunikation, Strahlenschutz, Öffentlichkeit, Ethik-Code*

**Keywords** *Communication, radiation protection, public, ethic-code*

## **1. Einleitung**

Als beruflich im Strahlenschutz Tätige kommen wir sowohl im dienstlichen als auch im privaten Umfeld mit Personen in Kontakt, die durch Medienkonsum vorgeprägtes Wissen zu Strahlung haben, eine darauf basierende Sprache sprechen („radioaktive Strahlung“) und die außerdem mehr oder weniger feste Meinungen zu umstrittenen gesamtgesellschaftlichen Themen haben, die unser Fach berühren. Weicht man als FS-Mitglied dem Gespräch nicht von vornherein aus, dann sollte man sich fragen, ob und wie man den Ethik-Code des FS einhält, einhalten will oder einhalten kann. Nimmt man die wohlformulierten Sätze des Ethik Codes ernst, dann muss man sich zumindest fragen, ob, wo oder wie man Positionen zu Strahlenschutzthemen vermeiden muss, für die man keine besondere Kompetenz besitzt. Ein weiterer Konflikt taucht auf, wenn man sich fragt, ob es bei einem überlegenen Fachwissen und einer korrekten Kommunikation überhaupt fair zugeht, wenn man mit Laien redet. Diese Fragen werden anhand ausgewählter Themenfelder in dem offenen World-Cafe-Format diskutiert.

## **2. Konzept und Themen**

Der Ethik-Code formuliert ethische Leitlinien für die beruflichen Aktivitäten der Mitglieder des FS im Strahlenschutz, darunter:

4. Mitglieder vermeiden Positionen und Entscheidungen zu Strahlenschutz-Fragen, für die sie keine besondere berufliche Kompetenz besitzen.
8. Mitglieder sind aufgerufen, in angemessenem Umfang falsche oder missverständliche Positionen Anderer zu Fragen des Strahlenschutzes oder von Strahlenwirkungen richtig zu stellen.



9. Fachliche Beziehungen zur Öffentlichkeit, interessierten Kreisen sowie anderen Fachexperten sind fachlich korrekt und fair.
10. Mitglieder sind aufgerufen, zur Verbesserung des Verständnisses in der Öffentlichkeit zu Fragen des Strahlenschutzes und zu den Anliegen des FS beizutragen.

Damit sind die Mitglieder des FS einerseits aufgerufen, sich in den öffentlichen Diskurs um Strahlung einzubringen – sollen aber Positionen vermeiden, für die sie keine „besondere“ (!?) berufliche Kompetenz besitzen. Je nach persönlichem Sprachempfinden und Selbstbewusstsein können diese Leitlinien als selbstverständlich für das eigene Auftreten oder als schwer lösbarer Konflikt empfunden werden. In folgenden fünf unterschiedlichen Themenfeldern sollen daher Fragen zur Kommunikation von beruflichen Strahlenschützern mit Laien unter dem Gesichtspunkt des Ethik-Codes diskutiert werden:

- Thema 1: Der Begleitprozess zur Freigabe kerntechnischer Abfälle nach der Handlungsempfehlung Baden-Württemberg.
- Thema 2: Zwischen Emotion und Evidenz. Zweifler, Zögerer, Zuschauer beim Auf- und Ausbau der 5G-Mobilfunknetze.
- Thema 3: Strahlenschutzstammtisch Asse: Ein Format für Bürger, die mehr wissen wollen als in der Zeitung steht.
- Thema 4: Keine Pflichten, große Sorgen: Radon in privaten Innenräumen.
- Thema 5: Der Begleitprozess Endlagerung in der Schweiz – Erfahrungen und Erwartungen.

Die inhaltlichen Schwerpunkte und die zu diskutierenden Fragen sind in der Zeitschrift StrahlenschutzPRAXIS publiziert [1]. Als Diskussionsformat wird das World-Cafe-Format genutzt. Dieses Format bietet eine gute Grundlage zur Diskussion einzelner Themenaspekte eines großen Rahmenthemas, das für die hier beschriebene Diskussion umrissen wird mit: *Wie gelingt die Kommunikation von beruflichen Strahlenschützern mit der Bevölkerung im Angesicht des Ethik-Codes des FS?*

Die Moderatoren bringen eine hohe Kompetenz in ihren jeweiligen Themenfeldern mit. Sie sollen in der Diskussion aber vor allem Anstöße geben, um die Schnittstellen zwischen dem „hohen Ross des Fachwissens“ und den „Niederungen von Laienfragen“ auszuloten.

### **3. Schlussfolgerungen**

Die im Workshop erarbeiteten Ideen, Ansichten, Antworten – und sicher auch neue Fragen – werden im Nachgang zur Jahrestagung in der StrahlenschutzPRAXIS publiziert und sind für die weitere Diskussion offen.

### **4. Danksagung**

Der Verfasser dankt den Moderatoren Dr. Klaus Flesch, Paul Koch, Hilmar Möhlmann, Dr. Susanne Pudollek und Dr. Veronika Ustohalova für ihre aktive Mitwirkung an der Planung und Durchführung der Diskussion.

### **5. Literaturverzeichnis**

- [1] R. Gellermann, K. Flesch, P. Koch, H. Möhlmann, S. Pudollek, V. Ustohalova: Kommunikation mit der Bevölkerung im Angesicht des Ethik-Codes des FS. StrahlenschutzPRAXIS Heft 3/2022

## **DISKUSSIONSRUNDE 5: ERSTE ERGEBNISSE AUS RADONMESSUNGEN AN ARBEITSPLÄTZEN – WAS NUN?**

Moderator: Klaus Flesch

*Nuclear Control & Consulting GmbH, Deutschland*

Nach den Ausweisungen der Radonvorsorgegebiete in Deutschland waren die dort ansässigen Unternehmen und öffentlichen Einrichtungen seit Januar 2021 in der Pflicht, Radonmessungen an Arbeitsplätzen in Innenräumen durchzuführen. Erste Messergebnisse liegen wie auch in der Schweiz und in Österreich jeweils mit anderen Strategien mittlerweile vor. Wie geht es weiter?

Diskussionsthemen:

- Viele „Verpflichtete“ in Deutschland waren bis Anfang 2022 noch gar nicht über die Messpflicht informiert. Fragestellung: Was ist schief gelaufen und wie kann die „Öffentlichkeitsarbeit“ verbessert werden? Wer ist gefordert (Behörden, Kommunen oder Anerkannte Stellen); sowohl in Deutschland, Schweiz als auch Österreich?
- In der nächsten Stufe müssen für die Arbeitsplätze, an denen der Referenzwert von 300 Bq/m<sup>3</sup> überschritten worden ist, Maßnahmen zur Verbesserung der Radonsituation geplant und ausgeführt werden. Das ist für die „Verpflichteten“ mit unvorhersehbaren Kosten verbunden. Wie können die Exekutive in Deutschland, Schweiz und Österreich in die Pflicht genommen werden und z. B. Förderprogramme initiieren? Was tun die Behörden bisher? Welche Rolle spielen hier die Anerkannten Stellen oder andere Experten?
- Welche Probleme haben die betroffenen Unternehmen oder öffentlichen Einrichtungen, bei denen Radon-222-Aktivitätskonzentrationen über 300 Bq/m<sup>3</sup> ermittelt worden sind?

## **DISKUSSIONSRUNDE 6: DOSIMETRIE: GESTERN, HEUTE UND MORGEN**

Moderator: Frank Becker

*Karlsruher Institut für Technologie (KIT), Deutschland*

Neue Messgrößen für den Strahlenschutz - wird sich der Strahlenschutz nun grundlegend ändern?

Aktuelle dosimetrischer Herausforderungen, Probleme und Lösungen sowie mögliche Auswirkungen der im ICRU Report 95 (2020) vorgestellten neuen Messgrößen für die externe Strahlenexposition werden diskutiert. Zur Diskussion aktueller dosimetrischer Herausforderungen, Probleme und Lösungen, gibt es zwei Themen und Impulsvorträge.

Im ICRU Report 95 (2020) werden neue Messgrößen für die externe Strahlenexposition vorgestellt, die eng an die Schutzgrößen angelehnt sind. Die Definition der neuen Messgrößen wird motiviert. Danach wird die Auswirkung der neuen Messgrößen mit Beispielen von wirklichkeitsnahen Strahlenfeldern und gängigen Dosimetern illustriert und anschließend diskutiert.

## **70 JAHRE PERSONENDOSISÜBERWACHUNG IN DEUTSCHLAND – VERGANGENHEIT UND ZUKUNFT**

Markus Figel

*Mirion Technologies (AWST) GmbH, Deutschland*

1952, vor 70 Jahren, wurden von Wachsmann und Langendorff die ersten Personendosismessstellen in Deutschland gegründet. Über Jahrzehnte haben die deutschen Messstellen die Entwicklung der Personendosimetrie, in Bezug auf Organisation und Messtechnik nicht nur in Deutschland geprägt. Neben der Optimierung der Filmdosimetrie wurden in allen Bereichen der Personendosimetrie, der Festkörperdosimetrie, Teilkörperdosimetrie und der Dosimetrie der Augenlinse weltweit führende Technologien entwickelt und in die Routine der Personendosisüberwachung eingeführt. Technik und Qualität der deutschen Personendosimetrie sind seit Jahren weltweit auf höchstem Niveau, wie bei allen internationalen Vergleichsmessungen zu sehen ist. Auch nach 70 Jahren als Partner für Strahlenexponierte, Betrieb und Behörden geht diese Entwicklung weiter. Mit neuen Dosimetriesystemen, der Digitalisierung und neuen Dienstleistung wird die Personendosimetrie der Messstellen auch in Zukunft wegweisend und kommenden Herausforderungen gewachsen sein.

# NEUE MESSGRÖSSEN FÜR DEN STRAHLENSCHUTZ – WIRD SICH DER STRAHLENSCHUTZ NUN GRUNDLEGENDE ÄNDERN?

Thomas Otto<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup> ICRU, International Commission on Radiation Units and Measurements

<sup>2</sup> CERN, 1211 Genève 23, Schweiz

## Zusammenfassung

ICRU und ICRP haben 2020 den gemeinsamen ICRU Bericht 95 veröffentlicht, in dem neue Messgrößen für den Strahlenschutz gegen externe Strahlung eingeführt werden. Dieser Beitrag führt die Messgrößen für Ganzkörperbestrahlung kurz ein und untersucht ihre Auswirkungen auf Messungen im Strahlenschutz.

## Summary

In 2020, ICRU and ICRP jointly published ICRU Report 95 in which new operational quantities for radiation protection against external radiation are introduced. This contribution gives a succinct introduction to the quantities for whole-body exposure and it analyses their impact on measurements in radiation protection.

**Schlüsselwörter** Strahlenschutzdosimetrie, ICRU, Messgrößen

**Keywords** radiation protection dosimetry, ICRU, operational quantities

## 1. Effektive Dosis

Strahlenschutz beruht auf der Optimierung und Limitierung der Strahlenexposition von Beschäftigten und der Bevölkerung. Um dieses Ziel zu erreichen, muss die Exposition prospektiv abgeschätzt und nachträglich gemessen werden. Dafür benötigt der Strahlenschutz einen „Massstab“, eine Grösse, die das Expositionsrisiko quantitativ erfasst. Die Internationale Strahlenschutzkommission (ICRP) hat dafür 1990 die sogenannten Schutzgrößen eingeführt. Die am häufigsten verwandte Schutzgrösse, die effektive Dosis  $E$ , dient zur Limitierung und Optimierung von stochastischen Strahlenwirkungen nach Ganzkörperbestrahlung. Sie ist ein Mittelwert von Energiedosen  $D$ , der für die Strahlen- und Organart gewichtet ist [1],[2]:

$$E = \sum_T w_T \sum_R w_R D_{R,T} \quad (1)$$

Effektive Dosis ist universell anwendbar auf alle Strahlenarten und bei externer sowie interner Bestrahlung. Seit mehr als 30 Jahren hat sich das Konzept der effektiven Dosis in der Praxis bewährt. Gesetzliche Grenz- und Richtwerte werden in Einheiten der effektiven Dosis festgelegt, und im Dosis-Optimierungsprozess wird  $E$  unter Anwendung des ALARA-Prinzips so weit wie sinnvoll möglich verringert.

Für externe Strahlung werden Werte der effektiven Dosis für einfache Einfallrichtungen der Strahlung mit numerischen Phantomen [3] berechnet [4]. Es resultieren sogenannte Konversionskoeffizienten, die den Wert der effektiven Dosis pro Einheit der Teilchenfluenz oder alternativ für Photonen, der Luftkerma angeben.

## 2. Heutige Messgrössen

Für äussere Strahlung ist effektive Dosis allerdings in der Praxis nicht messbar, es sei denn man hätte ein Messinstrument von der Grösse und Zusammensetzung des menschlichen Körpers zur Hand. Deshalb werden von der Internationalen Kommission für Strahleneinheiten und -Messungen (ICRU) Messgrössen (oder operationelle Grössen) definiert, mit denen Dosimeter und Strahlenmessinstrumente kalibriert werden. Sie sind in einem Punkt definiert und sollen eine möglichst gute Annäherung an die Schutzgrössen liefern.

Die heute gültigen Messgrössen [5],[6], die die effektive Dosis annähern, sind die Tiefen-Personendosis  $H_p(10, \alpha)$  und Umgebungs-Äquivalentdosis  $H^*(10)$ . Tiefen-Personendosis dient zur Kalibrierung von Personendosimetern, also zu einer nachträglichen Messung der Strahlendosis, die in der Regel dazu dient nachzuweisen, dass Grenz- und Richtwerte bei Tätigkeiten eingehalten wurden. Zu ihrer Definition wird die Energiedosis in 10 mm Tiefe im Körper unter dem Trageort des Dosimeters mit einem vom linearen Energieübertragungsvermögen abhängigen Qualitätsfaktor  $Q(L)$  multipliziert. Für die Berechnung von Konversionskoeffizienten der Tiefen-Personendosis [7],[8] wird ein Quaderphantom aus ICRU-Gewebe verwendet, zur Kalibrierung von Personendosimetern ein wassergefülltes ISO-Quaderphantom. Mit der Umgebungs-Äquivalentdosis werden Strahlenschutzinstrumente kalibriert für prospektive Strahlenschutzmessungen oder Umgebungsmessungen. Sie wird ebenfalls über die Energiedosis in 10 mm Tiefe in der fiktiven ICRU-Kugel und einen Qualitätsfaktor definiert, im erweiterten und ausgerichteten Strahlungsfeld, ein Konzept, das im Prinzip isotrop messende Geräte voraussetzt. Diese Messgrössen wurden in den 80er Jahren definiert, als die Nuklearindustrie das wichtigste Arbeitsgebiet des Strahlenschutzes war. In den dort auftretenden Strahlenfeldern liefern in diesen Grössen kalibrierte Dosimeter sehr gute Abschätzungen für die effektive Dosis von Photonen und hinreichend gute für Neutronen. Mit der Erschliessung neuer Anwendungen von ionisierender Strahlung machten sich Unzulänglichkeiten der heutigen operationellen Grössen bemerkbar: bei hohen Strahlenfeldenergien, wie sie an Beschleunigern auftreten, wird die effektive Dosis entweder über- oder unterschätzt. In Strahlenfeldern mit sehr niedrigen Photonenenergie, wie sie in der interventionellen Radiologie oder Mammographie auftreten, wird die effektive Dosis überschätzt. Abbildung 1 zeigt die Energieabhängigkeit von effektiver Dosis und Tiefen-Personendosis für Photonen, und Abbildung 2 von effektiver Dosis und Umgebungs-Äquivalentdosis für Neutronen. Ausserdem wurde nach einem Weg gesucht, die Definitionen von Schutz- und Messgrössen aneinander anzugleichen, um das System der Strahlenschutzgrössen zu vereinfachen.

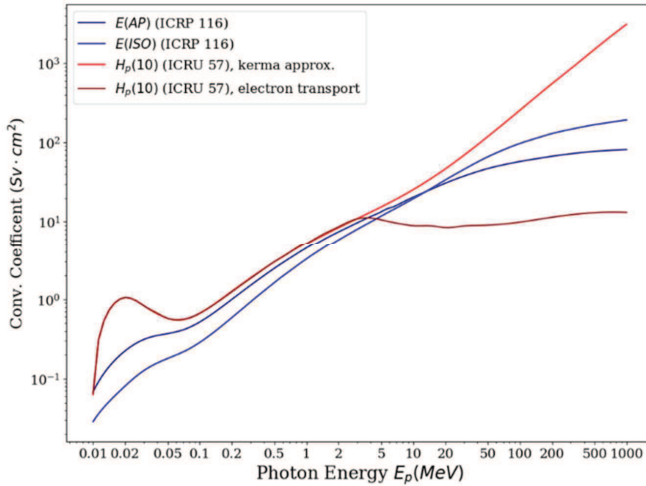


Abb. 1: Energieabhängigkeit der Konversionskoeffizienten von Photonenfluenz zu effektiver Dosis  $E$  in verschiedenen Einstrahlungsrichtungen und zur Tiefen-Personendosis  $H_p(10, 0^\circ)$

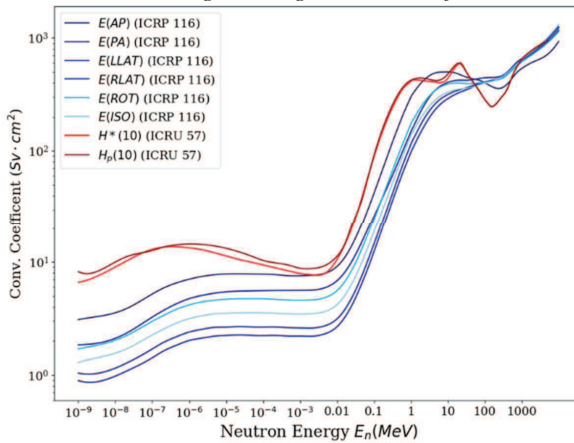


Abb. 1: Energieabhängigkeit der Konversionskoeffizienten von Neutronenfluenz zu effektiver Dosis in verschiedenen Einstrahlungsrichtungen und zur Tiefen-Personendosis  $H_p(10, 0^\circ)$  bzw. der Umgebungs-Äquivalentdosis  $H^*(10)$ .

### 3. Messgrößen im ICRU Bericht 95

Die ICRU setzte eine Arbeitsgruppe ein, die verschiedene Alternativen zu einer Revision von  $H_p(10, \alpha)$  und  $H^*(10)$  testete und bewertete. Die Auswahl fiel auf die Größen *personal dose*  $H_p(\alpha)$  und *ambient dose*  $H^*(1)$ . Anstelle des Weges über die Energiedosis in einem Phantom, werden die neuen Messgrößen direkt als das Produkt einer physikalischen

---

<sup>1</sup> Ich möchte der Übersetzung der neuen Größenbezeichnungen ins Deutsche nicht vorgreifen und verwende daher die englischen Bezeichnungen aus dem ICRU-Bericht.

Feldgrösse wie Teilchenfluenz oder Luftkerma für Photonen und einen Konversionskoeffizienten definiert, hier in symbolischer Notation für die Fluenz:

$$H^*(E) = h^*(E) \cdot \Phi(E) \quad (2)$$

$$H_p(E, \alpha) = h_p(E, \alpha) \cdot \Phi(E) \quad (3)$$

Die Konversionskoeffizienten  $h_p$  und  $h^*$  werden mithilfe der gleichen Phantome und Wichtungskoeffizienten  $w_R, w_T$  wie die effektive Dosis  $E$  berechnet.

Die neuen Definitionen und dazugehörige Konversionskoeffizienten wurden Ende 2020 gemeinsam mit der ICRP im ICRU Report 95 veröffentlicht [9]. Personal dose  $H_p(\alpha)$  ist für einen spezifischen Einfallswinkel definiert, während bei ambient dose  $H^*$  eine Maximierung über die Einfallrichtung vorgenommen wird. Alleine aufgrund ihrer Definition liefern diese beiden Grössen eine bessere Abschätzung der Schutzgrössen, bei bestimmten Kombinationen von Energie und Einfallswinkel sind die numerischen Werte von operationeller und Schutzgrösse sogar identisch. So ist z.B. die *personal dose* bei Bestrahlung von vorne  $H_p(0^\circ)$  numerisch identisch mit Werten von  $E(AP)$ , und die Werte der *ambient dose* entsprechen dem Maximum der Werte von  $E$  unter den verschiedenen Einstrahlungsrichtungen.

Der Bericht [9] enthält Dosiskonversionskoeffizienten für die neuen Grössen von Teilchenfluenz für zahlreiche Teilchenarten (oder Luftkerma für Photonen), und reicht bis zu sehr hohen Energien, wie sie an Beschleunigern oder in der kosmischen Strahlung auftreten können. Zusätzlich wurden im ICRU Bericht 95 neue Grössen für die Augenlinsendosis und die lokale Hautdosis eingeführt, die jetzt als Energiedosen definiert sind. *Absorbed dose to the local skin*  $D_{\text{local skin}}$  unterscheidet sich nur unwesentlich von der bekannten Grösse  $H_p(0.07)$ . *Absorbed dose to the eye lens*  $D_{\text{eye lens}}$  ist für Photonen der heutigen Messgrösse  $H_p(3)$  ähnlich genug, so dass existierende Dosimeter weiterverwendet werden können.

#### 4. Ändern sich die Messwerte in Strahlenfeldern ?

Bei der Einführung neuer Messgrössen kann man sich fragen, ob Messwerte in bekannten Strahlenfeldern in Zukunft völlig anders ausfallen werden. Ich beschränke mich hier auf Photonenfelder, in denen der Grossteil der beruflichen Strahlenexposition anfällt.

Abbildung 2 zeigt den Unterschied zwischen  $H_p(10,0^\circ)$  und  $H_p(0^\circ)$  in Abhängigkeit von der Luftkerma ausgedrückt. Für den Energiebereich, der für Radionuklide typisch ist, 100 keV – 3 MeV, liefert die Messgrösse *personal dose* etwas geringere Messwerte als die Tiefen-Äquivalentdosis. Bei sehr niedrigen Photonenenergien, wie sie in der interventionellen Radiologie oder der Mammographie auftreten können, sind die Messwerte der *personal dose* deutlich geringer. Dies liegt daran, dass bei diesen Energien die effektive Dosis  $E$  von der Tiefen-Personendosis  $H_p(10)$  überschätzt wird, ein Umstand der durch *personal dose* korrigiert wird [10], [11].

Weitergehende Untersuchungen der Auswirkung der neuen Messgrössen auf Messwerte in bekannten Strahlenfeldern werden bereits durchgeführt oder sind geplant. Sie umfassen Strahlenfelder in der medizinischen Praxis, in der Nuklearindustrie und an Teilchenbeschleunigern.

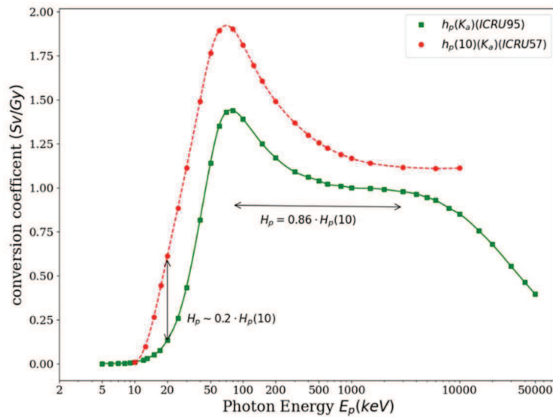


Abb. 2: Energieabhängigkeit der Tiefen-Personendosis  $H_p(10)$  und der personal dose  $H_p$  für Photonen in Abhängigkeit von der Luftkerma.

### 5. Was passiert mit Messinstrumenten?

Einige ältere Kollegen haben in den 90er Jahren bereits den Schritt von der Photonen-Äquivalentdosis  $H_x$  zur Tiefen-Personendosis  $H_p(10)$  mitgemacht und sich dabei die Frage gestellt, ob sie bereits eingeführte Messinstrumente und Dosimeter weiterverwenden können. Genau wie damals gilt heute, dass es auf Typ und Anwendungsbereich des Dosimeters oder Instruments ankommt [12], [13].

Abbildung 3 zeigt das relative Ansprechvermögen für ein gängiges Instrument auf Basis eines Geiger-Müller-Zählrohrs. Das solide Gehäuse sorgt dafür, dass Photonen mit einer Energie unter 50 keV keinen Messeffekt mehr bewirken, das Gerät ist blind für niederenergetische Photonen. Solche und ähnliche Dosisleistungsmessinstrumente können nach einer Rekalibrierung auf die neue Messgrösse *ambient dose* weiterverwendet werden.

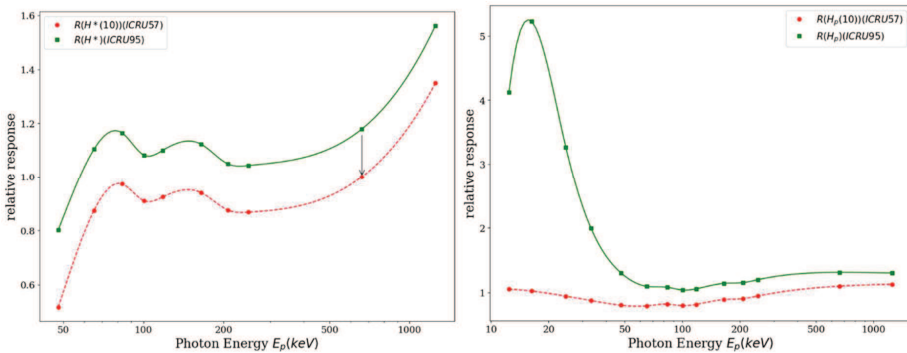


Abb. 3: Relatives Ansprechvermögen auf  $H_p(10,0^\circ)$  und  $H_p(0^\circ)$  eines Geiger-Müller Zählrohrs (links) und eines modernen Personendosimeters (rechts).

Ebenfalls in Abbildung 3 ist das relative Ansprechvermögen eines modernen Personendosimeters für Photonen dargestellt. Gemäss Anforderungen ist es in der Lage, die Tiefen-Personendosis  $H_p(10)$  für Photonenenergien bis herunter zu 15 oder 20 keV korrekt zu



bestimmen. Damit aber überschätzt es die effektive Dosis der Photonen und auch die neue Grösse *personal dose*. Dieser Effekt wurde auch in einer Vergleichsmessung festgestellt [14]. Eine einfache Rekalibrierung ist nicht möglich, und innovative Dosimeterentwicklungen sind gefordert, um die Strahlenexposition korrekt in der neuen Messgrösse zu erfassen [15], [16]. Die neuen Messgrößen werden voraussichtlich erst nach dem Erscheinen der nächsten „Empfehlungen der ICRP“, nach 2030, als legale Größen eingeführt werden. Zusammen mit langfristigen Einführungsphasen, in denen die heutigen Größen gültig bleiben, wird dieser Fahrplan genügend Zeit lassen, die Auswirkungen in allen relevanten Strahlenfeldern abzuschätzen und wo notwendig, neue Messgeräte und Personendosimeter zu entwickeln.

## 6. Fazit

ICRU und ICRP haben neue operationelle Größen (oder Messgrößen) für die externe Strahlenexposition eingeführt, die sich für Ganzkörperbestrahlung in ihrer Definition an die effektive Dosis anlehnen. Sie vereinfachen das System der Strahlenschutzgrößen, indem sie die unterschiedlichen Konzepte in der Definition von Schutz- und Messgrößen aufheben. Änderungen in den Messwerten sind bei niedrigen Photonenenergien zu erwarten, wo die Überschätzung der effektiven Dosis durch die heutigen Messgrößen korrigiert wird. In diesem Energiebereich wird auch eine Anpassung von Personendosimetern notwendig. Andere Strahlenfelder, Messinstrumente und Dosimeter werden zur Zeit von verschiedenen Institutionen auf die Auswirkungen neuen Messgrößen hin untersucht. Es bleibt mit schätzungsweise 15 – 20 Jahren genügend Zeit für Forschung und Entwicklung bevor die neuen Messgrößen legal verbindlich werden.

## 7. Literaturverzeichnis

- [1] International Commission on Radiological Protection, 1990 Recommendations of the International Commission on Radiological Protection, ICRP Publication 60, (Pergamon Press, Oxford) (1991).
- [2] International Commission on Radiological Protection, The 2007 Recommendations of the International Commission on Radiological Protection, ICRP Publication 103, (Elsevier Science, Oxford) (2007).
- [3] International Commission on Radiological Protection Adult Reference Computational Phantoms, ICRP Publication 110. (Elsevier Science, Oxford) (2009).
- [4] International Commission on Radiological Protection, Conversion Coefficients for Radiological Protection for External Radiation Exposures, ICRP Publication 116.(Elsevier Science, Oxford) (2010).
- [5] International Commission on Radiation Units and Measurements, Determination of Dose Equivalents Resulting from External Radiation Sources, ICRU Report 39 (ICRU, Bethesda) (1985).
- [6] International Commission on Radiation Units and Measurements, Quantities and Units in Radiation Protection Dosimetry, ICRU Report 51, (ICRU, Bethesda) (1993).
- [7] International Commission on Radiation Units and Measurements, Conversion Coefficients for Use in Radiological Protection against External Radiation, ICRU Report 57, (ICRU, Bethesda) (1998).
- [8] International Commission on Radiological Protection, Conversion Coefficients for Use in Radiological Protection against External Radiation, ICRP Publication 74, (Elsevier Science, Oxford) (1996).
- [9] International Commission on Radiation Units and Measurements, Operational Quantities for External Radiation Exposure, ICRU Report 95, (SAGE Publ.) (2020).

- [10] Otto, T., Conversion coefficients from kerma to ambient dose and personal dose for X-ray spectra. *J. Inst.* 14, P11011–P11011 (2019).
- [11] Behrens, R. & Otto, T., Conversion coefficients from total air kerma to the newly proposed ICRU/ICRP operational quantities for radiation protection for photon reference radiation qualities. *J. Radiol. Prot.* 42, 011519 (2022).
- [12] Otto, T., Response of photon dosimeters and survey instruments to new operational quantities proposed by ICRU RC26. *J. Inst.* 14, P01010–P01010 (2019).
- [13] Ekendahl, D. et al., Response of Current Photon Personal Dosimeters to New Operational Quantities. *Radiation Protection Dosimetry* 190, 45–57 (2020).
- [14] Eakins, J. S. & Tanner, R. J., The effects of revised operational dose quantities on the response characteristics of a beta/gamma personal dosimeter. *J. Radiol. Prot.* 39, 399–421 (2019).
- [15] Hoedlmoser, H., Bandalo, V. & Figel, M., BeOSL dosimeters and new ICRU operational quantities: Response of existing dosimeters and modification options. *Radiation Measurements* 139, 106482 (2020).
- [16] Caresana, M. et al., Impact of new operational dosimetric quantities on individual monitoring services. *J. Radiol. Prot.* 41, 1110–1121 (2021).

## **DISKUSSIONSRUNDE 7: DER FS – SEINE CHANCEN UND SEINE ZUKUNFT**

Leitung: Renate Czarwinski

*Vizepräsidentin des Fachverbandes für Strahlenschutz e.V.*

Die Strategie des Fachverbandes für Strahlenschutz wurde für den Zeitraum 2019 bis 2023 erarbeitet. Das Direktorium wird in Diskussion mit den Mitgliedern prüfen, inwieweit eine Erneuerung und Anpassung der Strategie für den Term 2024 bis 2027 erforderlich ist. Eine solche Überarbeitung möchte das Direktorium wie erwähnt nicht allein an die Hand nehmen. Es braucht dazu Ihre Mitarbeit. Ihre Anregung und Vorschläge sind daher sehr willkommen. Eines unserer wichtigen Anliegen ist die Förderung des Nachwuchses im Strahlenschutz. Auch dazu wurde ein Konzept erarbeitet. Beide genannten Dokumente finden Sie auf der Web-Seite des FS. Ebenfalls zu diesem Thema gehört die aktive Förderung junger Kolleginnen und Kollegen, die sich in dieses Fachgebiet einarbeiten wollen oder bereits darin tätig sind. Zu allen Punkten hoffen wir auf Ihre Anregungen und Empfehlungen.

Wir beabsichtigen diese und weitere Themen in Form eines World-Cafés oder als Breakout-Sessions zu diskutieren:

- **Die Attraktivität einer Mitgliedschaft im FS:** Sind die durch die AK gesetzten Schwerpunkte der fachlichen Arbeit ausreichend? Besteht Verbesserungsbedarf bezüglich der fachlichen Ausrichtung des FS? Kann der Erfahrungsrückfluss verbessert werden? Ist die Kommunikation zwischen Direktorium und Mitgliedern ausreichend?

*Moderatoren: Hansruedi Völkle, Thomas Steinkopff*

- **Sicherung der Kompetenz im Strahlenschutz und Nachwuchsförderung:** Wo und warum sollte sich der FS dennoch mehr um die Kompetenz und Kompetenzerhalt im Strahlenschutz kümmern? Welche Rolle soll der „Nachwuchs“ im FS haben? Wie kann ein Mentoring-System eingeführt werden? Wer wäre (ehrenamtlich) bereit, eine Mentor-Funktion zu übernehmen?

*Moderatoren: Joel Piechotka, Alfred Hefner*

- **Aktuelle Themen des Strahlenschutzes:** Die ICRP hat angekündigt, dass sie das System der Empfehlungen im Strahlenschutz zusammen mit den Anwendern überarbeiten und „fit for purpose“ machen wollen. Themen gestalten...Themen besetzen! Wie intensiv soll sich der FS in die Revision der internationalen Strahlenschutzempfehlungen einbringen? Welche spezifischen Themen sind im Fokus der Mitglieder? Wozu können wir kompetent Stellung nehmen? Kümmern wir uns ausreichend und kompetent um alle relevanten Themen im Strahlenschutz, z.B. um Lehren aus Vorfällen oder um das Thema Rechtfertigung?

*Moderatoren: Werner Rühm, Renate Czarwinski*

- **Öffentlichkeitsarbeit und Stärkung der Außenwirkung:** Werden wir den selbst gestellten Herausforderungen gerecht und wie können wir sie umsetzen? Sollte es Aufgabe des FS sein, durch bessere Aufklärung unbegründete Angst vor Strahlung abzubauen – obwohl diese Angst ein wichtiges Element ist, auf dem die gesellschaftliche Bedeutung des Strahlenschutzes beruht? Sind die im FS verfügbaren Möglichkeiten zur Unterstützung der Öffentlichkeitsarbeit den Mitgliedern im FS ausreichend bekannt? Welche Formate der Öffentlichkeitsarbeit sind besonders wirksam? Was fehlt? Wo besteht Verbesserungsbedarf?

*Moderatoren: Norbert Zoubek , Rainer Gellermann*

- **Effektive Kooperation der Arbeitskreise, effektives Verbandsmanagement:** Entsprechen unsere Arbeitskreise den heutigen Anforderungen oder wäre eine Umstrukturierung sinnvoll? Was erwarten die Mitglieder vom Vorstand des FS in Bezug auf eine engere Vernetzung und effektiven Informationsaustausch? Wie kann der Strahlenschutz als Beruf attraktiver werden? Was erwarten Studenten und Studentinnen vom FS? Schmoren wir zu sehr „im eigenen Saft“? Sollen wir intensiver mit anderen Fachgesellschaften (national wie international) zusammenarbeiten?

*Moderatoren: Jörg Feinhals, Guido Kühne*



## **Posterbeiträge**



# **P1: ERWEITERUNG DER EINSATZMÖGLICHKEIT DES FREMES-SYSTEMS ZUR AUTOMATISIERTEN CHARAKTERISIERUNG GROßER MENGEN AN SCHÜTTGÜTERN**

Frank Scheuermann, Christoph Klein, Marina Sokcic-Kostic, Felix Langer

*NUKEM Technologies Engineering Services GmbH, Deutschland*

## **Zusammenfassung**

*Zur Freimessung und automatischen Sortierung in verschiedene (radiologische) Abfallkategorien großer Mengen von potentiell kontaminierten Schüttgütern wurde von NUKEM eine Förderband-FREiMESsanlage (FREMES) entwickelt. Die Schüttgüter werden dabei durch die Anlage bzgl. spezifischen Aktivitäten (in der vorgestellten Anlage für Uran) gemessen und nachfolgend sortiert. In der in Belgien bei FBFC International eingesetzten Anlage wurden so über 45000 Tonnen Erde klassifiziert, von denen über 95% direkt freigemessen werden konnten. Die Unterteilung der nicht freigemessenen Mengen in bedingte Freimessung (Deponie), schwach radioaktiven Abfall und „Hot-Spots“ erfolgte inklusive Sortierung im laufenden Betrieb innerhalb von drei Betriebsjahren. Dabei wurde durch Optimierungen im Betrieb der Durchsatz von 10 Tonnen Erdreich pro Stunde auf bis zu 15 Tonnen Erdreich pro Stunde verbessert. Dabei ermöglicht der Aufbau mit zwei Detektoren einen reduzierten Umsatz im Falle eines Ausfalles einer der Detektoren, wodurch der Betrieb bis zur Reparatur weiterlaufen kann. Die erfolgreiche Anpassung der Anlage an die Anforderung der Sortierung von Gebäudematerialien (Ytong, Beton, Ziegel, Steine) wird ebenfalls vorgestellt.*

## **Summary**

*NUKEM has developed a conveyor belt free-measurement system (FREMES) for the measurement and automatic sorting into different (radiological) waste categories or into free release of large quantities of potentially contaminated bulk materials. The bulk materials are measured with regard to specific activities (in the presented plant for uranium) and subsequently sorted. In the plant used at FBFC International in Belgium, more than 45,000 tons of soil were classified in this way, of which more than 95% directly passed free-release measurement. The subdivision of the non-free-measured quantities into conditional free-release materials (landfill), low-level radioactive waste and "hot-spots" was carried out including sorting during operation within three years of operation. Optimisations during operation lead to improvement of the throughput from 10 tons of soil per hour to up to 15 tons of soil per hour. At the same time, the design with two detectors enables a reduced throughput in the event of a failure of one of the detectors, which means that operations can continue until repairs are carried out. The successful adaptation of the plant to the requirement of sorting building materials (Ytong, concrete, bricks, stones) will be presented, too.*

**Schlüsselwörter** *automatische Sortieranlage, Freimessung, Charakterisierung, Schüttgüter*  
**Keywords** *automated sorting, free release measurement, characterization, bulk materials*



## 1. Einleitung

NUKEM's System FREMES (siehe z.B. Abbildung 1) bietet die Möglichkeit, große Mengen verschiedener Schüttgüter (wie Bodenarten, zerkleinerte Baumaterialien, geschredderte Metalle) in Echtzeit und mit hohem Durchsatz radiologisch zu charakterisieren und zu sortieren. Bei der Anwendung für den Rückbau der Brennelementefabrik von FBFC International in Dessel/Belgien wurden während der Betriebszeit bis 2020 mehr als 45.000 Tonnen Boden und zerkleinerte Baumaterialien erfolgreich verarbeitet, was die Freigabe von etwa 95 % des Gesamtmaterials ermöglichte. Dies stellt einen sehr wichtigen wirtschaftlichen und ökologischen Vorteil dar.

Typische Durchsätze von mehr als 15 t/h konnten erreicht werden. Das System ist generell flexibel an die Bedürfnisse des Kunden anpassbar (z.B. hinsichtlich der betrachteten Nuklide, der Sortiergrenzen, des Durchsatzes, der geforderten Messgenauigkeit, usw.). Der Mess-, Auswerte- und Sortierprozess läuft dabei vollautomatisch ab, und das System kann ohne spezielle radiologische Fachkenntnisse bedient werden, wobei automatisierte Qualitätsmaßnahmen und eine regelmäßige Überprüfung durch NUKEM-Experten eine gleichbleibend hohe Qualität der Ergebnisse sicherstellen.



Abb. 4: Überblick über die Bodencharakterisierung und -sortierung mit FREMES:  
Das Material wird per LKW eingefüllt (rechts), dann gepuffert und über Förderbänder zu den Mess-/Sortierbändern (blaue Behälter) transportiert und anschließend zu Haufen und Behältern sortiert (links)

Der zentrale Messprozess läuft nach den folgenden Grundschritten ab:

- Das Material wird gepuffert und ein kontinuierlicher Strom mit einer definierten, für die Messung geeigneten Geometrie wird erzeugt. (Siehe Abbildung 2.)
- Das Material wird virtuell in Zellen aufgeteilt, für die anschließend mit HPGe-Detektoren Gammaskpektren aufgenommen werden. Eine Waage erfasst das Gewicht.
- Unmittelbar nach der Aufnahme werden die Daten ausgewertet und für jede abtrennbare Portion die enthaltene spezifische U-235-Aktivität automatisch bestimmt, einschließlich der Unsicherheitswerte gemäß ISO 11929. Für die Auswertung wird automatisch eine mit der MCNP-Simulationssoftware vorberechnete Wirkungsgradkalibrierung für die richtige Dichte berücksichtigt.
- Das Ergebnis wird mit den vorgegebenen Grenzwerten (einschließlich einer Sicherheitsmarge) verglichen und in die Kategorien eingeteilt:
  - o Uneingeschränkte Freigabe (Free Release, FR)
  - o Bedingte Freigabe (Conditional Release, CR)
  - o (Schwach-)radioaktive Abfälle (Radioactive Waste, RW)



Abb. 5: Das Material wird kontinuierlich unter den Detektoren in definierter Geometrie geeignet für die Messungen bewegt.

## 2. Kontinuierliche Verbesserung

Für die ursprüngliche Anwendung war das System so ausgelegt, dass es Bodenmaterial mit einem bestimmten Durchsatz verarbeiten konnte, um seine Messaufgabe unter den gegebenen Umständen (insbesondere erwartete Materialeigenschaften, Strahlungshintergrund usw.) zu erfüllen. Durch die Auswertungen der Betriebserfahrung konnten die ursprüngliche ursprüngliche Bodenmaterialhöhe von 10 cm um einige cm erhöht werden, was auch den Durchsatz des Systems steigerte. Das System ließ sich hierfür leicht mechanisch verstellen, und es wurden MCNP-Berechnungen für die neue Geometrie durchgeführt, um die radiologische Machbarkeit dieser Änderung zu zeigen.

Praktische Testmessungen zeigten, dass das System unter den in Dessel herrschenden Bedingungen im Fall des Ausfall eines Detektors mit bis zu 80 % des Standarddurchsatzes noch mit einem Detektor betrieben werden konnte, da genügend Spielraum für die Nachweisgrenze vorhanden war. Gleichzeitig wurde ein Algorithmus in die Messsoftware implementiert, der in der Lage war, solche Fehlfunktionen eines einzelnen Detektors in Echtzeit zu erkennen.

Weitere Verbesserungen durch Betriebserfahrungen sind z.B. Anzeigen, Exportfunktionen usw. zur Überwachung der Betriebsleistung und der Ergebnisse des Systems sowie einfachere und intuitivere Möglichkeiten für die Bediener, das System zu handhaben. Nach einer kurzen, entsprechenden Vorbereitung von Software, Hardware und zugrundeliegenden physikalischen/radiologischen Prinzipien (wo nötig), konnten diese oft durch ein kleines Software-Update und einen Test erfolgreich implementiert werden, mit nur kurzer Unterbrechung des Betriebs (in der Regel durch Fernzugriff) in Messpausen, und daher ohne Verlust an Effizienz des Systems.

## 3. Ausweitung auf andere Materialsorten

Die größte Verbesserung des Systems war die Erweiterung des ausgelegten Anwendungsbereich des Systems von Erde auf zusätzliche zerkleinerte Baumaterialien (wie Ziegel, Beton, Ytong etc., siehe Abb. 6 für Beispiele). Ebenso wie für die zuvor beschriebene Erhöhung der Füllhöhe, wurde eine erfolgreiche Bewertung der physikalischen und mechanischen Machbarkeit hinsichtlich MCNP-Berechnungen und anderer radiologischer Überlegungen durchgeführt, sowie überprüft, wie die mechanischen Eigenschaften des Systems durch das geänderte Material beeinflusst wurden. Es stellte sich heraus, dass die physikalische Machbarkeit gegeben war und nur entsprechende Kalibrierungs- und Softwareänderungen

erforderlich waren, was hauptsächlich darauf beruht, dass beide Materialien sehr ähnliche Absorptionseigenschaften für Gammastrahlung haben und mit nahezu identischen Eigenschaften gemessen und ausgewertet werden können. Dies wurde durch eine MCNP-Berechnung für die Detektionseffizienzen belegt, die nur sehr geringe Abweichungen zwischen den verschiedenen Baustofftypen zeigt (siehe Abb. 4). Die konservativste Effizienz wurde dann für die Praxis genommen und in das System implementiert, was die automatisierte Messung aller Arten ohne notwendige Anpassungen während des Betriebs ermöglicht (und damit den Arbeitsprozess und die Effizienz für die Bediener erheblich vereinfacht). Allerdings mussten im Gegensatz zum Boden unterschiedliche Nuklidzusammensetzungen für das Material je nach Herkunft vor Ort berücksichtigt werden, wodurch die Berechnung der Gesamtaktivität und deren Vergleich mit den gesetzlichen Grenzwerten unterschiedlich war. Dem wurde durch entsprechende Aktualisierung der Software Rechnung getragen, um je nach Situation unterschiedliche Betriebsparameter einstellen zu können.



Abb. 6: Steine und Beton, zerkleinert auf unter 2,5 cm Korngröße als Beispiel für neue Materialtypen, die mit dem System verarbeitet werden können.

Für einen restriktiveren Nuklidvektor wurde das System auch automatisch auf einen Betriebsmodus mit niedrigerer Geschwindigkeit eingestellt (es war kein Eingriff des Bedieners erforderlich), um den in diesem Fall erforderlichen längeren Messzeiten Rechnung zu tragen. Für die anderen Materialien wurden einige leicht handhabbare Hardwaremodifikationen (z. B. schützende Metallplatten) durchgeführt. Die notwendigen Anpassungen wurden bei geringstmöglicher Betriebsunterbrechung durchgeführt.

Danach war das System nicht nur in der Lage, die neue Materialkategorie zu messen, sondern auch einfach zwischen der Verarbeitung beider Materialkategorien zu wechseln, mit einfachem und fehlersicherem Umschalten der erforderlichen Kalibrierungseinstellungen durch die Bediener (siehe Abb. 8), war in der aktualisierten Software entsprechend vorgesehen.

Die typische Wechselzeit zwischen zwei Kategorien lag unter einer Stunde und beanspruchte letztlich vor allem die Zeit für die notwendigen mechanischen Umbauten und das Materialhandling. Der physikalische und radiologische Teil wurde vollständig in den vorbereiteten Parametersätzen des Systems berücksichtigt, für die die Bediener nur die entsprechende Einstellung für die tatsächliche Situation auswählen mussten.

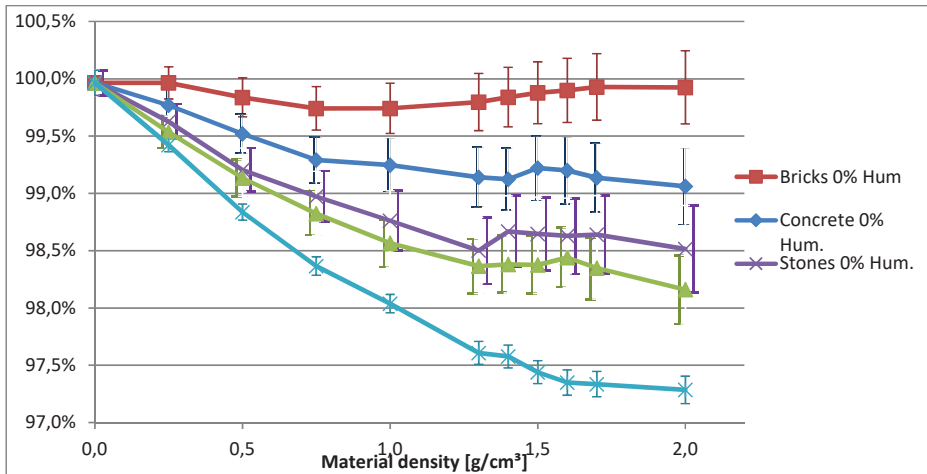


Abb. 7: Nachweiswahrscheinlichkeiten für die unterschiedlichen Materialarten/Feuchte in der betrachteten Messgeometrie, zur besseren Vergleichbarkeit auf die Werte für Boden normiert. Die Fehlerbalken zeigen die statistische MCNP-Berechnungsunsicherheit und erklären die kleinen Schwankungen in den Kurven. (Einige Fehlerbalkensätze sind zur besseren Darstellung seitlich verschoben).

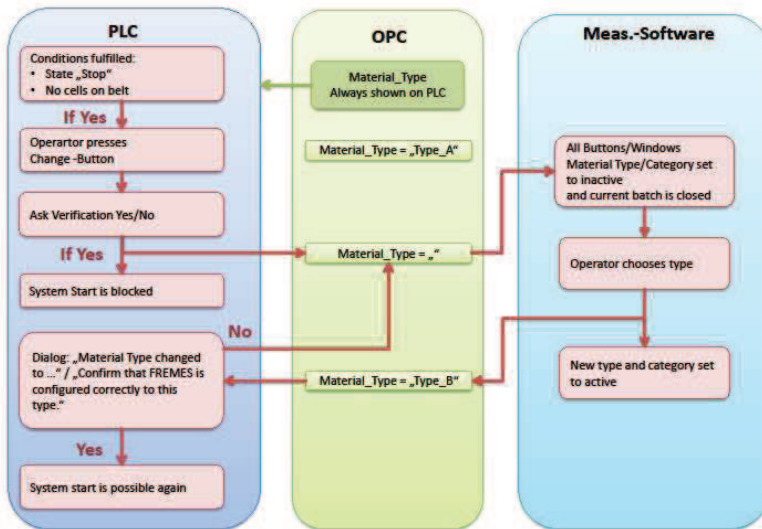


Abb. 8: schematischer Prozessablauf für den Wechsel der Materialkategorie durch den Bediener (in Englisch)

#### 4. Dokumentation und Genehmigung der Änderungen

Alle Änderungen am System wurden gründlich dokumentiert, um von Kunden und Behörden klar beschrieben, bewertet und akzeptiert zu werden. Für jede Verbesserung wurden die notwendigen Überlegungen und Vorbereitungen, mit dem Kunden zu besprochen, abgestimmt und zu einem Bericht zusammenzufassen, der dann von der Behörde (ggf. nach Leistungstest)

genehmigt wurde. Die Verbesserung konnte dann durchgeführt werden, während die normale Messung bis zum Änderungspunkt unbeeinflusst blieb.

Hierfür wurden spezielle Verifikationstestverfahren entwickelt, die sowohl in der Praxis einfach umzusetzen waren als auch die Zuverlässigkeit des Systems belegen. Diese wurden bei den Systemänderungen wiederholt verwendet. Die Verfahren umfassten (je nach Typänderung) Tests und Kontrollen von z. B.:

- Überprüfung der mechanischen Einstellungen
- Überprüfung der korrekten grundlegenden Software- und Hardwaresteuerungsfunktionalitäten
- Qualitätskontrollen der radiologischen Systeme und Auswertung nach standardisierten Verfahren
- Testläufe mit unkontaminiertem Material, mit Auswertung von Standard-Messparametern (z. B. Massenbestimmung, Nachweisgrenzen etc.)
- Testmessung von radioaktiven Referenzquellen
- Testläufe mit bereits gemessenem Material, um die bekannten Ergebnisse im neuen Messaufbau zu reproduzieren

## 5. Zusammenfassung

Das FREMES-System hat über 3 Jahre zuverlässig am Standort Dessel gearbeitet und wurde in dieser Zeit ohne größere Betriebsunterbrechung kontinuierlich verbessert und in seinen Fähigkeiten erweitert. Das System bietet daher einen zuverlässigen Weg zur Charakterisierung großer Mengen potenziell kontaminierter Materialien bei hohem Durchsatz, während es sowohl in seinen ursprünglichen Designparametern als auch für eine spätere Optimierung entsprechend der neuen Situation flexibel bleibt. Dies zeigte sich insbesondere in der erfolgreichen Umrüstung auf die Messung von gebrochenem Baumaterial sowie der vorhandenen Bodenmaterialkonfiguration mit einem effizienten Umrüstungsverfahren und der Möglichkeit für schnelle Änderungen bei Bedarf während des Betriebs. Beides wurde auf diese Weise durch eine sorgfältige Planung aller Entwurfsschritte und -aspekte parallel zum laufenden Betrieb bis hin zu deren abschließender Freigabe, Umsetzung und Verifizierung möglich. Dies hält nicht nur die Messunterbrechung auf einem Minimum, sondern bietet den Bedienern auch das effektivste System, um ihre Arbeit von Beginn der Modifikation an mit höchster Arbeitseffektivität und Durchsatz auszuführen.

Diese Änderungen haben sich über die Betriebszeit als gewinnbringende und zufriedenstellende Verbesserungen des Systems und seiner erfüllten Aufgabe erwiesen und helfen nicht nur dem Kunden, seine Anforderungen besser zu erfüllen, sondern machen das System auch zu einer effektiveren Lösung für alle zukünftigen Anwendungen. Die Planung, Auslegung und auch spätere Erweiterungen des Systems auf andere Materialien, Nuklide und allgemeine Anwendungen sind in ähnlicher Weise möglich, wie sie hier demonstriert und in der Praxis erprobt wurden, und machen es zu einer vielseitigen Lösung für viele Aufgaben im Bereich der Schüttgutcharakterisierung, Sortierung und Freigabe.

## **P2: AEROSOLÜBERWACHUNG FÜR DEN UMGANG MIT RADIOPHARMAZEUTISCHEN ALPHANUKLIDEN**

### **AEROSOL MONITORING FOR THE HANDLING OF RADIOPHARMACEUTICAL ALPHA NUCLIDES**

Marco Wendler<sup>1</sup>, Sven Kowe<sup>1</sup>, Marcus Walter<sup>2</sup>, Frank Schöne<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Helmholtz-Zentrum Dresden-Rossendorf e. V., Deutschland; <sup>2</sup>VKTA - Strahlenschutz, Analytik & Entsorgung Rossendorf e. V.; <sup>3</sup>Ingenieurbedarf Günter Schöne & Wolfgang Schreiber GmbH

#### **Zusammenfassung**

*Im Institut für Radiopharmazeutische Krebsforschung des Helmholtz-Zentrums Dresden-Rossendorf wird in Zukunft verstärkt mit Alphanukliden mit kurzen Halbwertszeiten (im Bereich von Minuten bis Tagen) umgegangen. Um eine adäquate strahlenschutztechnische Überwachung der Mitarbeiter sicherzustellen, wurden Aerosolsammler und -monitore beschafft und installiert. Eine besondere Herausforderung stellt die Kompensation der natürlichen Radioaktivität in der Luft dar, welche den Messeffekt beeinflusst.*

#### **Summary**

*In the future, the Institute for Radiopharmaceutical Cancer Research at the Helmholtz Centre Dresden-Rossendorf will increasingly handle alpha nuclides with short half-lives (in the range of minutes to days). Aerosol collectors and monitors were procured and installed to ensure adequate monitoring of staff. A particular challenge is the compensation of natural radioactivity in the air, which affects the measurement.*

**Schlüsselwörter** Alphastrahler, Radiopharmazie, Inkorporationsüberwachung

**Keywords** alpha emitter, radiopharmacy, incorporation monitoring

## **1. Einleitung**

Seit einigen Jahren wird der zielgerichteten Alphapartikeltherapie (engl. Targeted Alpha-particle therapy, kurz: TAT) größere Aufmerksamkeit in der radiopharmazeutischen Forschung sowie in der Nuklearmedizin entgegengebracht. Bereits seit 2015 wird im Institut für Radiopharmazeutische Krebsforschung im Helmholtz-Zentrum Dresden-Rossendorf e. V. an Alphanukliden und Biomolekülen gearbeitet und geforscht. Zukünftig wird der Ausbau der Tätigkeiten auf die präklinische Forschung (in vitro und in vivo-Untersuchungen) angestrebt. Um diesem Ziel gerecht zu werden, ist die Ausweitung des Umgangs von einem auf zunächst fünf Laborräume geplant. Später soll der Alpha-Umgang auch in einem weiteren Kontrollbereich mit ebenfalls fünf Laborräumen etabliert werden. Im Fokus des Umgangs stehen vor allem die Radionuklide Ra-224+ (3,6 d), Ac-225+ (10 d), Bi-213+ (HWZ: 45,6 min) und Th-227 (18,7 d).

## 2. Problemstellung

Alphastrahler senden bei ihrem Zerfall hochenergetische Teilchen in Form von zweifach positiv geladenen Heliumionen aus. Diese Teilchen geben ihre Energie auf kurzer Strecke an die umliegende Materie ab. Die TAT macht sich dieses Prinzip zu Nutze, um Tumore effektiv zu behandeln und gleichzeitig das umliegende, gesunde Gewebe zu schonen (Bruchertseifer, Kellerbauer, Malmbeck, & Morgenstern, 2019). Während für die Patienten bei einer Behandlung keine Dosisgrenzwerte festgelegt sind, werden Mitarbeiter in der Forschung vom Strahlenschutz bezüglich ihrer beruflichen Exposition überwacht, um den gesetzlichen Grenzwert von 20 mSv im Jahr für die effektive Dosis einzuhalten. Bei der Forschung mit den o. g. Alphastrahlern ist Vorsicht geboten, da trotz deren Kurzlebigkeit mit der hohen therapeutischen Wirksamkeit auch eine dementsprechende innere Exposition für das Personal einhergeht.

Während sich die externe Exposition mittels üblicher Verfahren wie Abschirmung und Abstand begrenzen und durch ein geeignetes Dosimeter überwachen lässt, stellt die Inkorporationsüberwachung kurzlebiger Alphastrahler eine Herausforderung für den Strahlenschutz dar. Im bestimmungsgemäßen Betrieb besteht die Inkorporationsgefahr durch Aerosolbildung mit sich anschließender Inhalation. Aufgrund der Kurzlebigkeit ist der Nachweis einer Inkorporation mittels in-vivo-Gammaspektrometrie oder durch Ausscheidungsanalytik nur innerhalb weniger Tage nach der Zufuhr möglich. In der Stellungnahme [2] wird daher für die regelmäßige Inkorporationsüberwachung die Messung der Aktivitätskonzentration in der Raumluft am Arbeitsplatz zur Kontrolle von Schwellenwertüberschreitungen in Kombination mit anderen Überwachungsverfahren empfohlen. Gemäß der Richtlinie für die physikalische Strahlenschutzkontrolle zur Ermittlung der Körperdosen, Teil 2: Ermittlung der Körperdosis bei innerer Strahlenexposition (Inkorporationsüberwachung) (kurz: RiPhyKo Teil 2), kann die Dosisermittlung bis zu 6 mSv mittels der Raumluftüberwachung erfolgen (Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit, 2007).

## 3. Anforderungen an die Messung der Aktivitätskonzentration

Der Schwellenwert zur Überwachung der Aktivitätskonzentration in der Raumluft muss so eingestellt sein, dass eine effektive Folgedosis von 1 mSv im Kalenderjahr bei 2.000 Stunden Arbeitszeit und einer Atemrate von 1,2 m<sup>3</sup>/h nachgewiesen werden können. In Tabelle 1 sind die Radionuklide mit zugehörigem Richtwert für die jährliche Aktivitätszufuhr und die dosimetrischen Nachweisgrenzen angegeben.

Tabelle 1: Radionuklide mit RJAZ und NWG

Radionuklid	RJAZ in Bq	NWG in Bq/m <sup>3</sup>
Th-227	2,34E+03	0,049
Ac-225+	3,19E+03	0,067
Ra-224+	7,50E+03	0,17
Bi-213	4,88E+05	10

Erschwerend kommt hinzu, dass beim Abscheiden von Aerosolen auf einem Filter auch natürliche Radionuklide aus den Radon-220/222-Zerfallsreihen akkumuliert werden. Diese stören bei Messung der Gesamalpha/-beta-Aktivität auf dem Filter. Ein Abklingen der

Raumluftfilter über mehrere Tage, wie es bei Raumluftmessung langlebiger Radionuklide üblicherweise praktiziert wird, ist wegen der bedarfsweisen Veranlassung ergänzender zeitnahen Messungen nur begrenzt möglich. Die Strategie der Probenentnahme und Messung ist diesbezüglich zu optimieren.

Ein weiterer Aspekt für die Eignung der Probenentnahme- und Messverfahren ist die Geräuschemissionen der Geräte am Arbeitsplatz. Die wissenschaftlichen Tätigkeiten im Labor erfordern eine andauernd hohe Konzentration, womit ein Lärmpegel von 55 dB(A) nicht überschritten werden sollte. Dies wird von vielen Aerosolsammlern/-monitoren mit leistungsstarken Pumpen nicht erreicht. Die Geräte müssen je nach Ausführung platzsparend und möglichst kompakt gebaut sein, um so wenig wie möglich Arbeitsfläche in den Laborräumen zu verbrauchen.

Weiterhin sollten die Geräte mit wartungsfreien Pumpen ausgerüstet sein. Nach Möglichkeit sollten die Geräte auch über einen Netzwerkanschluss verfügen, um das zentrale Abrufen von Messwerten und die Konfiguration vom Arbeitsplatz des Strahlenschutzes zu ermöglichen.

## **4. Praktische Umsetzung**

### **4.1 Grundzüge der Überwachung**

Um eine umfangreiche Überwachung zu ermöglichen wurden drei Aerosolmonitore und zwei Aerosolsammler für insgesamt zehn Laborräume in zwei getrennten Kontrollbereichen beschafft. Die Probenentnahme und Messung erfolgt dabei nach der gleichen Messstrategie mittels Zeitsteuerung in wiederkehrenden Zyklen:

- Probenentnahme während der üblichen Arbeitszeit
- Abklingzeit ohne Luftdurchsatz von ca. 18 Uhr bis zur Messung am Folgetag
- Messung nach Abklingen der Radon-222 Folgeprodukte

Mit dieser Methode kann die mittlere Aktivitätskonzentration eines Arbeitstages ermittelt werden. Das Messergebnis steht am jeweiligen Folgetag zur Verfügung. Durch die Begrenzung der Probenentnahme auf den Zeitraum der üblichen Arbeitszeit wird die Akkumulation der störenden Radonfolgeprodukte minimiert. Die Aerosolmessungen dienen primär zur Überwachung von Schwellwerten. Bei der Überschreitung von festgelegten Schwellwerten werden durch den Strahlenschutz Maßnahmen ergriffen. Dabei kommt zunächst die nuklidspezifische Ermittlung der Aktivitätskonzentration durch Nachauswertung mittels Gamaspektrometrie in Betracht. Mit diesen Messwerten kann die Körperdosis bis zu einer effektiven Folgedosis von 6 mSv im Kalenderjahr ermittelt werden. Bei Verdacht auf signifikante Inkorporation steht am Forschungsstandort Rossendorf der Ganzkörperzähler zur in-vivo Messung bzw. die Ausscheidungsanalyse (Urin) zur Verfügung. Mit diesen Methoden können bei unverzüglicher Untersuchung effektive Folgedosen von ca. 1 mSv erkannt werden.

### **4.2 Aerosolmonitoring**

Für den mobilen Einsatz wurden drei Aerosolmonitore vom Typ Aer 5000 von der Firma SARAD GmbH beschafft. Diese Aerosolmonitore verfügen über eine geräuscharme Pumpe, ein Filterband für mehr als 300 Filterwechsel und einen ionenimplantierten Siliziumdetektor zur alphaspektrometrischen Differenzierung der Radionuklide (SARAD GmbH, 2021). Der Aer



5000 sammelt zunächst über einen Zeitraum von 10 h Aerosole und scheidet diese auf dem Filterband ab, danach wird die Pumpe abgeschaltet, damit die Radonfolgeprodukte auf dem Filter für einige Stunden abklingen. Im Anschluss wird der Filter gemessen und die Impulse entsprechend ihrer Energie in bestimmte Energiefenster einsortiert. Anhand einer Kalibrierung und der Anzahl der Impulse werden eine Nachweisgrenze und ein Messergebnis ermittelt. Die Nachweisgrenze liegt dabei zumeist im Bereich von 1-2 mBq/m<sup>3</sup>. Durch eine Signalampel wird angezeigt, ob eine Schwellwertüberschreitung stattgefunden hat. Nach Ende der Messung findet ein Filtervorschub statt, sodass für die nächste Probenentnahme ein neues, unbenutztes Stück Filterband zur Verfügung steht.

Das System arbeitet den Zyklus solange ab, bis ein Fehler (z. B. Ende des Filterbands) auftritt oder es manuell gestoppt wird. Die Daten können mittels eines PCs über eine USB-Verbindung oder über eine Netzwerkschnittstelle abgerufen werden.

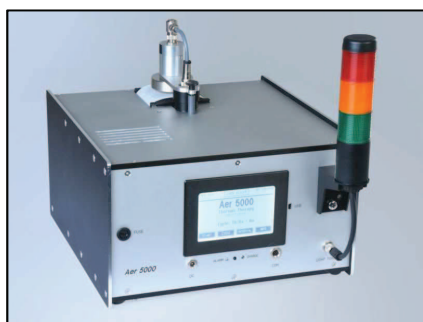


Abbildung 3: Aer 5000 der Firma SARAD GmbH (SARAD GmbH)

#### 4.3 Aerosolsammlung

Für den stationären Einsatz wurde auf Basis der Vorgaben vom Ingenieurbedarf Günter Schöne und Wolfgang Schreiber GmbH der Aerosolsammler vom Typ MAS625 neu entwickelt (Ingenieurbedarf Günter Schöne und Wolfgang Schreiber GmbH, 2022). Bei diesem Gerät handelt es sich um einen mehrkanaligen Aerosolsammler, d. h. es können mittels einer Pumpe gleichzeitig mehrere unabhängige Filter beaufschlagt werden. Für jeden einzelnen Kanal ist ein Massendurchflussmesser mit Nadelventil zur Feinregelung des Volumenstroms vorhanden. Der MAS625 ist mit einer speicherprogrammierbaren Steuerung (SPS) ausgestattet, die u. a. zur Zeitsteuerung (Starten und Stoppen) der Aerosolsammlung dient. Der Aerosolsammler ist außerhalb der Laborräume in einem Wandschrank auf dem Laborflur aufgestellt. Von dort verlaufen Druckluftschläuche in die jeweiligen Laborräume zu den Filterhalterungen am Arbeitsplatz. Die Filteraufnahme und die Pumpe sind über Schläuche miteinander verbunden, als Verbindungsarmaturen dienen Schnellkupplungen. Im Labor wird morgens ein neuer, unbenutzter Glasfaserfilter eingelegt und anschließend über 10 h beaufschlagt. Nach automatischer Abschaltung klingen die Radonfolgeprodukte auf dem Filter über 12 h ab. Am nächsten Morgen erfolgt der Wechsel des Glasfaserfilters und die anschließende Messung der Gesamt-Alpha/Beta-Aktivität im automatischen Probenwechsellmessplatz vom Typ Thermo FHT 770 G-60A durch das Strahlenschutzpersonal. Über diese Methode können die gewünschten Nachweisgrenzen von 10 bis 50 mBq/m<sup>3</sup> erzielt werden.



Abbildung 4: MAS625

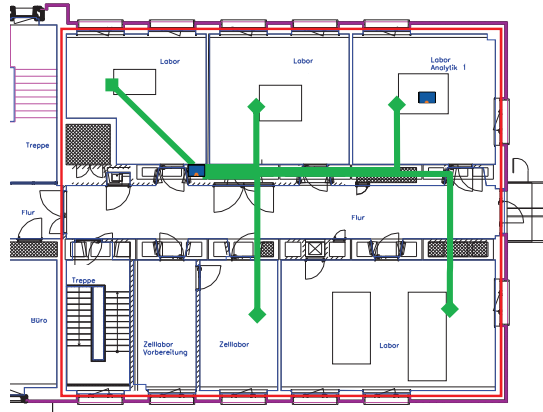


Abbildung 5: Standort MAS625 und Verlauf der Schläuche

Durch das Aufstellen des MAS625 in einem Wandschrank auf dem Flur, sind in den Laboren wie auch auf dem Flur keine zusätzliche Lärmemissionen wahrnehmbar. Durch einen Netzwerkanschluss des MAS625 lassen sich Messdaten wie der (Live-)Durchsatz über eine Software vom Büroschreibtisch aus abrufen. Aktuell verfügen beide beschafften Geräte über je vier Ansaugstutzen, bei Bedarf lassen sich pro Gerät zwei weitere durch den Hersteller nachrüsten.

## 5. Erste Tests & Ergebnisse

### 5.1 Aerosolmonitor

Die Aerosolmonitore wurden Anfang 2021 geliefert und aufgestellt. Seitdem wird der Aer 5000 weitestgehend in die Überwachung eingegliedert. Bisher ist nur die Detektion von Th-227 und Ac-225+ kalibriert. Für die übrigen Radionuklide liegt bisher keine nuklidspezifische Kalibrierung vor. Dies soll in Kooperation mit dem Hersteller entwickelt werden.

Die geforderten Nachweisgrenzen werden um ca. eine Größenordnung unterschritten, was eine zuverlässige und sichere Überwachung der Mitarbeitenden garantiert. Der Datentransfer wurde über eine Netzwerkschnittstelle sichergestellt, somit muss das Labor zur Messwertübermittlung nicht betreten werden. Das Gerät arbeitet leise und ist bei laufender Lüftung kaum wahrnehmbar.

### 5.2 Aerosolsammler

Die beiden Aerosolsammler wurden Ende 2021 geliefert. Nach Verlegung der Druckluftschläuche im Kontrollbereich wurde der Aerosolsammler aufgestellt und angeschlossen. Seit Mai 2022 läuft die Testphase für einen der beiden Aerosolsammler. Wie zu erwarten, zeigte sich in den ersten Tests, dass der Effekt durch die Radonfolgeprodukte noch einen relevanten Einfluss auf die Aktivität auf dem Filter hat. Wesentlich ist dabei Pb-212+ (Halbwertszeit 10,6 h). Demzufolge wird die Aktivitätskonzentration in der Raumluft in Bezug auf die radiopharmazeutischen Alphastrahler überschätzt. Hier bedarf es noch betrieblicher Erfahrungswerte zur Bewertung.

Der Aerosolsammler erfüllt die gestellten Anforderungen in Bezug auf den Volumenstrom, die Wartungsfreiheit und die emittierten Geräusche. Der gewünschte Effekt in den Laboren: vom Aerosolsammler werden keine Geräusche wahrgenommen, und das Laborpersonal kann sich auf ungestört auf die wissenschaftliche Arbeit konzentrieren. Ebenso praktisch ist die einzelne Quantifizierung der Volumenströme und die Möglichkeit für jeden Filterhalter den Volumenstrom separat anzupassen.

Ein wesentlicher Vorteil gegenüber dem Aerosolmonitor ist, dass der tagesweise beaufschlagte Schwebstofffilter stets für weitere Untersuchungen zur Verfügung steht. So kann bei Schwellwertüberschreitung eine nuklidspezifische Analyse mittels Gammaskopie erfolgen.

## 6. Zusammenfassung

Die wesentlichen Vorbereitungen für den erweiterten Umgang mit kurzlebigen Alphastrahlern wurden getroffen, die Messtechnik wurde beschafft, installiert und getestet. Im nächsten Schritt sind Schwellwerte und Maßnahmen festzulegen, um Inkorporationen rechtzeitig zu erkennen, die resultierende Dosis zu erkennen und bei Bedarf weitere Maßnahmen zu ergreifen, um das Inkorporationsrisiko abzusenken.

## 7. Literaturverzeichnis

- [1] F. Bruchertseifer, A. Kellerbauer, R. Malmbeck und A. Morgenstern, „Targeted alpha therapy with bismuth-213 and actinium-225: Meeting future demand,“ *Journal of Labelled Compounds and Radiopharmaceuticals*, Bd. 62, Nr. 11, 2019.
- [2] Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit, „Richtlinie für die physikalische Strahlenschutzkontrolle zur Ermittlung der Körperdosis - Teil 2: Ermittlung der Körperdosis bei innerer Strahlenexposition,“ BMU, Bonn, 2007.
- [3] SARAD GmbH, „Technische Daten Aer 5000 Desktop,“ SARAD GmbH, Dresden, 2021.
- [4] SARAD GmbH, „Aer 5000: Continuous Air Monitor als Tischgerät,“ [Online]. Available: <https://www.sarad.de/cms/media/timthumb.php?src=produkte/images/37171%20Sarad%2085%20Format%204%20zu%203.jpg&h=195&w=260&zc=1>. [Zugriff am 29.06.2022].
- [5] Ingenieurbedarf Günter Schöne und Wolfgang Schreiber GmbH, „Multi-Aerosol-Sammler MAS625 zur Raumluftüberwachung - Betriebsanleitung,“ Ingenieurbedarf Günter Schöne und Wolfgang Schreiber GmbH, Radeberg, 2022.

### **P3: IDEA-SD: EINE NEUE SOFTWARE ZUR OPTIMIERUNG DER DOSIMETRIE DER SCHILDDRÜSE BEI DER RADIOIODTHERAPIE**

Hans Richard Doerfel

*IDEA System GmbH, Deutschland*

IDEA System hat eine neue Software (IDEA-SD) entwickelt, mit deren Hilfe die Radioiodtherapie im Sinne der Handlungsempfehlung der Deutschen Gesellschaft für Nuklearmedizin optimiert werden kann. Nach der Handlungsempfehlung sollte die Therapie möglichst zeitnah nach dem Test erfolgen, um den Einfluss von zeitlichen Veränderungen der Biokinetik zu minimieren. IDEA-SD ermöglicht eine zuverlässige Dosisbestimmung bereits zwei Tage nach Applikation der Testaktivität. Dadurch ist es möglich, die zur Therapie erforderliche Aktivität noch während des Tests zu bestellen, so dass die Therapie unmittelbar im Anschluss an den Test begonnen werden kann. Dadurch kann eine optimale Zeitnähe zwischen Test und Therapie gewährleistet werden. So kann die Wahrscheinlichkeit für Fehldosierungen infolge von Veränderungen der Biokinetik in der Zeit zwischen Test und Therapie verringert werden. Insbesondere können dadurch die in manchen Fällen nach Absetzen der Thyreostatika beobachteten Erhöhungen des Uptakes und die damit verbundenen Überdosierungen reduziert oder im günstigsten Fall sogar vermieden werden. IDEA-SD ermöglicht außerdem auch eine frühe Bestimmung der bei der Radioiodtherapie erzielten Dosis, so dass in vielen Fällen eine frühere Entlassung möglich ist als bei der jetzigen Praxis. Dies kann insgesamt zu einer erheblichen Kostenersparnis führen. Mit IDEA-SD können demnach sowohl die Strahlenexposition als auch die Kosten der Radioiodtherapie im Sinne des ALARA-Prinzips reduziert werden.

### **P4: DAS NEUE TL-DOS PERSONENDOSIMETER - TECHNISCHE UND DOSIMETRISCHE EIGENSCHAFTEN**

Jörg Walbersloh<sup>1</sup>, Elena Lynnyk<sup>1</sup>, Marion Schulte<sup>1</sup>, Kevin Kröninger<sup>2</sup>, Jens Weingarten<sup>2</sup>

*<sup>1</sup>Materialprüfungsamt NRW, Personendosismessstelle; <sup>2</sup>Technische Universität Dortmund, AG Kröninger (Physik E4)*

Mit dem Wegfall des Gleitschattenfilm dosimeters wird in der Personendosismessstelle am Materialprüfungsamt NRW mit dem TL-DOS Ganzkörperdosimeter ein inhouse-entwickeltes Dosimetriesystem eingeführt.

Dieses Thermolumineszenzdosimetersystem wurde eigens dafür entwickelt, sowohl den Ansprüchen einer großskalierten Messstelle (mehr als 120.000 Auswertungen pro Monat) hinsichtlich Logistik, Durchsatz und Kundenfreundlichkeit zu genügen als auch den gegenüber der Einführung des Film dosimeters gestiegenen Anforderungen an die dosimetrischen Eigenschaften Rechnung zu tragen.

Der Beitrag präsentiert in einem kurzen Abriss die technischen Eigenschaften des Dosimeters und im Hauptteil dessen dosimetrische Performance. Gezeigt werden u.a. das Energieansprechvermögen in Bezug auf Hp(10), Linearität und Variationskoeffizient.

Ein besonderer Fokus liegt auf der Beschreibung der Kontrolle der Fadingeigenschaften des Systems, die einen Einsatzzeitraum von 6 Monaten zulassen.

## **P5: DOSIMETRISCHE QUALITÄTSKONTROLLE VON BLUTBESTRAHLUNGSANLAGEN MIT THERMOLUMINESZENZ- DETEKTOREN**

Marion Schulte, Olena Lynnyk, Jörg Walbersloh

*Materialprüfungsamt NRW, Deutschland*

Bluttransfusionen bei immunsupprimierten Patienten können als Komplikation das Graft-versus-Host Disease zur Folge haben. Verhindert wird dies durch die Bestrahlung der Blutprodukte vor der Weitergabe an den Empfänger. Die Blutprodukte sollten mit einer Dosis von minimal 25 Gy und maximal 50 Gy bestrahlt werden. Abweichungen von diesem Dosisbereich können den Empfänger gefährden, weshalb eine regelmäßige dosimetrische Qualitätskontrolle der Blutbestrahlungsanlagen unerlässlich ist.

Diese Qualitätskontrolle soll zukünftig von der Personendosismessstelle am MPA NRW mit Thermolumineszenz (TL)-Dosimetern angeboten werden. Da der Vorgang in der entsprechenden Richtlinie Hämotherapie nicht detailliert definiert ist, werden die zentralen Aspekte dazu genauer ausgearbeitet, und ein Vorgehen für die Qualitätskontrolle definiert.

In diesem Beitrag werden die praktische Umsetzung der Qualitätskontrolle, sowie Ergebnisse erster Testmessungen präsentiert. Schwerpunkte liegen dabei vor allem auf der Kalibrierung der Detektoren, dem Hochdosisverhalten und speziellen Adaptern, die eine präzise Positionierung der Detektoren ermöglichen.

## **P6: DOSISERMITTLUNGEN IM ANTROPOMORPHEN PHANTOM IN DER CT MIT TLD UND FILMDOSIMETRIE UND VERGLEICH MIT BERECHNUNGSVERFAHREN**

Moritz Schneider<sup>1</sup>, Klaus Herz<sup>2</sup>, Leone Neubauer<sup>2</sup>, G. Grözinger<sup>3</sup>, G. Fehrenbacher<sup>2</sup>,

<sup>1</sup>Sektion für biomedizinische Physik, Klinik für Radioonkologie, Universitätsklinikum Tübingen und Eberhard-Karls-Universität Tübingen

<sup>2</sup>Isotopenlabor und Strahlenschutz, Eberhard-Karls-Universität Tübingen und Universitätsklinikum Tübingen

<sup>3</sup>Diagnostische und Interventionelle Radiologie, Department für Radiologie, Universitätsklinikum Tübingen

### **Zusammenfassung**

*In dieser Arbeit wurden verschiedene Methoden zur Bestimmung von Effektivdosiswerten und Organdosiswerten bei mehreren klinischen CT-Untersuchungsprotokollen untersucht. Als Referenz diente eine Punktdosismessung mithilfe von Thermolumineszenzdetektoren (TLD) im anthropomorphen Alderson-Phantom. Verglichen wurden diese Ergebnisse mit Berechnungen der Effektivdosis mithilfe von Konversionsfaktoren aus dem Dosislängenprodukt, der analytischen Berechnung von Effektivdosis- und Organdosiswerten und einer Monte-Carlo-Simulation der Dosisverteilung im Alderson-Phantom.*

*Für die effektive Dosis zeigen sich mit Ausnahme eines Protokolls gute Übereinstimmungen der Ergebnisse aller Methoden (Abweichungen < 8 % gegenüber den TLD-Messungen), jedoch unterschätzt die Dosisbestimmung mithilfe von Konversionsfaktoren die Dosis für eine weibliche Patientin deutlich (> 20 % Abweichung zu TLD-Messungen).*

*Im Fall der analytischen Berechnung der Organdosiswerte und der Monte-Carlo-Simulation zeigen sich für die meisten Organe Abweichungen von < 25 % gegenüber der TLD-Messung. Ausnahmen sind Knochenmark, Muskelgewebe, Schilddrüse und die weibliche Brust im Fall der analytischen Berechnung und die Dosis der Ovarien, der Knochenoberfläche und der Schilddrüse im Falle der Monte-Carlo-Simulation mit Abweichungen von bis zu 200 %. Diese sind Folgen unterschiedlicher Einschränkungen der betrachteten Methoden, die zusammen mit ihren jeweiligen Vorzügen herausgearbeitet werden.*

### **Summary**

*In this work, different methods for determining effective dose values and organ dose values in several clinical CT examination protocols were compared. Point dose measurements using thermoluminescence detectors (TLD) in the anthropomorphic Alderson phantom served as a reference. These results were compared with calculations of effective dose values using conversion factors derived from the dose length product, analytic calculation of effective dose and organ dose values and a Monte Carlo simulation of the dose distribution in the Alderson phantom.*

*For the effective dose, the results of all methods show good agreement (deviations < 8% compared with TLD measurements), except for one protocol. Dose determination using conversion factors significantly underestimates the dose for a female patient (> 20% deviation from TLD measurements).*

*In the case of analytical calculation and Monte Carlo simulation of the organ dose values, deviations of < 25% compared to TLD measurements are shown for most organs. Exceptions are bone marrow, muscle tissue, thyroid and female breast in case of analytical calculation and*

*dose of ovaries, bone surface and thyroid in case of Monte Carlo simulation with deviations up to 200 %. These are consequences of different limitations of the considered methods, which are shown in this work together with the merits of the different approaches.*

**Schlüsselwörter:** Computertomographie, Thermolumineszenzdosimetrie, Monte-Carlo-Simulation, Organdosis, effektive Dosis

**Keywords:** computed tomography, thermoluminescence-dosimetry, Monte-Carlo simulation, organ dose, effective dose

## 1. Einleitung

In Deutschland handelt es sich bei etwa 9 % der Untersuchungen mithilfe von Röntgenstrahlung um Computertomographien. Trotzdem ist diese Art der Bildgebung für 67 % der effektiven Dosis durch radiologische Untersuchungen verantwortlich. Aufgrund dieses hohen Dosisbedarfs, des Optimierungsgebotes im Strahlenschutz und den rechtlichen Vorgaben ist die genaue Kenntnis der bei einer Computertomographie entstehenden Dosis besonders wichtig. Besonders die im Zuge der Neuregelung der Strahlenschutzgesetzgebung eingeführte Pflicht zur Aufzeichnung von Untersuchungen mit ionisierender Strahlung und ihrer Dosis (§85 Strahlenschutz-Gesetz (StrSchG), §114 Strahlenschutz-Verordnung (StrSchV)) und der Vergleich der entstandenen Dosis mit Dosisreferenzwerten (§85 StrSchG) macht die zuverlässige Bestimmung von Dosiswerten bei CT-Untersuchungen notwendig.

Ziel dieser Arbeit war der Vergleich unterschiedlicher Ansätze zur Dosisbestimmung bei CT-Untersuchungen. Dabei diente eine Punktdosismessung mithilfe von Thermolumineszenzdetektoren (TLD) im anthropomorphen Alderson-Phantom als Referenz für den Vergleich mit Abschätzungen der effektiven Dosis aus dem Dosislängenprodukt, analytische Berechnung von Organdosiswerten und effektiver Dosis, sowie Monte-Carlo-Simulationen der Dosisverteilung.

## 2. Material und Methoden

Betrachtet wurden klinische Protokolle am Planungs-CT der Klinik für Radioonkologie des Universitätsklinikums Tübingen, einem Gerät vom Typ Philips Brilliance Big Bore. Es wurden vier Untersuchungsprotokolle des Rumpfes mit Röhrenspannungen von 80 kV, 100 kV, 120 kV und 140 kV mit einer Kollimation von je 24 mm und einem Pitch von 0,688 betrachtet. Das System zur Röhrenstrommodulation wurde analog zum klinischen Betrieb verwendet (DoseRight-Index: 15). Als Scanbereich berücksichtigt wurde der gesamte Rumpf vom Kinn bis ca. 5cm unterhalb des Schambeins, um für möglichst viele Organe einen Vergleich der Dosiswerte zu ermöglichen.

Zur experimentellen Bestimmung der Organdosiswerte und der effektiven Dosis wurden 25 TLD (Harshaw TLD100 LiF:Mg,Ti Rods) in Anlehnung an die Vorgehensweise von Koller et al. [1] in das anthropomorphe Alderson-Phantom eingebracht und somit Punktdosiswerte im Phantom bei den beschriebenen Sequenzen bestimmt (Auswertung: Harshaw TLD 5500 TLD-Reader). Über Mittelung der Punktdosiswerte im Bereich eines Organs konnten Organdosiswerte bestimmt und mithilfe dieser und den Gewebewichtungsfaktoren aus Anlage 18 der Strahlenschutzverordnung die effektive Dosis berechnet werden.

Verglichen wurden diese Ergebnisse mit der Abschätzung der effektiven Dosis aus den Dosislängenprodukten der Untersuchungen. Verwendet wurden Konversionsfaktoren aus dem AAPM-Report 69 [2].

Zur analytischen Berechnung von Organ- und Effektivdosen wurde das Programm CT-Expo [3] verwendet. Der für die Messungen verwendete Computertomograph ist in diesem Programm modelliert.

Die Monte-Carlo-Simulation wurde mithilfe des Programmes GMctdospp der THM [4] durchgeführt. GMctdospp basiert auf dem EGSnrc-Dosisalgorithmus und verwendete Dichtewerte von CT-Aufnahmen des Alderson-Phantoms als Berechnungsgrundlage. Der für die TLD-Messungen verwendete Computertomograph wurde in der Anwendung durch Berücksichtigung der geometrischen Gegebenheiten modelliert. Die dosimetrische Kalibrierung der Simulation erfolgte mithilfe einer CTDI-Messung. Die Bestimmung von Organdosiswerten erfolgte durch Mittelung der simulierten Dosis in den als jeweiliges Organ konturierten Bereichen. Die statistische Ungenauigkeit der Dosissimulation lag unter 1 %.

### 3. Ergebnisse

Bei Bestimmung einer effektiven Dosis zeigen die Abschätzungen mithilfe von Konversionsfaktoren für ein männliches Phantom, die analytische Berechnung mithilfe des Programms CT-Expo und die Monte-Carlo-Simulation mithilfe der Anwendung GMctdospp Abweichungen von maximal 8 % von den Ergebnissen der TLD-Messungen (Tabelle 1). Ausgenommen davon sind die Messergebnisse von Protokoll 2, die bei der TLD-Messung auffallend niedrig ausfallen. Ebenfalls höher liegen die Abweichungen beim Vergleich der effektiven Dosis auf Basis der TLD-Messungen für eine weibliche Patientin mit den Ergebnissen der Konversionsfaktoren. Letztere unterschätzen die effektive Dosis um über 20 %.

*Tabelle 1: Quotienten aus Ergebnissen der Effektivdosisbestimmung mithilfe von Konversionsfaktoren (EK), CT-Expo (ECT-Expo) und Monte-Carlo-Simulation (EMC) und den Ergebnissen der TL-Messung (ETLD) für die Betrachtung weiblicher (w) und männlicher Phantome*

	EK/ETLD		ECT-Expo/ETLD		EMC-Sim/ETLD	
	w	m	w	m	w	m
<b>Protokoll 1 (80 kV)</b>	0,75	0,93	0,99	1,00	0,98	1,07
<b>Protokoll 2 (100 kV)</b>	0,93	1,10	1,15	1,13	1,20	1,25
<b>Protokoll 3 (120 kV)</b>	0,76	0,92	0,96	0,96	1,00	1,06
<b>Protokoll 4 (140 kV)</b>	0,80	0,98	0,95	0,99	1,01	1,08

Die Betrachtung der Organdosiswerte zeigt, dass die mithilfe des Programmes CT-Expo bestimmten Organdosiswerte für die meisten Organe unter 25 % Abweichung von den Ergebnissen der TL-Dosimetrie liegen (Abb. 1, Abb. 2). Ausnahmen sind die Gewebe Knochenmark, Muskel und Schilddrüse, sowie die weibliche Brust. Hier sind Abweichungen von bis zu etwa + 100 %, + 200 %, + 105 % und - 45 % zu beobachten.

Ähnlich verhalten sich auch die Ergebnisse der Monte-Carlo-Simulation (Abb. 3). Auch hier liegen die Abweichungen der Organdosiswerte, verglichen mit den TL-Messungen, meist unter 25 %. Ausnahmen sind hier die Ovariendosis, die Schilddrüsendosis und die Dosis der Knochenoberfläche. Dort sind Abweichungen von bis zu - 45 %, + 110 % und + 55 % zu beobachten.



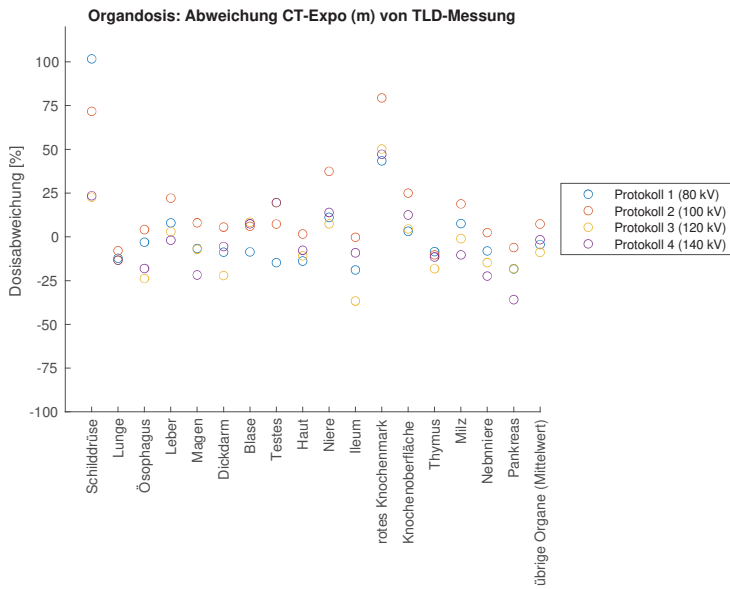


Abbildung 1: prozentuale Abweichungen der Organdosen, berechnet mithilfe von CT-Expo für den männlichen Standardpatienten gegenüber den Ergebnissen der TLD-Messung. Muskelgewebe aus Skalierungsgründen nicht dargestellt.

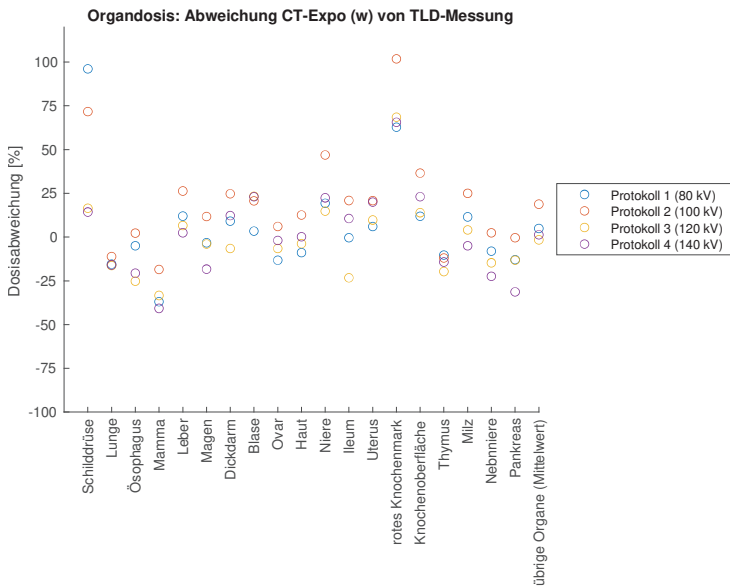


Abbildung 2: prozentuale Abweichungen der Organdosen, berechnet mithilfe von CT-Expo für die weibliche Standardpatientin gegenüber den Ergebnissen der TLD-Messung. Muskelgewebe aus Skalierungsgründen nicht dargestellt.

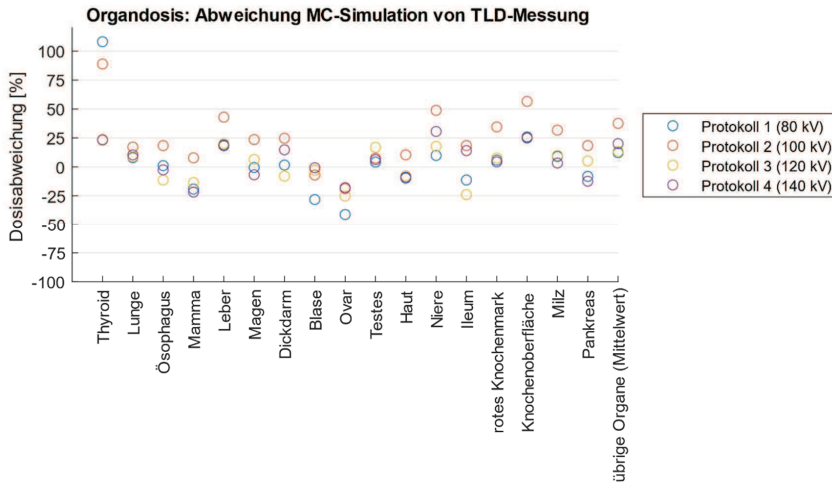


Abbildung 3: prozentuale Abweichungen der Organdosen, berechnet mithilfe einer MC-Simulation für das Alderson-Phantom, gegenüber den Ergebnissen der TLD-Messung.

#### 4. Schlussfolgerung

Die Bestimmung von Dosiswerten mithilfe von TLD ist im Patientenbetrieb nicht umsetzbar. Stattdessen müssen andere Verfahren zur Bestimmung von Organ- und Effektivdosiswerten herangezogen werden. Die in dieser Arbeit betrachteten Ansätze, Organ- und Effektivdosiswerte mittels Konversionsfaktoren, analytischer Berechnung und Monte-Carlo-Simulation zu erheben, haben eine gute Näherung der Ergebnisse der TL-Dosimetrie gezeigt. Zu beachten ist, dass bei weiblichen Patientinnen die effektive Dosis bei Bestimmung mithilfe von Konversionsfaktoren aus dem Dosislängenprodukt deutlich unterschätzt wird (Abweichungen  $> -20\%$ ).

Die beiden untersuchten Ansätze zur Bestimmung von Organdosiswerten, die analytische Berechnung mithilfe des Programms CT-Expo und die Monte-Carlo-Simulation mithilfe des Programms GMctdospp zeigen ebenfalls gute Übereinstimmungen. Es werden jedoch Limitationen deutlich. So treten hohe Abweichungen zu den Ergebnissen der TL-Dosimetrie auf, wenn die Organe nicht vollständig im Scanbereich liegen (z.B. Schilddrüse, Muskel, Knochenmark/Knochenoberfläche). Ebenso zeigt sich die fehlende Berücksichtigung der Röhrenstrommodulation in der Monte-Carlo-Simulation. Hier wird die Dosis in Bereichen mit hohen Durchmessern unterschätzt (z.B. Mamma, Ovarien) und in Bereichen mit geringen Durchmessern überschätzt (z.B. Schilddrüse).

Die TLD-Messungen im Fall von Protokoll 2 deuten, im Vergleich zu den übrigen Methoden zur Dosisbestimmung und dem Vergleich des Dosislängenproduktes zu den übrigen Untersuchungen, auf einen systematischen Fehler hin. Dieser vermutlich auf einen zu diesem Zeitpunkt fehlerhaften TLD-Reader zurückzuführen.

Mit Kenntnis der Limitationen der einzelnen Ansätze scheint der Einsatz aller untersuchten Methoden sinnvoll, da sie unterschiedliche Schwerpunkte im Spannungsfeld zwischen

Geschwindigkeit, Genauigkeit und Flexibilität der Dosisbestimmung setzen. Gemeinsam können die verschiedenen Methoden einen Hinweis auf die tatsächliche Dosisverteilung geben.

## 5. Literaturverzeichnis

[1] F. Koller und J. Roth, „Die Bestimmung der effektiven Dosen bei CT-Untersuchungen und deren Beeinflussung durch Einstellparameter“, *RöFo - Fortschritte auf dem Gebiet der Röntgenstrahlen und der bildgebenden Verfahren*, Bd. 179, Nr. 1, S. 38–45, Jan. 2007, doi: 10.1055/s-2006-927240.

[2] C. McCollough u. a., „The Measurement, Reporting, and Management of Radiation Dose in CT“, *AAPM*, Jan. 2008. doi: 10.37206/97.

[3] G. Stamm und H. D. Nagel, „CT-Expo - ein neuartiges Programm zur Dosisevaluierung in der CT“, *RöFo - Fortschritte Auf Dem Geb. Röntgenstrahlen Bildgeb. Verfahr.*, Bd. 174, Nr. 12, S. 1570–1576, Dez. 2002, doi: 10.1055/s-2002-35937.

[4] R. Schmidt, J. Wulff, und K. Zink, „GMctdospp: Description and validation of a CT dose calculation system: GMctdospp“, *Med. Phys.*, Bd. 42, Nr. 7, S. 4260–4270, Juni 2015, doi: 10.1118/1.4922391.

## **P7: RÖNTGENSTÖRSTRAHLUNGSEMISSION VON ELEKTRONENRÖHREN BEI HOCHSPANNUNGEN UNTER 30KV**

### **PARASITIC X-RAY-EMISSION OF ELECTRON TUBES OPERATED AT HIGH VOLTAGES UP TO 30 KV**

Andreas Schirmer , Hartwig Pöttgen , Marc Kersting

*Strahlenmesstelle der Bundeswehr, Bundesamt für Infrastruktur, Umweltschutz und Dienstleistungen der Bundeswehr, Deutschland*

#### **Zusammenfassung**

*Es wurden Messungen der Ortsdosisleistung und der spektralen Verteilung der Röntgenstrahlung von drei Arten von Vakuum-Elektronenröhren, Diode, Tetrode und Thyatron, durchgeführt im Spannungsbereich bis 30 kV, in dem der Betrieb bei Einhaltung eines Dosisleistungskriteriums genehmigungsfrei ist. Bei den einfach aufgebauten Glaskolben-Dioden wurde die Emission eines Bestandes von über 25 Exemplaren unter gleichen Bedingungen in Sperrrichtung untersucht. Die Werte der Ortsdosisleistung decken einen weiten Bereich ab, der mit einer logarithmisch-normalen Verteilung kompatibel ist. Bei der Schaltetetrode und dem Thyatron wird im elektrisch geöffneten Zustand die Dosisleistung von der Feldemission der Elektroden bestimmt. Das erschließt sich insbesondere für die Tetrode aus den Röntgenstrahlungsspektren. Damit kommt der Einbauweise der Röhren in Baugruppen oder Geräte der ausreichenden Abschirmung und weniger der externen Beschaltung eine besondere Bedeutung im Strahlenschutz zu.*

#### **Summary**

*Measurements of the dose rate and of spectra of parasitic X-ray-emission of three kinds of vacuum-electron-tubes, i.e. diode, tetrode and thyatron, were performed at voltages up to 30 kV. This is the voltage range where the operation is not due to an administrative regulation as long as a dose rate limit is kept. Of the simply built diodes with glass vessels an ensemble of over 25 specimens of the same type was measured in reverse operation. The dose rates cover a wide range of values which is compatible with a log-normal distribution. The dose rate of the tetrode and the thyatron is governed by field emission of the electrodes. This is deduced in the case of the tetrode from the X-ray-spectra. Thus, the implementation of these tubes in components a sufficient X-ray shielding deserves more attention than a proper electrical operation.*

**Schlüsselwörter** Röntgenstrahler, Elektronenröhre, Messung der Ortsdosisleistung  
**Keywords** X-ray, parasitic, electron tube, dose-rate measurement

## **1. Einleitung**

Der Betrieb von Röntgenstrahlern – hier speziell Vakuum-Elektronenröhren für Schalt- und Pulsformungsanwendungen- unterliegt bei Betriebsspannungen bis 30 kV keiner generellen Genehmigungspflicht, wenn die Ortsdosisleistung in 0,1 m Entfernung von der berührbaren Oberfläche den Wert von 1  $\mu\text{Sv/h}$  bei normalen Betriebsbedingungen nicht überschreitet. Eine Bauartzulassung ist an dasselbe Dosisleistungskriterium bei maximalen Betriebsbedingungen

gebunden, wobei technische Maßnahmen, die als Sicherheitseinrichtungen wirken, Teil des Röntgenstrahlers im Prüfverfahren sein könnten. Bauartzulassungen im Mittelspannungsbereich betreffen hauptsächlich Leistungsschalter mit bewegten Kontakten.

Bei vielen Vakuum-Elektronenröhren ist aufgrund der Bauweise und Materialauswahl des Röhrenkörpers als dichter Metall- oder Keramikbehälter eine Emission von Röntgenstrahlung allenfalls aus lokal eng begrenzten Schwachstellen zu erwarten, die für die Kontaktierung der elektrischen Anschlüsse notwendig sind. Für Vakuum-Elektronenröhren mit Glaskolben-Gehäusen ist wegen der üblichen Verwendung von Silikat- oder Borat-Gläsern ohne besondere Zugaben von Schwermetallen keine Abschirmwirkung auch für weiche Röntgenstrahlung zu erwarten.

Schalt- und Pulsformungsanwendungen im Mittelspannungsbereich werden zunehmend mit Halbleiterbauelementen realisiert. Beim Betrieb älterer Anlagen oder bei Spezialaufbauten werden einfache Glaskolben-Dioden, Schalt-Tetroden und Glas-Thyratrons angetroffen. Hier werden Messungen der Röntgenstrahlungsemission verfügbarerer Exemplare zu den drei Baugruppen bei labormäßig dargestellten Betriebsbedingungen vorgestellt und diskutiert.

Die Röntgenstrahlungsemission aus Elektronenröhren, die in Konsumgütern (Farbfernsehgeräten) eingebaut sind, war Gegenstand einiger Untersuchungen, die in [1] zusammengefasst sind. Zu Untersuchungsergebnissen an Elektronenröhren, die im industriellen Umfeld oder in Radaranlagen betrieben werden, wird auf die Ergebnisberichte in [2] verwiesen.

## 2. Durchführung der Messungen

### 2.1 Untersuchte Vakuumröhren

Die Angaben zu den untersuchten Typen sind in Tabelle 1 zusammengefasst.

*Tab. 1: Zusammenstellung der beispielhaft untersuchten Elektronenröhren mit Angabe der maximalen Betriebswerte für die Anodenspannung  $U_A$  und den Anodenstrom  $I_A$*

Bauteil	Typ	Maximale Betriebswerte	Ref.
Diode	8020, 8020W, CV2967	$U_A = 34 \text{ kV}$ als Gleichrichter $U_A = 40 \text{ kV}$ in Sperrrichtung	[3]
Schalttetrode	GMI-7-1	$U_A = 22 \text{ kV}$ , $I_A = 52 \text{ A}$	[4]
Puls-Thyratron	TGI-1-700/25	$U_A = 25 \text{ kV}$ , $I_A = 700 \text{ A}$	[5]

Die Diode des Typs 8020 ist eine direkt geheizte Elektronenröhre mit koaxialem Aufbau, bei dem ein röhrenförmigen Anodenblech die als Heizwendel ausgeführte Kathode umgibt. Zum genannten Typ gibt es Äquivalenttypen mit abweichender Bezeichnung. Die äußerlich erkennbaren Unterschiede insbesondere in der Gestaltung des Anodenbleches lassen sich aber nicht eindeutig den Typenbezeichnungen zuordnen.

Für die Messungen waren sowohl gebrauchte als auch fabrikneu verpackte Exemplare verfügbar.



Abb. 1: Exemplare der untersuchten Röhren von links nach rechts: Verschiedene Exemplare der Diode Typ 8020 und CV 2967 (links), Schaltetetrode GMI-7 (Mitte), Thyatron TGI-1-700/25 (rechts)

## 2.2 Erfassung der Ortsdosisleistung und der spektralen Verteilung der Röntgenstrahlung

Die Röhren wurden an Hochspannungs-Netzgeräten des Typs HCN 140-35000 (0 – 35 kV, 0 – 4 mA), Fa. FUG, betrieben, wobei wahlweise -entsprechend dem Betrieb der Röhre in Durchlass- oder in Sperrrichtung- das Netzgerät für positive oder negative Hochspannung eingesetzt wurde. Die Kontrolle der eingestellten Hochspannung und des Stromes erfolgte über die Anzeigen der Netzgeräte. Für den Betrieb der Heizung der Röhren wurde ein Labornetzgerät des Typs 3252.1 (0-36 V, 0-13 A), Fa. Straton, benutzt. Für die Kontrolle der Heizspannung wurde die im Gerät eingebaute Anzeige genutzt.

Die Erfassung der Ortsdosisleistung erfolgte mit Ionisationsmesskammern der Typen RGD 27091 und OD-01 der Fa. STEP Apparatebau Pockau. Die Ionisationskammern haben ein Volumen von 600 cm<sup>3</sup> und registrieren je nach Aufsetzen einer Wandverstärkungskappe auf die Messkammer die Dosisgröße  $H_x$ ,  $H'(0,07)$  oder  $H^*(10)$ .

Die Röntgenstrahlungsspektren wurden mit einem Si-Sperrschichtdetektor des Typs X-PIPS (Model 5XD15C-150-500) und einem Vielkanalanalysator des Typs IN2K, Hersteller Canberra, aufgenommen.

## 3. Ergebnis

### 3.1 Diode

Bei Dioden erreicht der Spannungsabfall im Durchlassbetrieb keine Werte, für die eine Erzeugung von Röntgenstrahlung zu erwarten ist. Der hier betrachtete Einsatz betrifft den Betrieb in Sperrrichtung, also den Betrieb mit negativer Hochspannung an der Anode. Bei gleichen Betriebsbedingungen (-30 kV Anodenspannung) und gleichem Einbau in die Halterung der Messeinrichtung decken die Werte der Ortsdosisleistung der verschiedenen Einzelexemplare der Röhre im Abstand von 25 cm senkrecht zur Mittenachse der Diode einen sich über mehr als vier Größenordnungen erstreckenden Bereich ab. Die kumulative Häufigkeit der Verteilung, die mit einer logarithmisch-normalen Verteilung kompatibel ist, ist in Abb. 2 dargestellt. Der Medianwert der Ortsdosisleistung liegt für das so untersuchte Ensemble bei 760  $\mu\text{Sv/h}$ .

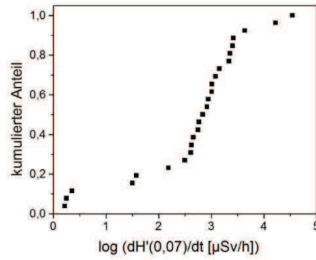


Abb. 2: Kumulative Häufigkeit von Werten der bei einer Hochspannung von -30kV in Abstand von 25 cm registrierten Werte der Ortsdosisleistung ( $H'(0,07)$ ) von verschiedenen Exemplaren von Röhren der Typenreihe 8020

Abb. 3 zeigt zwei Beispielspektren der Röntgenstrahlung, die in dem Abstand erfasst wurden, in den auch die Messung der Ortsdosisleistung durchgeführt wurde. Die Werte der Ortsdosisleistung betragen  $265 \pm 15 \mu\text{Sv/h}$  und  $892 \pm 90 \mu\text{Sv/h}$  für das in Abb. 3 links bzw. rechts dargestellte Spektrum. Die Spektren zweier Dioden äquivalenter Typenbezeichnungen zeigen markante Unterschiede in der Emission charakteristischer Linien im Bereich zwischen 15 und 20 keV.

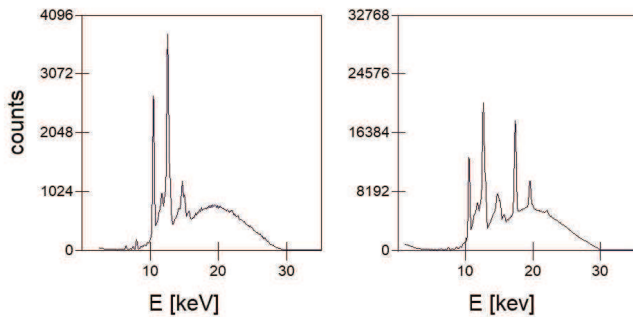


Abb. 3: Spektren zweier Dioden des Typs 8020, die im Abstand von 25 cm zur Röhrenachse in einer Messzeit von 530 s (links) bzw. 400 s (rechts) registriert wurden.

### 3.2 Schalttetrode

Die verfügbare Schalttetrode des Typs GMI-7 wurde entsprechend der üblichen Betriebsweise als rücksetzbarer Schalter im Modulator-Baugruppen mit positiver Hochspannung betrieben. Wie bei Gleichrichterdiode ist der Fall des ‚Durchschaltens‘ der Tetrode wegen des geringen Spannungsabfalls für die Erzeugung von Röntgenstrahlung nicht relevant. Näher untersucht wurde der Betrieb mit an die Gitter gelegter Sperrspannung. Ein Einzelergebnis ist in Abb. 4 dargestellt. Bei einer im Nennbetriebsbereich liegenden Anodenspannung von +17,5 kV werden im Abstand von 25 cm bei einer Sperrspannung von -1,5 kV der Wert  $50,7 \pm 0,5 \mu\text{Sv/h}$  und bei -3,0 kV der Wert  $287 \pm 7 \mu\text{Sv/h}$  für die Dosisgröße  $H^*(10)$  registriert.

In den Röntgenstrahlungsspektren ergibt sich bei der Absenkung der Sperrspannung (von -1,5 kV auf -3,0 kV) eine Erhöhung der Obergrenze des Spektrums entsprechend dem größeren Spannungsabfall zwischen Gitter und Anode, hier also 19,0 keV und 20,5 keV. Die beiden Spektren sind zusammen in Abb. 4 dargestellt. Die Emission von Röntgenstrahlung

der gesperrten Tetrode wird also von der Feldemission aus dem Gitter und nicht durch die Emissionen der geheizten Kathode dominiert.

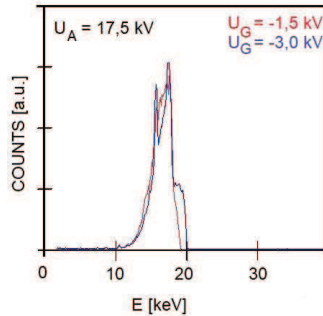


Abb. 4: Röntgenstörstrahlungsspektren der durch negative Gitterspannungen  $U_G$  von  $-1,5 \text{ kV}$  und  $-3,0 \text{ kV}$  gesperrten Schalttetrode bei einer Betriebsspannung von  $17,5 \text{ kV}$ .

### 3.3 Thyatron

Die Werte der Ortsdosisleistung an einem Hochleistungs-Impuls-Thyatron des Typs TGI-1-700/25 sind in Abb. 5 zusammengefasst.

Das Thyatron wurde ohne Heizung und ohne weitere äußere Beschaltung mit positiver Hochspannung betrieben und die Dosisleistung gleichzeitig mit den beiden verfügbaren Ionisationskammern im Abstand von  $25 \text{ cm}$  erfasst. Messungen mit negativer Hochspannung haben ergänzenden Charakter. Bei negativer Hochspannung liegen die Werte der Ortsdosisleistung im gleichen Bereich wie bei positiver Hochspannung, was darauf hinweist, dass auch hier die Feldemission ein die Röntgenstörstrahlungserzeugung bestimmender Prozess ist.

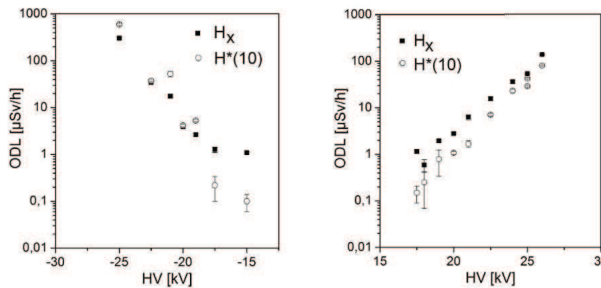


Abb. 5: Werte der Ortsdosisleistung (ODL) im Abstand von  $25 \text{ cm}$  als Funktion der an die Anode des Schalthyatrions TGI-1-700/25 angelegten Hochspannung mit negativer (links) bzw. positiver (rechts) Polarität.

## 4. Diskussion und Zusammenfassung

Bei allen drei untersuchten Vakuum-Elektronenröhren wurden im Spannungsbereich unter  $30 \text{ kV}$  Werte der Ortsdosisleistung festgestellt, die über dem eingangs dargestellten formalen Dosisleistungskriterium liegen. Bei der Übertragung dieses Ergebnisses auf die Beurteilung praktischer Arbeitsplatzverhältnisse ist zu berücksichtigen, dass bei allen Röhrentypen eine bauteilseitige Isolation des Anodenanschlusses nicht vorhanden ist und die Identifikation der



Röhrenoberfläche mit der berührbaren Oberfläche des Dosisleistungskriteriums im Sinne des Strahlenschutzes obsolet ist.

Bei den Dioden des Typs 8020, von denen zahlreiche Einzelexemplare systematisch verglichen werden konnten, zeigt sich, dass bei gleichen Betriebsbedingungen die Dosisleistung einen breiten, durch eine logarithmisch-normale Verteilung charakterisierbaren Bereich umfasst. Eine sichere Vorhersage der Emission von Röntgenstrahlung bestimmter Typen der Dioden allein anhand der Bezeichnung oder der visuellen Inspektion der Anode konnte im Rahmen dieser Untersuchungen nicht getroffen werden.

Bei der Tetrode und dem Schalthyratron zeigt sich, dass die Emission von Röntgenstrahlung im elektrisch ‚geöffneten‘ Zustand weitgehend von der Feldemission zwischen den Elektroden bestimmt ist. In einer früheren Untersuchung wurde der Einfluss der Feldemission auf die Erzeugung von Röntgenstrahlung bei Thyatronröhren hingewiesen [2] und angemerkt, dass zur Eingrenzung der Feldemission herstellerseitig Reduktionsmaßnahmen notwendig sind. Durch Verbesserung der Beschaltung der Tetroden oder Thyatrons im praktischen Einsatz ist der Beitrag der Feldemission zur Röntgenstrahlungsemission nicht reduzierbar. Beim Einbau der Röhren in Baugruppen und Geräte betreffen technische Strahlenschutzmaßnahmen mithin die bauliche Ausführung der Gehäuse.

## 5. Danksagung

Wir danken Herrn Dr. H.-J. Lange, Fa MIRION, für die zeitweise Überlassung des eingesetzten X-PIPS-Detektors und Herrn Dipl. Ing. M. Kipke für wertvolle Hinweise zur Betriebsweise der Elektronenröhren in Modulatorbaugruppen. Die Hochspannungsnetzgeräte und die Dioden der Typenreihe 8020 konnten vom Wehrwissenschaftlichen Institut für Schutztechnologien-ABC-Schutz, Munster, freundlicherweise ausgeliehen werden.

## 6. Literaturverzeichnis

- [1] Ionizing Radiation: Levels and Effects A report of the United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation to the General Assembly, with annexes, Volume I. Levels, United Nations New York 1972
- [2] Radiological Protection Problems associated with Parasitic X-Ray Emission from Electronic Products; Colloque international, Toulouse (France), 3-6 novembre 1970 <https://inis.iaea.org/collection/NCLCollectionStore/Public/48/055/48055310.pdf>
- [3] Datenblatt Fa. EIMAC, Division of Varian, Revised 6-1-67
- [4] Technical Note 441, Tabulation of published Data on soviet electron devices through October 1967, U.S. Department of Commerce, National Bureau of Standards, ISSUED JULY 1968
- [5] Pulsed Power, Gennady A. Mesyads, Springer Science + Business, 2005

## **P8: UMSETZUNG DER ANFORDERUNGEN IM ÖFFENTLICHEN RAUM UND IM ARBEITSSCHUTZ HINSICHTLICH DER EXPOSITION MIT ELEKTRISCHEN FELDERN DURCH HÖCHSTSPANNUNGS-FREILEITUNGEN UND -ANLAGEN**

### **IMPLEMENTING REGULATIONS FOR WORKERS AND THE GENERAL PUBLIC CONCERNING ELECTRICAL FIELDS CAUSED BY OVERHEADLINES AND SUBSTATIONS**

Jonathan Wulff , Alexander Wollny , Markus Franke , Dominik Stunder  
*Amprion GmbH, Dortmund Deutschland*

#### **Zusammenfassung**

*Höchstspannungs-Freileitung und -Anlagen erzeugen aufgrund der vorherrschenden hohen Spannungen elektrische Felder, die auf Personen im öffentlichen Raum oder in Betriebsstätten wirken. Wirkungen durch niederfrequente und statische elektrische Felder auf den Menschen ergeben sich auch durch Ladungen an der Körperoberfläche, die grundsätzlich wahrnehmbar sein können und bei starker Ausprägung als belästigend empfunden werden können.*

*Die rechtlichen Vorgaben zu elektrischen und magnetischen Feldern (EMF) im öffentlichen Raum (26. BImSchV) und im Arbeitsschutz (EMFV) sorgen für die Unterbindung bzw. die Begrenzung grundsätzlich hervorrufbarer direkter oder indirekter Wirkungen.*

*Zur Wahrnehmung (Perzeption) von elektrischen Feldern umschreibt die 26. BImSchV die Anforderung ohne Nennung einer konkreten Schwelle, dass „Wirkungen [...] die zu erheblichen Belästigungen oder Schäden führen können“ vermieden werden sollen. Dies stellt Anwender, wie Übertragungsnetzbetreiber, vor die Herausforderung, diese Formulierung in Werte für externe elektrische Felder für die Freileitungs-Planung zu überführen.*

*In der EMFV werden mit den Auslöseschwellen konkrete Werte für externe elektrische Felder vorgegeben. Bereits bei Überschreitung der unteren Auslöseschwelle wird darin außerdem eine Schulung und Unterweisung vorgesehen.*

*In diesem Beitrag wird dargestellt, welchen Stand die relevante Studienlage im Bereich Perzeption hat, wie der Anforderung in der 26. BImSchV bei der Freileitungs-Planung begegnet wird und wie eine Schulung im Sinne des Arbeitsschutzes gestaltet werden kann, die der Perzeption elektrischer Wechsel- und vor allem Gleichfelder Rechnung trägt.*

#### **Summary**

*High-voltage overhead lines and facilities generate electric fields that affect the public and especially workers. Low frequency and static electric fields cause electric charges at the surface of the body. The resulting effects are perceptible and possibly annoying.*

*The legal framework provides requirements for the general public (26. BImSchV) and for workers (EMFV) to minimize direct and indirect effects.*

*Without establishing fix limit values for perception of electric fields, 26. BImSchV states that “impacts [...] are avoided if they may lead to considerable nuisances or damage”. TSOs have to transfer this into specific parameters for planning and building overhead lines.*

*The EMFV establishes action levels for electric fields as well as measures like training and schooling for workers in case action levels are exceeded. Within this paper, the current state of research on perception of electric fields is described. Measures to establish compliance with the requirements for the general public as well as for workers are presented.*

**Schlüsselwörter** *Elektrisches Feld, Wahrnehmung, Belästigung, 26. BImSchV, EMFV*  
**Keywords** *electric field, perception, nuisance, 26. BImSchV, EMFV*

## 1. Einleitung

Wirkungen von statischen und niederfrequenten elektrischen und magnetischen Feldern (EMF) sind Gegenstand zahlreicher wissenschaftlicher Studien und entsprechend gut erforscht. Dies gilt insbesondere für den Frequenzbereich der Energieübertragung. Die International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection (ICNIRP) bietet daraus abgeleitet ein umfassendes Gerüst an Grenzwertempfehlungen [1], [2], [3]. In Deutschland sind diese Empfehlungen für den öffentlichen Bereich umgesetzt in der 26. Bundesimmissionsschutzverordnung (26. BImSchV) [4]. Im Bereich des Arbeitsschutzes ist die EU-Richtlinie 2013/35/EU über Mindestvorschriften zum Schutz von Sicherheit und Gesundheit der Arbeitnehmer vor der Gefährdung durch physikalische Einwirkungen (elektromagnetische Felder) [5] durch die Verordnung zur Umsetzung der Richtlinie 2013/35/EU und zur Änderung von Arbeitsschutzverordnungen (EMFV) [6] in 2016 in nationales Recht umgesetzt worden. Diese Verordnung wird ergänzt durch die Technischen Regeln EMF (TREM) [7].

Die unterschiedlichen Regelungen enthalten frequenzabhängige Grenz- bzw. Schwellwert-Konzepte für die EMF-Exposition. Sind mehrere Frequenzanteile vorhanden, ist zwischen niederfrequenten und statischen Feldern zu unterscheiden. Mehrere niederfrequente Feldanteile überlagern sich und entfalten im Körper eine zu berücksichtigende kombinierte Wirkung. Bei gleichzeitigem Auftreten eines statischen und eines niederfrequenten Feldes kann es aufgrund unterschiedlicher Wirkmechanismen keine solche kombinatorische Wirkung geben.

Im Bereich der Energieübertragung wird, um Übertragungsverluste zu minimieren, mit sehr hohen Spannungen gearbeitet. Daher sind grundsätzlich elektrische Sicherheitsabstände zu Komponenten auf Höchstspannungspotenzial einzuhalten. Dazu kommen im öffentlichen Raum normativ vorgegebene Aufschläge, die sicherstellen sollen, dass bspw. Fahrzeuge, Personen, etc. gefahrlos unter der Leitung passieren können. Durch die sich darüber ergebenden Gesamtabstände sind vorgegebene Maximalwerte für die magnetischen Felder häufig schon eingehalten. Anders verhält es sich mit den elektrischen Feldern, die daher typischerweise maßgeblich sind für die Dimensionierung von Freileitungen oder auch sonstigen Anlagen der Energieversorgung (wie z.B. Umspannanlagen). Im Weiteren wird daher das für den Bereich der Energieübertragung relevante elektrische Feld hinsichtlich rechtlicher Vorgaben, zugrundeliegender Wirkmechanismen sowie Berücksichtigung der Vorgaben betrachtet.

## 2. Rechtliche Vorgaben für elektrische Felder

Die rechtlichen Vorgaben für statische und niederfrequente elektrische Felder dienen insbesondere dazu, die Wahrnehmbarkeit zu begrenzen. Wie auch bei den Vorgaben für magnetische Felder, ist der gesetzte Rahmen für den öffentlichen Bereich restriktiver als für den Arbeitsschutz.

### 2.1 Vorgaben im öffentlicher Raum

Die 26. BImSchV schreibt einen Grenzwert von 5 kV/m für das niederfrequente elektrische Feld bei 50 Hz vor. Darüber hinaus wird festgelegt: „Wirkungen wie Funkenentladungen auch zwischen Personen und leitfähigen Objekten sind zu vermeiden, wenn sie zu erheblichen Belästigungen oder Schäden führen können“. Für statische elektrische Felder wird kein Grenzwert vorgegeben. Hier gibt es nur die nahezu gleichlautende Festlegung zur Vermeidung

erheblicher Belästigungen oder Schäden. Das Fehlen eines festen Wertes erschwert hier grundsätzlich die Auslegung von Anlagen der Energieübertragung.

Die sogenannte Minimierungsvorschrift (26. BImSchVVwV) [8] enthält grundsätzlich keine konkreten Vorgaben zu Feldstärken. Dies deckt sich mit dem Ziel der Vorschrift, Möglichkeiten der Minimierung elektrischer und magnetischer Felder systematisch zu prüfen und soweit wie möglich umzusetzen. Erwähnenswert ist die Priorisierung: Bei statischen Feldern ist die Minimierung des elektrischen Feldes vorzuziehen, bei niederfrequenten Feldern hat die Minimierung des magnetischen Feldes Vorrang.

Die Länderarbeitsgemeinschaft für Immissionsschutz (LAI) beschreibt in ihren Hinweisen zur Durchführung der Verordnung über elektromagnetische Felder [9] Anhaltspunkte für erhebliche Belästigungen und Schäden durch niederfrequente elektrische Felder. Die mit Bezug auf eine Veröffentlichung der Strahlenschutzkommission (SKK) aufgelisteten Wirkungen bewegen sich oberhalb des Grenzwerts im Bereich ab 7 kV/m [10]. Auch zu statischen elektrischen Feldern werden – wiederum mit Bezug auf die Strahlenschutzkommission – Werte genannt: „Erst ab ca. 25 bis 30 kV/m können elektrische Gleichfelder vom Menschen wahrgenommen werden“ [11]. Zur Beurteilung möglicher erheblicher Belästigungen oder Schäden wird auf vom Betreiber durchzuführende Berechnungen im Einwirkungsbereich für Gleichstromanlagen (nach [9]) verwiesen und eine Dokumentation der Überlegungen der Betreiber empfohlen.

In den Durchführungshinweisen der LAI wird deutlich, dass zwischen Wahrnehmbarkeit und erheblicher Belästigung zu unterscheiden ist. Da die Einschätzung der Erheblichkeit einer Belästigung höchst subjektiv ist, ist ein Nachweis der Vermeidung erheblicher Belästigungen schwierig. Nur bei Unterschreitung von durch experimentelle Studien bestimmbar Wahrnehmungsschwellen kann belastbar von der Vermeidung erheblicher Belästigungen ausgegangen werden.

## 2.2 Vorgaben im Arbeitsschutz

Die EU-Richtlinie 2013/35/EU [5] schreibt Begrenzungen für niederfrequente elektrische Felder und den Kontaktstrom bei Berührung für alle Beschäftigten vor. In der Überführung in nationales Recht in Form der EMFV [6] gibt es Ergänzungen hinsichtlich des statischen elektrischen Feldes und für Kontaktströme bei greifendem Kontakt. Das Gesamtkonzept der EMFV sowie der untergeordneten Technischen Regeln [7] zur Arbeitsschutzverordnung basiert auf Expositionsgrenzwerten, die maximal zulässige Werte darstellen, die typischerweise nicht messbar sind. Dazu werden über die unteren und oberen Auslöseschwellen Werte eingeführt, die direkt messbar sind und bei deren Unterschreitung bestimmte Wirkungen vermieden oder begrenzt werden und entsprechend Maßnahmen entfallen können. Bei Auslöseschwellen die von Expositionsgrenzwerten abgeleitet sind, bedeutet die Einhaltung der Auslöseschwellen außerdem, dass die entsprechenden Expositionsgrenzwerte nicht überschritten werden. Die Tabellen 1 bis 3 führen die im Bereich der elektrischen Felder relevanten Vorgaben auf.

Tab. 1: Vorgaben der EMFV zum elektrischen Feld (abhängig von der Frequenz)

	0 Hz	50 Hz
Expositionsgrenzwert	28,2 kV/m	-
Untere Auslöseschwelle	28,2 kV/m	14,14 kV/m
Obere Auslöseschwelle	28,2 kV/m	28,2 kV/m

Tab. 2: Vorgaben der EMFV zu Kontaktströmen

Expositionsgrenzwerte für kontinuierliche Kontaktströme	
bei berührendem Kontakt	1 mA (Spitzenwert)
bei greifendem Kontakt	5 mA (Spitzenwert)

Tab. 3: Vorgaben der EMFV zu Entladungspulsen

Expositionsgrenzwerte für den Entladungspuls eines Kontaktstroms	
Maximale übertragene Entladungsenergie $W$	350 mJ
Maximale übertragene Ladung $Q$	50 $\mu\text{C}$

Hinweis: In den Vorgaben zum Arbeitsschutz wird die Gruppe der „besonders schutzbedürftigen Beschäftigten“, die insbesondere Implantatträger einschließt, gesondert betrachtet. Auf diese speziellen Regelungen wird im Folgenden nicht eingegangen, da innerhalb relevanter Bereiche von Anlagen der Energieübertragung aus Sicherheitsgründen Betretungsverbote für Implantatträger gelten.

### 3. Wirkungen elektrischer Felder

#### 3.1 Körperströme

Das statische elektrische Feld dringt nicht in den Körper ein und kann daher keine internen Körperströme hervorrufen oder eine direkte biologische Wirkung im Körper entfalten. Elektrische Felder höherer Frequenzen sind zwar grundsätzlich in der Lage, in den menschlichen Körper einzudringen – im niederfrequenten Bereich der Energieübertragung ( $f = 50 \text{ Hz}$ ) spielt dieser Effekt jedoch noch keine Rolle. Relevant ist in beiden Fällen – statisch wie niederfrequent – die Wahrnehmbarkeit des Feldes.

#### 3.2 Wahrnehmbarkeit

Das statische, aber auch das niederfrequente elektrische Feld, können durch kapazitive Kopplung oder Influenz eine Ladungstrennung auf der Oberfläche von Personen oder auch Objekten verursachen. So kann es zur Ansammlung von Ladungsträgern auf der Oberfläche kommen, die bewirkt, dass die Person oder das Objekt ein elektrisches Potenzial annimmt. Dies kann direkt oder auch indirekt wahrgenommen werden.

##### 3.2.1 Indirekte Wahrnehmung

Die Ladungsansammlung auf Personen oder Objekten kann zur indirekten Wahrnehmung auf der Hautoberfläche führen, wenn es bei Kontakt zu einem Potenzialausgleich kommt. Die Wahrnehmbarkeit der Wirkung hängt neben der ursächlichen elektrischen Feldstärke selbst von weiteren Parametern ab. Dazu gehört bspw. die Größe der Kontaktfläche, über die der Potenzialausgleich stattfindet. Den physikalischen Zusammenhang zwischen dem elektrischen Feld und der Ladungsmenge beschreibt die SSK in ihrer Stellungnahme von 2013 [11]. Demnach ergibt sich die bei Entladung freisetzbare Ladungsmenge  $Q$  aus der Oberfläche  $A$  der Person oder des Objekts, der Dielektrizitätskonstanten  $\epsilon_0$  und der elektrischen Feldstärke  $E$ . Es gilt  $Q = A \cdot \epsilon_0 \cdot E$ . Die Strahlenschutzkommission verweist für Schwellenwerte auf die internationale Normenreihe IEC TS 60479. Für Entladungsströme aufgrund von elektrischen Gleichfeldern lassen sich daraus Wahrnehmungsschwellen ab  $0,39 \mu\text{C}$  und für elektrische Wechselfelder Wahrnehmungsschwellen ab  $0,09 \mu\text{C}$  entnehmen. Die Belästigungsschwelle

liegt je nach Einwirkungsort (Finger, Hand oder Unterarm) ca. 2,3 bis 3,5-fach höher als die Wahrnehmungsschwelle, die Schmerzschwelle ca. 3,5 bis 5,5-fach über der Wahrnehmungsschwelle [12]. Es ergeben sich daraus gemäß Strahlenschutzkommission Belästigungsschwellen für elektrische 50-Hz-Felder ab 7 kV/m und für elektrische Gleichfelder ab 20 kV/m [9], [11].

### 3.2.2 Direkte Wahrnehmung

Durch die Coulomb'sche Kraftwirkung von Ladungen können sich bei Ansammlung von Ladungsträgern auf der menschlichen Körperoberfläche Körperhaare aufrichten, was zur direkten Wahrnehmung (Perzeption) des Feldes führen kann. Die Deutlichkeit der direkten Wahrnehmbarkeit hängt neben dem ursächlichen elektrischen Feld nach bisherigen Erkenntnissen auch von anderen Parametern ab. Aufgrund der ausschließbaren biologischen Effekte und dem für Untersuchungen benötigten anspruchsvollen Laboraufbau wurden in diesem Gebiet nur wenige Studien durchgeführt. Im Folgenden wird der Stand der Wissenschaft zur Perzeption elektrischer Felder dargestellt und insbesondere auf aktuelle Studienergebnisse eingegangen.

## 4. Wissenschaftliche Erkenntnisse zur Perzeption

Die wissenschaftliche Basis der aktuellen Vorgaben zur Perzeption im öffentlichen Bereich und auch im Arbeitsschutz wird im Folgenden dargestellt. Die letzte Aktualisierung der Vorgaben der 26. BImSchV stammt wie die EU-Richtlinie zum Arbeitsschutz aus dem Jahr 2013. Die deutsche EMFV zur Umsetzung der EU-Richtlinie datiert aus 2016. Zu diesem Zeitpunkt gab es nur wenige relevante experimentelle Studien zur Wahrnehmbarkeit statischer (und niederfrequenter) elektrischer Felder bei Exposition des ganzen Körpers.

Erst mit dem absehbar vermehrten Einsatz der Hochspannungs-Gleichstrom-Übertragung im letzten Jahrzehnt kam dem Thema neue Bedeutung zu. Die in diesem Zuge angestoßenen neuen Untersuchungen werden nachfolgend ebenfalls aufgegriffen

### 4.1 Basis für die bestehende Einordnung

Blondin et al. [13] beschreibt die Perzeption des elektrischen Gleichfeldes. Darüber hinaus wird der Einfluss von Ionenströmen auf die Wahrnehmbarkeit untersucht. Die Autoren geben eine Wahrnehmungsschwelle ohne Ionenstrom im Bereich von 20 – 25 kV/m an, die mit maximalem Ionenstrom auf etwa 10 kV/m sinkt. Mit der direkten Wahrnehmung von Hybrid-Feldern, also der gleichzeitigen Exposition gegenüber Gleich- und Wechselfeldern, befasst sich eine Studie von Clairmont et al. [14]. Die Studie zeigt eine Verringerung der Wahrnehmungsschwelle für das elektrische Gleichfeld – beginnend bei 20 kV/m bis 25 kV/m (je nach Polarität) ohne elektrisches Wechselfeld – auf 15 kV/m bei gleichzeitigem elektrischem Wechselfeld von 5 kV/m.

Diese Untersuchungen stellen 2013 die Basis für Schwellwerte für die Perzeption statischer elektrischer Felder dar. So schließt sich die Strahlenschutzkommission in ihrer Stellungnahme von 2013 [11] den Untersuchungsergebnissen von Clairmont et al. hinsichtlich der gleichzeitigen Exposition gegenüber Gleich- und Wechselfeldern an. Für reine statische elektrische Felder stellt die SSK mit Bezug auf die ICNIRP fest, dass von den meisten Menschen statische elektrische Feldstärken unter 25 kV/m als nicht belästigend wahrgenommen werden [1], [11].

### 4.2 Aktueller Forschungsstand

Aufgrund der Aktualisierung der rechtlichen Vorgaben im öffentlichen Raum (26. BImSchV) wurde in 2013 eine neue Studie zur Wahrnehmbarkeit elektrischer Felder beauftragt. Die Veröffentlichung der Ergebnisse zum umfangreichen Hauptteil der Studie stammt aus 2021 [15] – eine Veröffentlichung aus 2022 enthält Auswertungen zu ergänzenden Untersuchungen [16]. Eine weitere Studie wurde im Rahmen des Forschungsprogramms des Bundesamts für Strahlenschutz in die Wege geleitet – hier steht jedoch die Veröffentlichung von Ergebnissen noch aus. Die Ergebnisse der abgeschlossenen Studien können wie folgt zusammengefasst werden: Unter Laborbedingungen, ohne ablenkende Wahrnehmungseffekte von Umweltbedingungen (wie z.B. Wind) und entsprechend optimalen Bedingungen zur Fokussierung auf die Detektion des elektrischen Feldes konnten etwa 30% der Probanden ein elektrisches Gleichfeld von 14 kV/m bzw. ein elektrisches Wechselfeld (50 Hz) von 8 kV/m detektieren. Ein Hybridfeld (2 kV/m bei 0 Hz und 4 kV/m bei 50 Hz) konnten 40% detektieren. Die ergänzende Studie unter Probanden, die in der ersten Studie besonders gut Felder detektieren konnten, befasst sich mit der Wahrnehmbarkeit von Hybridfeldern in genauer aufgelösten Feldstärke-Kombinationen. Ihre Ergebnisse bestätigen die bereits erkannten Schwellen grundsätzlich. Eine gleichzeitige Beaufschlagung mit einem Ionenstrom führt zu keinen konsistenten Veränderungen bei Feldstärken im Schwellenbereich der Wahrnehmbarkeit.

## 5. Umsetzung der Vorgaben

Die in der Energieübertragung eingesetzten Hoch- und Höchstspannungen verursachen entsprechend hohe elektrische Felder, die auf Personen im öffentlichen Raum (Freileitungen) oder in Betriebsstätten (z.B. Umspannanlagen) wirken. Die Amprion GmbH muss sich wie alle deutschen Übertragungsnetzbetreiber daher sowohl mit der Einhaltung der 26. BImSchV als auch der EMFV auseinandersetzen.

### 5.1 Öffentlicher Raum

Zur Einhaltung von Immissionsschutz-Vorgaben gibt es Trassierungsrichtlinien im Unternehmen, die auf Basis der neuen Studienergebnisse ergänzt wurden. Im Sinne einer konservativen Abschätzung zur Vermeidung von erheblichen Belästigungen oder Schäden im öffentlichen Raum, ist unter Berücksichtigung einer zusätzlichen Sicherheitsmarge folgendes festgelegt: Niederfrequente elektrische Felder (50 Hz) dürfen unterhalb der Freileitung in einem Meter über dem Boden Werte von 5 kV/m nicht überschreiten. Damit ist der in der 26. BImSchV vorgegebene Grenzwert von 5 kV/m auch geeignet, die zuvor beschriebenen Effekte zu verhindern. Für elektrische Gleichfelder wird ein Wert von 8 kV/m festgesetzt, der unterhalb der Freileitung in einem Meter über dem Boden (vgl. [9]) nicht überschritten werden darf. Elektrische Hybridfelder treten unter Freileitungen mit Dreh- und Gleichstromkreis(en) auf. Von einer kombinatorischen Wirkung kann gesprochen werden, wenn beide Anteile mit mindestens 1 kV/m vorliegen. Für diese Fälle wird fixiert, dass bei einem elektrischen Wechselfeld von 5 kV/m der Wert für das elektrische Gleichfeld 1 kV/m nicht überschreiten darf. Bei niedrigerem Wechselfeld ist dessen Auswirkung geringer, so dass dann ein höheres Gleichfeld auftreten darf. Um alle denkbaren Kombinationen elektrischer Gleich- und Wechselfelder abzudecken, wird festgehalten, dass die arithmetische Summe der Werte 6 kV/m nicht überschreiten darf. Diese Trassierungsgrundsätze sind auch unter Berücksichtigung von wissenschaftlichen Unsicherheiten geeignet, Wahrnehmungseffekte auf ein Minimum zu beschränken, sowie belästigende Effekte auszuschließen.

### 5.2 Arbeitsschutz

Im Arbeitsschutz sind die einzuhaltenden Werte grundsätzlich höher, Mitarbeiter werden aber auch in Umspannanlagen oder bei der Besteigung von sich in Betrieb befindlichen Masten mit höheren Feldern beaufschlagt. Die höchsten Expositionen sind bei Winkelabspannmasten beim Passieren der Leiterseilschlaufen unterhalb der äußeren Traversen zu erwarten. Dort ergibt sich der kleinste Abstand zwischen Höchstspannung und geerdetem Mastenschaft bzw. Mitarbeiter. Die EMFV sieht bei möglicher Überschreitung der oberen Auslöseschwellen insbesondere spezielle Unterweisungen und den Ausschluss von Gefährdungen durch direkte und indirekte Wirkungen vor. Dafür sind besondere Festlegungen zu befolgen, die auch unterhalb der oberen Auslöseschwelle sowie ganz allgemein durchzuführen sind. Insbesondere ist nachzuweisen, dass der Expositionsgrenzwert des elektrischen Gleichfeldes sowie der Expositionsgrenzwert für kontinuierliche Kontaktströme nicht überschritten werden. Beides kann durch Feldberechnungen erfolgen, wobei die Kontaktströme nur mittels anatomischem Körpermodell ermittelt werden können. Diese numerischen Feldberechnungen sind durchgeführt und der Nachweis der Einhaltung der Expositionsgrenzwerte für verschiedene Körpergrößen, Körperhaltungen und Arbeitskleidung ist erbracht. Neben diesen Nachweisen werden bei der Amprion GmbH ergänzende Betriebsanweisungen für Hochspannungs-Gleichstrom-Anlagen einschließlich Vorgaben zu nötigen Schutzabständen erstellt. Speziell für das Arbeiten in elektrischen Hybridfeldern (statisches und niederfrequentes Feld) werden Schulungen durchgeführt, die die Wirkung dieser Felder praktisch erfahrbar machen.

## **6. Zusammenfassung**

Betreiber von Anlagen der Energieversorgung müssen sich mit den Anforderungen zu elektrischen Feldern im öffentlichen Raum und im Arbeitsschutz auseinandersetzen. Für beide Bereiche gibt es jeweils Anforderungen für statische und niederfrequente elektrische Felder. Diese beruhen auf wenigen Studien zur direkten und indirekten Wahrnehmbarkeit. Hergeleitet über diese Studien und ergänzt durch neue Untersuchungen werden bei der Amprion GmbH Vorgaben bzw. Vorgehensweisen abgeleitet, über die Konformität mit den Anforderungen hergestellt werden kann.

So können die Anforderungen für den öffentlichen Raum durch die Begrenzung der elektrischen Feldstärken für statische und niederfrequente Felder als Ergänzung zum bestehenden Grenzwertkonzept der 26. BImSchV eingehalten werden. Durch den Nachweis der Einhaltung der Expositionsgrenzwerte für das statische elektrische Feld und den kontinuierlichen Kontaktstrom sowie die Durchführung spezieller Unterweisungen im Zuge der Berücksichtigung der §§ 6, 10 und 11 der EMFV kann die Konformität mit den Anforderungen des Arbeitsschutzes hergestellt werden.

## **7. Literaturverzeichnis**

- [1] International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection. Guidelines for Limiting Exposure to Time-Varying Electric, Magnetic, and Electromagnetic Fields (up to 300 GHz), Health Physics, 1998
- [2] International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection. Guidelines for limiting exposure to time-varying electric and magnetic fields (1 Hz to 100 kHz), Health Physics, 2010
- [3] International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection. Guidelines on limits of exposure to static magnetic fields, Health Physics, 2009



- [4] Sechszwanzigste Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes (Verordnung über elektromagnetische Felder - 26. BImSchV), BGBl. I S. 3266, 2013
- [5] European Union. Directive 2013/35/EU on minimum health and safety requirements regarding the exposure of workers to the risks arising from physical agents (electromagnetic fields). Official Journal of the European Union L179/1-L179/21, 2013
- [6] BMAS (Bundesministerium für Arbeit und Soziales), Verordnung zur Umsetzung der Richtlinie 2013/35/EU und zur Änderung der Arbeitsschutzverordnungen vom 15. November 2016, 2016.
- [7] Ausschuss für Betriebssicherheit des BMAS Technische Regeln zur Arbeitsschutzverordnung zu elektromagnetischen Feldern – Statische und zeitveränderliche elektrische und magnetische Felder im Frequenzbereich bis 10 MHz in vorläufiger Entwurfsfassung (TREM-F-E-NF), 2021
- [8] Allgemeine Verwaltungsvorschrift zur Durchführung der Verordnung über elektromagnetische Felder - 26. BImSchV (26. BImSchVVwV), BAnz AT 03.03.2016 B5, 2016
- [9] Hinweise zur Durchführung der Verordnung über elektromagnetische Felder mit Beschluss der 54. Amtschefkonferenz, in der Fassung des Beschlusses der 128. Sitzung der Bund/Länder-Arbeitsgemeinschaft für Immissionsschutz am 17. und 18. September 2014 in Landshut, 2014
- [10] Strahlenschutzkommission Schutz vor elektrischen und magnetischen Feldern der elektrischen Energieversorgung und -anwendung – Empfehlung der Strahlenschutzkommission, 2008
- [11] Strahlenschutzkommission Biologische Effekte der Emissionen von Hochspannungs-Gleichstromübertragungsleitungen (HGÜ) – Empfehlungen der Strahlenschutzkommission mit wissenschaftlicher Begründung, 2013
- [12] Reilly JP. Applied Bioelectricity: from Electrical Stimulation to Electropathology. Springer; 1998
- [13] Blondin J, Nguyen D, Sbeghen J, Goulet D, Cardinal C, Maruvada PS, et al. Human perception of electric fields and ion currents associated with high-voltage DC transmission lines. Bioelectromagnetics, 1996
- [14] Clairmont BA, Johnson GB, Zaffanella LE, Zelingher S. The effect of HVAC-HVDC line separation in a hybrid corridor. IEEE Trans Power Delivery, 1989
- [15] Kursawe, M. et al. Human detection thresholds of DC, AC, and hybrid electric fields: a double-blind study, Environmental Health 20, 2021
- [16] Jankowiak, K., Kaifie, A., Krampert, T. et al. The role of the AC component in human perception of AC–DC hybrid electric fields. Sci Rep 12, 3391, 2022

## **P9: ERSTE AUSWIRKUNGEN DES LASERPOINTERVERBOTS GEMÄSS BUNDESGESETZ ÜBER DEN SCHUTZ VOR GEFÄHRDUNG DURCH NICHTIONISIERENDE STRAHLUNG UND SCHALL (NISSG) IN DER SCHWEIZ**

### **FIRST IMPACTS OF THE LASERPOINTER BANN IN ACCORDANCE WITH THE FEDERAL ACT ON PROTECTION AGAINST THE RISKS ASSOCIATED WITH NON-IONISING RADIATION AND WITH SOUND (NIRSA) IN SWITZERLAND**

Yannik J. Waeber

*Bundesamt für Gesundheit (BAG), Schweiz*

#### **Zusammenfassung**

*Per 1. Juni 2019 trat in der Schweiz eine Regelung in Kraft, welche ausschliesslich die Nutzung ungefährlicher Laserpointer erlaubt. Seither wurden durch das Bundesamt für Zoll und Grenzsicherheit 866 Laserpointer in fast 560 Fällen beschlagnahmt und zur Anzeige gebracht. Über die Hälfte (51%) der importierten Geräte können der Laserklasse 3B zugeordnet werden. Es folgen Klasse 3R mit 28%, Klasse 2 mit 12%, Klasse 4 mit 3% und mit nur gerade 1% Geräte der Klasse 1. Ungefähr 7% waren defekt oder konnten aus anderen Gründen nicht vermessen werden.*

#### **Summary**

*On June 1<sup>st</sup> 2019, a regulation came effective in Switzerland, allowing only the use of non-hazardous laserpointers. Since then, 866 laserpointers in almost 560 cases have been seized by customs and reported to the respective authorities. More than half (51%) of the imported devices can be classified as class 3B, followed by class 3R with 28%, class 2 with 12%, class 4 with 3% and class 1 with just 1%. About 7% were defective or could not be measured due to other reasons.*

**Schlüsselwörter** *Poster, Laserpointer, Laserpointerverbot, Blendungen*

**Keywords** *poster, laserpointer, laserpointerbann, glaring*

## **1. Einleitung**

Laserstrahlung kann im Bereich der Netzhaut Verbrennungen, Löcher oder Blutungen verursachen, welche zu bleibenden Augenschäden führen können. Da das Auge über keine Schmerzrezeptoren verfügt, werden solche Verletzungen nicht akut bemerkt. Es existieren deshalb vergleichsweise wenig Daten zu durch Laserunfälle verursachten Augenschäden. Dies führt dazu, dass die von Laserstrahlung ausgehende Gefahr verharmlost wird. Auch ohne bleibende Augenschäden zu verursachen können durch Blendungen kurzzeitige Verluste des Sehens auftreten. Dies kann insbesondere im Strassen- wie auch Flugverkehr zu gefährlichen Situationen oder Unfällen führen [1,2,5].

Vor diesem Hintergrund trat in der Schweiz am 1. Juni 2019 eine gesetzliche Regelung in Kraft, welche ausschliesslich die Nutzung von Laserpointern der Klasse 1 in Innenräumen zu Zeigezwecken erlaubt [3].

## 2. Import

Seit dem 1. Juni 2019 führt das Bundesamt für Zoll und Grenzsicherheit (BAZG) Kontrollen im Warenverkehr wie auch Personenkontrollen durch und beschlagnahmt Laserpointer (gemäss Definition aus [3]). Diese Geräte werden durch das Bundesamt für Gesundheit gemäss der harmonisierten Norm SN EN 60825-1:2014 [6] klassifiziert und geprüft. Entspricht ein importiertes Gerät nicht den Anforderungen der Klasse 1 gemäss der erwähnten Norm [6], so wird der Import entsprechend zur Anzeige gebracht. In Tabelle 1 sind die Anzahl dieser beschlagnahmten Geräte nach deren Laserklasse aufgelistet; in Abbildung 1 ist die relative Häufigkeit der gemessenen Laserklassen der beschlagnahmten Geräte dargestellt. Für das Jahr 2019 ab dem 1. Juni und für das Jahr 2022 bis und mit dem 30. Juni.

Tab. 1: Durch den Zoll beschlagnahmte Geräte zwischen 1.6.2019\* bis 30.6.2022\*\*.

	2019*	2020	2021	2022**	Total
Klasse 1	2	1	2	2	7
Klasse 2	29	6	8	51	94
Klasse 3R	22	18	22	178	240
Klasse 3B	31	109	84	218	442
Klasse 4	2	14	9	1	26
n/a	32	25	0	0	57
<b>Total</b>	<b>118</b>	<b>173</b>	<b>125</b>	<b>450</b>	<b>866</b>
<b>Fälle</b>	<b>63</b>	<b>136</b>	<b>92</b>	<b>268</b>	<b>559</b>

Über die Hälfte (51%) der importierten Geräte können der Klasse 3B zugeordnet werden. Es folgen mit 28% Klasse 3R, mit 12% Klasse 2, mit 3% Klasse 4 und mit nur gerade 1% Klasse 1. Etwa 7% waren defekt oder konnten aus anderen Gründen nicht vermessen werden.

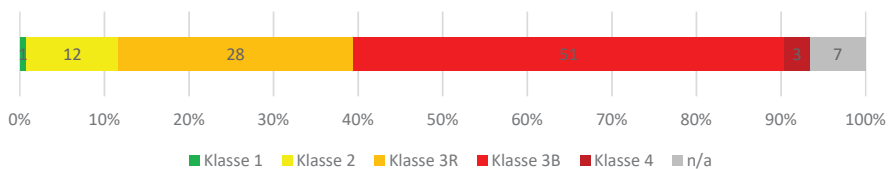


Abb. 1: Relative Häufigkeit der gemessenen Laserklassen der beschlagnahmten Geräte.

In 2019 wurden vermehrt Laserpointer als Katzenspielzeug zum Wiederverkauf importiert, weshalb Geräte der Klasse 2 stärker vertreten waren. Tendenziell werden aktuell eher einzelne stärkere Geräte importiert und die abgegebene Leistung der als Spielzeug angebotenen Laserpointer nimmt stetig immer zu; die Klassen 3B und 3R bilden klar den Hauptanteil der vermessenen Geräte.

Eine massive Zunahme der Fälle und importierten Geräte ist für das Jahr 2022 festzustellen. Dies ist auf Anpassungen im Kontrollverfahren des Warenverkehrs durch das BAZG zurückzuführen, wodurch mehr Sendungen kontrolliert und dadurch deutlich mehr Laserpointer abgefangen werden können. Im ersten Halbjahr wurden bereits 3.6x so viele Geräte vermessen wie im ganzen Jahr zuvor.

Die Anzahl der Klasse 4 Geräte blieb trotz dieser Zunahme gering, bzw. nahm sogar ab.

### 3. Blendungen im Linien- und Charterflugverkehr

Gemäss Erhebung vom Bundesamt für zivile Luftfahrt (BAZL) wurden von 2013 bis 2019 schweizweit jährlich zwischen 100 und 150 Laserblendungen von Pilotinnen und Piloten gemeldet. Es lässt sich seither im Mittel ein jährlicher Rückgang von ca. 10% erkennen. 2020 sowie 2021, nach Inkrafttreten der neuen Gesetzgebung, sank die Zahl der gemeldeten Blendungen durch Laser jeweils auf 33, was einem Rückgang von ca. 54% entspricht. Es ist dabei hervorzuheben, dass per 2020 pandemiebedingt die Flugbewegungen im Linien- und Charterverkehr um 64% zurückging [4]. Für 2021 haben die Flugbewegungen wieder um 15% zugenommen, die Anzahl gemeldeter Blendungen blieb für 2021 auf dem niedrigeren Stand von 2020. Da sich Pandemie immer auf die Anzahl der Flugbewegungen auswirkt, lässt sich aus den im 1. Quartal erhobenen Daten noch kein Trend erkennen.

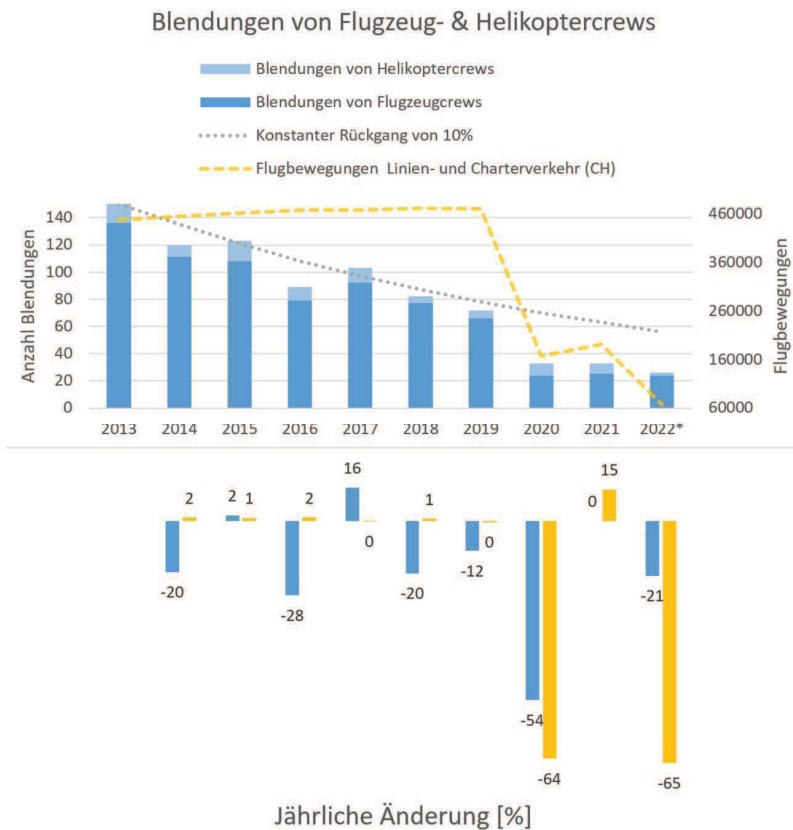


Abb. 1: Relative Häufigkeit der gemessenen Laserklassen der beschlagnahmten Geräte.  
 \*Für 2022 wurden die Daten aus dem 1.Quartal erhoben.

## 4. Schlussfolgerungen

Klar erkennbar ist, dass die Verfahrensoptimierungen des Bundesamts für Zoll und Grenzsicherheit für die Sicherstellung von Laserpointern, welche per 1.1.2022 vorgenommen wurden, Wirkung zeigt. Es werden deutlich mehr Laserpointer während des Imports sichergestellt.

Bezüglich Laserklassen der während des verbotenen Imports sichgestellten Geräten lässt sich ein Trend zu höheren Leistungen, d.h. von Klasse 2 hin zu Klasse 3B erkennen. Die Anzahl Geräte der Klasse 4 ist eher rückläufig.

Die Blendungen im Flugverkehr nehmen tendenziell ab. Es scheint, dass bereits vor Inkrafttreten die Diskussionen um das Gesetz und die zugehörige Verordnung die Anzahl Blendungen reduziert haben.

## 5. Literaturverzeichnis

- [1] Bieri, U.; Kocher, J.P.; Tschöpe, S.; Kohli, A.: Studie nichtionisierende Strahlung und Schall. gfs.bern, 2013.
- [2] Bundesamt für Gesundheit: Faktenblatt Laserpointer. 2021.
- [3] Der Schweizerische Bundesrat. Verordnung zum Bundesgesetz über den Schutz vor Gefährdungen durch nichtionisierende Strahlung und Schall. 2019.
- [4] Bundesamt für Statistik: Linien- und Charterverkehr. <https://www.bfs.admin.ch/bfs/de/home/statistiken/mobilitaet-verkehr/querschnittsthemen/zivilluftfahrt/linien-charterverkehr.html> (Stand 30.06.2022)
- [5] Bundesamt für Strahlenschutz: Blendattacken und Augenschädigungen durch Laser und andere starke optische Strahlungsquellen. 2021.
- [6] SN EN 60825-1:2014. Sicherheit von Lasereinrichtungen - Teil 1: Klassifizierung von Anlagen und Anforderungen.

## **P10: PEROSH INFORMATION WORKSHOP "EMF EXPOSURE OF ELECTRONIC ARTICLE SURVEILLANCE SYSTEMS AT WORKPLACES**

Peter Jeschke<sup>1</sup>, Klaus Schiessl<sup>2</sup>

<sup>1</sup>*Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin, Dortmund (Deutschland);* <sup>2</sup>*Allgemeine Unfallversicherungsanstalt, Wien (Österreich)*

Elektronische Warensicherungssysteme (EAS) sind im Einzelhandel und in der Logistik weit verbreitet, z. B. um Diebstähle zu verhindern oder um zahlreiche Produkte automatisch und gleichzeitig zu lokalisieren und zu überwachen. EAS-Systeme nutzen verschiedene Frequenzbänder, die von statischen Magnetfeldern über Zwischenfrequenzen bis hin zu Funkfrequenzen reichen. Je nach Funktionsprinzip strahlen ausgewählte EAS-Systeme intensive elektromagnetische Felder (EMF) aus, die in einigen praktischen Situationen sogar die maximalen Expositionswerte am Arbeitsplatz überschreiten können. Daher können EAS-Systeme, die die zulässigen Expositionswerte überschreiten, für Beschäftigte, besonders schutzbedürftige Beschäftigte (z. B. mit aktiven implantierten medizinischen Geräten wie Herzimplantaten) und schwangere Beschäftigte von Belang sein. Auch Kunden im Einzelhandel können betroffen sein.

Darüber hinaus erwies es sich für die Betreiber/Arbeitgeber solcher EAS-Systeme als schwierig, von den Herstellern oder Vertreibern ausreichende Informationen über den sicheren Betrieb von EAS-Systemen zu erhalten.

Das Hauptziel des Workshops war es, Interessenvertreter mit einem Hintergrund in den Bereichen Sicherheit und Gesundheitsschutz am Arbeitsplatz sowie Marktüberwachung in ganz Europa zusammenzubringen, um die Aufmerksamkeit auf die potenziellen Probleme zu bündeln, die sich aus EAS-Systemen ergeben. Daher wurden im Workshop:

- Probleme mit der EMF-Exposition von EAS-Systemen am Arbeitsplatz aus einer gesamteuropäischen Perspektive diskutiert und
- die Notwendigkeit eines gesamteuropäischen Forschungs- und Informationsverbreitungsansatzes bewertet, um sichere und gesunde Arbeitsbedingungen zu ermöglichen.

## **P11: DIE TECHNISCHEN REGELN "ELEKTROMAGNETISCHE FELDER" AUS DER SICHT EINES ARBEITGEBERS - CHANCE ODER BÜRDE?**

Ralf Bodemann

*Siemens Energy Global GmbH & Co. KG, München, Deutschland*

Beim Anblick der neuen Technischen Regeln "Elektromagnetische Felder" (TR EMF) springt dem unbedarften Arbeitgeber zunächst der mit ca. 160 Seiten nicht gerade geringe Umfang ins Auge. Viele werden allein deshalb von einer eingehenden Beschäftigung mit dem vorliegenden Dokument Abstand nehmen.

Der Vortrag wird die Chancen und die großen Hilfestellungen aufzeigen, die die TR EMF bei der praktischen Umsetzung der EMF-Verordnung in den Betrieben bereitstellt.

Dies sind insbesondere:

- ein effizientes, zweistufiges Verfahren für die Gefährdungsbeurteilung
- eine umfassende Liste mit EMF-Quellen, für die keine weitergehende Bewertung nötig ist
- Auslöseschwellen für die Exposition von Trägern medizinischer Implantate und Geräte, unterhalb deren auch besonders schutzbedürftige Personen sicher vor störenden Interferenzen geschützt sind sowie
- ein optionales Zonenkonzept für die einfache Ableitung von Schutzmaßnahmen

Der Vortrag wird diese und vielleicht noch ein paar weitere Punkte aus der Perspektive eines betroffenen Arbeitgebers beleuchten und den Nutzen für die betriebliche Umsetzung herausstellen.

## **P12: ERNEUERUNG VON FORTLUFTBILANZIERUNGSANLAGEN NACH ISO 2889 UND VERGLEICH MIT FRÜHEREN MESSSYSTEMEN**

Jan Züllig , Martin Wiedemeier , Christine Harm , Nick Walter , Sabine Mayer

*Paul Scherrer Institut, Schweiz*

### **Zusammenfassung**

*Die 590 MeV Hochstromprotonenbeschleunigeranlage des Paul Scherrer Institutes (PSI) ist die leistungsstärkste Beschleunigereinrichtung des Forschungsinstitutes. Sie leistet über die Emission radioaktiver Gase mit ca. 95 %, bezogen auf die Gesamtheit der Abgabestellen des PSI, den Hauptbeitrag zur radioaktiven Dosis welche an die Umwelt abgegeben wird.*

*Zur Gewährleistung der Schutzziele betreibt das PSI für die Protonenbeschleunigeranlage zwei überwachte Fortluftabgabestellen für radioaktive Stoffe. Durch die Überwachung und Bilanzierung der Fortluft darf das PSI luftgetragene radioaktive Stoffe in begrenzten Mengen kontrolliert über die Fortluftanlagen an die Umwelt abgeben. Im Mittel beträgt die maximal erzeugte Dosis über die Fortluft weniger als 10 % des festgelegten Jahres-Dosisrichtwertes von 0.15 mSv.*

*Im Jahr 2019 wurden die Überwachungs- und Bilanzierungseinrichtungen der Fortluftabgabestellen der Protonenbeschleunigeranlage nach der ISO Norm 2889 [1] und der Richtlinie ENSI-G13 [2] erneuert. Die zwei Hauptregelwerke stellen gegenüber früheren Standards erhöhte Anforderungen an die Probenentnahme, den Betrieb und der Prüfungen neuer Systeme zur Radioaktivitätsüberwachung in der Fortluft. Nach etwas mehr als zwei Jahren Betrieb mit den neuen Überwachungs- und Bilanzierungsanlagen bietet sich die Gelegenheit die früheren Aktivitäten mit den heute gemessenen zu vergleichen.*

### **Summary**

*The 590 MeV high-current proton accelerator facility of the Paul Scherrer Institute is the most powerful accelerator facility of the research institute. Through the emission of radioactive gases the accelerator makes with approx. 95%, based on the totality of the exhaust air discharge points of PSI the main contribution to the radioactive dose that is released to the environment.*

*To ensure the protection goals, PSI operates two monitored exhaust air delivery points for radioactive substances for the proton accelerator facility. By monitoring and balancing the exhausted air, the PSI is allowed to release airborne radioactive substances in limited quantities into the environment through the exhaust air systems. On average, the maximum dose released via the exhaust air is less than 10 % of the specified annual dose reference value of 0.15 mSv.*

*In 2019, the monitoring and balancing facilities of the proton accelerator exhaust air points were renewed in accordance to ISO standard 2889 [1] and the ENSI-G13 [2] guideline. Compared to previous standards, those two main sets of rules place increased requirements on the sampling, operating and testing of new systems for monitoring radioactivity in the exhaust air. After a little over two years of operation with the new monitoring and balancing systems, there is an opportunity to compare earlier activities with those measured today.*

**Schlüsselwörter** Fortluftbilanzierung, ISO Norm 2889, ENSI-G13, Aerosolübertragung

**Keywords** Exhaust air balance, ISO standard 2889, ENSI-G13, aerosol transmission



## 1. Beschreibung der neuen Probenentnahmesysteme

Im Jahr 2019 wurden die Probenentnahmesysteme der Fortluftüberwachungssysteme, die die Fortluft der Beschleunigeranlage beproben, vollständig erneuert. Davon betroffen waren die Entnahmesonden in den Abluftkanälen, die Leitungen bis zu den Filtereinheiten, die Tritiumsammelstellen, die Aerosolfiltereinheiten und das Online-Messsystem zur Bilanzierung der Edelgase. Allgemein wurde darauf geachtet, dass die Probenentnahmen vereinfacht werden und die Leitungsführungen so kurz wie möglich verlaufen. So wurde zum Beispiel der frühere Primär-/Sekundärkreislauf mit Aerosolsammelstelle im Sekundärkreislauf durch eine Aerosolsammelstelle direkt im Primärkreislauf ersetzt. Die Probenentnahmeleitungen bis zu den Aerosolfiltereinheiten sollten nicht nur möglichst kurz sein, sondern auch keine horizontal verlaufenden Teilstrecken enthalten und nur aus rostfreien Stahlrohren, deren Innenflächen eine bestmögliche Beschaffenheit nachweisen, bestehen.

Zwei wesentliche Veränderungen der neuen Probenentnahmesysteme sind auf behördliche Forderungen aus der Richtlinie ENSI-G13 [1] zurückzuführen. Als erstes muss eine Aerosolübertragungsprüfung nachweisen, dass die Penetration von der Probenentnahmesonde bis auf den Aerosolfilter die Mindestwerte aus Tab. 1 erreicht.

Tab. 1: Geforderte Aerosolübertragungsraten aus der Richtlinie ENSI-G13

Aerodynamischer Durchmesser	Minimale Übertragungsrate nach ENSI G-13
Kleine Partikel ungefähr 1 $\mu\text{m}$	50 %
Mittelgrosse Partikel ungefähr 10 $\mu\text{m}$	20 %
Grosse Partikel >100 $\mu\text{m}$	50 %

Die zweite Forderung betrifft die Dichtheit der Entnahmekreisläufe. Die Probenentnahmesysteme müssen so dicht sein, dass der Leckvolumenstrom bei einem Differenzdruck von etwa 100 hPa (100 mbar) weniger als 1 % des Probenvolumenstroms beträgt.

Währenddessen die im Jahr 2019 in Betrieb gegangenen Probenentnahmesysteme beiden Forderungen nachweislich nachkommen konnten, und die Aerosolübertragungen auch für die mittelgrosse Partikelfraktion über 40 % lag, konnten diese Eigenschaften für die früheren Probenentnahmesysteme der Protonenbeschleunigeranlage nie belegt werden.

### 1.1 Sonden und Leitungen

Über die quadratischen Kanalquerschnitte von 1.1 x 1.5 Meter wurden die alten Probenentnahmerechen (5 Einläufe von je 7 mm Durchmesser) ersetzt durch zwei scharfkantige Sonden mit einem Einlaufdurchmesser von 33 mm. Die früheren Entnahmeleitungen aus Kunststoff, welche über längere Strecken horizontal verliefen, wurden durch vertikal geführte Rohre aus rostfreiem Stahl ersetzt, s. Abb. 1.

Die inneren Oberflächen der rostfreien Stahlrohre von den Sonden bis zu den Aerosolfiltereinheiten wurden elektropoliert, was in etwa einer bestmöglichen Oberflächenbehandlung durch mechanische Verfahren entspricht.



*Abb. 1: Die Entnahmeleitungen aus Kunststoff wurden durch rostfreien Stahl ersetzt.*

### 1.2 Aerosolfiltereinheiten

Ehemalige Aerosolfiltereinheiten bestanden aus dem Kombinationshalter Typ RADēCO mit Glasfaserfiltern mit einem Durchmesser von 48 mm und einer mit Aktivkohle befüllten Jod-Kartusche, s. Abb. 2 links. Sie wurden ersetzt durch Aerosolfiltereinheiten des Typs AJS-21-V2KV gefolgt von einem Jodbilanzierungssammler Typ AJS-5 der Firma VerAn. Diese neuen Filtereinheiten sind mit Doppeldichtungen ausgestattet und werden kontinuierlich auf Dichtheit überwacht. Die Aerosole der Probeluft werden über ein Glasfaserfilter von 200 mm Durchmesser gesammelt und das Jod wird in einer Patrone mit zwei Schüttungen Aktivkohle von je 300 ml zurückgehalten, s. Abb. 2 Mitte und rechts.



*Abb. 2: Aerosolfilterhalterungen Typ RADēCO (links) wurden ersetzt durch Aerosolfiltereinheit Typ AJS-21-V2KV und Jodbilanzierungssammlern Typ AJS-5 von der Firma VerAn.*

### 1.3 Tritiumsammelstellen

Die Tritiumsammelstelle wurde für die Rückhaltung von Tritium HTO bzw. die an Wasserdampf gebundene chemische Form ausgelegt. Die PSI eigene Konstruktion bestehend aus vier in Serie geschalteten Auswaschflaschen wurde durch den Tritiumsammler MARC 7000 von der Firma SDEC ausgetauscht, s. Abb. 3.



Abb. 3: Die PSI Tritiumsammelstelle wurde gegen den MARC 5000 von SDEC ausgetauscht.

Die wesentliche Neuerung im Bereich der Sammlung von tritiiertem Wasserdampf durch die Verwendung der MARC 7000 Geräte ist die aktive Kühlung der Probeluft, welche die Auswaschflaschen durchströmt. Durch diese Kühlung wird ein Verlust von Wasser aus den Auswaschflaschen durch Kondensation verhindert.

#### 1.4 Die Edelgasmessung

Für die Edelgase wird die Bilanzierung der Abgaben immer direkt über die Summe der Online-Messungen der austretenden Gase gemacht. Vor Juli 2019 wurde an einer zentralen Stelle ein Gemisch der Fortluft aus den Abgabestellen der ZFA (ZentraleFortluftAnlage) Süd und Nord mittels hochauflösendem Germanium-Detektor gemessen. Abgelöst wurde dieses Messsystem durch zwei unabhängige Messkammern mit jeweils einem Lanthanbromid-Detektor. Die zwei neuen Messkammern wurden näher an die Abgabestellen platziert, so dass eine Verzögerungszeit bis zur Messung entfällt.

## 2. Die Vergleichsperiode

Seit Juli 2019 werden die radioaktiven Abgaben der PSI-West-Protonenbeschleunigeranlage mit den nach ISO 2889 erneuerten Einrichtungen bilanziert. Die Proben werden wöchentlich gewechselt und am PSI-internen Labor gemessen. Bei den radioanalytischen Messungen hat sich für die Auswertung der Aerosole, des Jods und des Tritiums messtechnisch nichts geändert. Nur für die Bilanzierung der abgegebenen Edelgase welche mit dem Online-Messsystem erfasst werden, hat sich das Messsystem geändert. Aus diesen Gründen ist es sinnvoll, insbesondere für Aerosole, Jod und Tritium, einen Vergleich der gesammelten Aktivitäten vorzunehmen. Bei der Auswahl von vergleichbaren Zeitabschnitten vor und nach dem Umbau erweist sich der Betrieb der Protonenbeschleunigeranlage als ausschlaggebend. Der kürzeste Zeitabschnitt von einer Woche ist dafür am besten geeignet, weil sich dabei übereinstimmende Protonenstrom-Leistungen finden lassen. Dazu werden hier die Woche 39 im Jahr 2018 mit der Woche 29 im Jahr 2021 verglichen. Für die Beurteilung der Protonenanlage-Leistung wurde der Strom-Monitor mit der internen Bezeichnung MHC6 [3] verwendet. Die radiologischen Messdaten stammen aus der PSI-Messdatenbank der Radioanalytik, RA-Dat [4].

### 3. Vergleich der Aktivitätsabgaben

#### 3.1 Vergleich von gemessenen Aerosolen und Jod

Tab. 2: Vergleich von gemessenen Aerosolen und Jod bei der Abgabestelle der ZFA Süd vor und nach der Erneuerung der Bilanzierungseinrichtung nach ISO 2889

Isotop	Aerosol-/Jod-Aktivität ZFA Süd, W39 2018 Aktivität (Bq)	Aerosol/Jod-Aktivität ZFA Süd, W29 2021 Aktivität (Bq)	Abweichung in %
Na-24	-	6.67E+06	-
S-38	1.12E+07	-	-
Co-60	4.39E+04	-	-
Br-77	-	5.03E+05	-
Br-80m	5.22E+07	-	-
Br-82	1.34E+07	4.13E+07	+ 208%
Te-121	-	8.53E+04	-
I-123	3.74E+05	2.33E+06	+ 523%
I-125	1.64E+05	6.08E+06	+ 3607%
Lu-177m	-	6.97E+04	-
Re-181	1.30E+06	3.60E+06	+ 177%
Os-182	5.27E+06	1.39E+07	+ 164%
Re-182	4.23E+06	2.04E+07	+ 382%
Re-182m	5.39E+04	4.45E+05	+ 726%
Os-183	4.70E+06	1.51E+07	+ 221%
Os-183m	6.69E+06	1.12E+07	+ 67%
Re-183	3.25E+05	5.34E+05	+ 64%
Os-185	3.66E+05	1.02E+06	+ 179%
Pt-191	-	2.54E+06	-
Au-192	1.98E+07	-	-
Hg-192	1.09E+07	-	-
Au-193	5.09E+06	3.12E+07	+ 513%
Hg-193m	4.56E+06	2.43E+07	+ 433%
Au-194	-	5.42E+04	-
Hg-194	-	5.42E+04	-
Hg-195	3.07E+07	-	-
Hg-195m	2.12E+06	1.01E+07	+ 376%
Hg-197m	2.70E+06	1.57E+07	+ 481%
Hg-197	-	5.14E+07	-
Hg-203	1.28E+05	6.81E+05	+ 432%

Bemerkungen zum Messwertvergleich:

- Die Nuklide S-38, Co-60, Br-80m, Au-192, Hg-192 werden neu nicht mehr gemessen. Mit einer maximalen Halbwertszeit von max. 5 Stunden können diese Nuklide über die Sammelwoche auch zerfallen sein.

- Hingegen werden neu die Nuklide Na-24, Br-77, Te-121, Lu-177m, Pt-191, Au-194, Hg-194 und Hg-197 gemessen. Mit den neuen Filtereinheiten werden also mehr unterschiedliche Nuklide zurückgehalten.
- Für alle Nuklide die sowohl mit den alten wie auch mit den neuen Filtereinheiten gemessen wurden, wurden die Rückhaltevermögen durch die Erneuerung verbessert. Für die Aerosole wurde bis zu 8 Mal mehr und für das Jod sogar bis zu 37 Mal mehr Aktivität gesammelt.

### 3.2 Vergleich der gemessenen Tritiumabgaben

*Tab. 2: Vergleich der gemessenen Tritiumabgaben der ZFA Süd vor und nach der Erneuerung der Bilanzierungseinrichtung nach ISO 2889*

Isotop	Tritium ZFA Süd Woche 39, 2018 Aktivität in Bq	Tritium ZFA Süd Woche 29, 2021 Aktivität in Bq	Abweichung in %
H-3	5.40E+10	7.32E+10	+ 36%

In den Vergleichsperioden wurde mit der neuen Tritium-Sammelstelle über 30 % mehr Tritium HTO gesammelt.

### 3.3 Vergleich der gemessenen Edelgase

*Tab. 4: Vergleich der über einer Woche summierten Edelgasmesswerte der Abgabestelle der ZFA Süd und Nord vor und nach der Erneuerung der Bilanzierungseinrichtung nach ISO 2889*

Isotop	Edelgase ZFA Süd&Nord Woche 39 2018 Aktivität in Bq	Edelgase ZFA Süd&Nord Woche 29 2021 Aktivität in Bq	Abweichung in %
Ar-41	1.80E+11	1.80E+11	0%
C-11	1.09E+12	1.37E+12	+ 26%
F-18	3.90E+10	4.34E+10	+ 11%
N-13	1.02E+12	1.43E+12	+ 40%
Ne-24	3.61E+10	-	-
O-15	1.76E+12	5.86E+12	+ 233%

Bemerkungen zum Messwertvergleich:

- Ar-41 wird über die spezifische Gammalinie bei 1293,6 keV gemessen und weist eine sehr gute Übereinstimmung nach.
- Die Beta + Isotope (C-11, F-18, N-13, O-15) werden immer gemeinsam als Gemisch über die Gammalinie bei 511 keV gemessen. Die kurzen Halbwertszeiten der Isotope (von 2 Minuten bis max. 2 Stunden) führen dazu, dass je nach Messzeitpunkt deren Verteilung unterschiedlich ausfällt. Da die neue Messkammer näher an die Abgabestelle platziert wurde, ist ein Vergleich der Werte nicht direkt möglich.
- Der neue LaBr3-Detektor hat gegenüber dem früheren HPGe-Detektor eine schlechtere Energieauflösung. Ne-24 (mit 472 keV als Hauptlinie) wird ungenügend von der Beta + Linie unterschieden und daher nicht gemessen.

## 5. Literaturverzeichnis

- [1] DIN ISO 2889:2010, Probenentnahme von Luftgetragenen radioaktiven Stoffen aus Kanälen und Kaminen kerntechnischer Anlagen, Fassung 2012-07
- [2] Richtlinie ENSI-G13, «Messmittel für ionisierende Strahlung», Ausgabe Oktober 2015
- [3] GFA Channel Archiver, <http://archif.psi.ch/archiver/php/channelselection.php>, Channel Name /Pattern: MHC6, Selected Archive: ZHE LT Archive
- [4] RA-Dat PSI Datenbank, Datensätze W29 (2021\_0983, \_0985, \_0988) und W39 (2018\_0843, \_0844, \_0847), Abfrage M. Wiedemeier-Vogt am 30.5.2022

## **P13: 29 GENEHMIGUNGEN, 2 AUFSICHTSBEHÖRDEN, EINE STRAHLENSCHUTZORGANISATION?**

Sven Nagels

*JEN Jülicher Entsorgungsgesellschaft für Nuklearanlagen mbH, Deutschland*

Die JEN Jülicher Entsorgungsgesellschaft für Nuklearanlagen mbH (JEN) hat Umgang mit radioaktiven Stoffen unter dem Dach von Genehmigungen nach Strahlenschutzrecht mit der Bezirksregierung Köln als Genehmigungs- und Aufsichtsbehörde und betreibt kerntechnische Anlagen nach Atomgesetz mit dem Ministerium für Wirtschaft, Innovation, Digitalisierung und Energie des Landes Nordrhein-Westfalen (MWIDE NRW) als Genehmigungs- und Aufsichtsbehörde.

Bei Gründung der JEN war die Strahlenschutzorganisation noch auf die Aufgaben „Forschung und Entwicklung“ ausgerichtet, daher war die Strahlenschutzorganisation komplett zu überarbeiten um dabei auch das aktuelle Aufgabenspektrum der JEN zu berücksichtigen.

Jede Anlage bzw. jeder Betrieb in der JEN hat ein eigenes Regelwerk, in dem die betrieblichen Regelungen dargestellt sind. Je nach Anlage hat dieses Regelwerk unterschiedliche Bezeichnungen, z. B. Betriebshandbuch, Abbauhandbuch oder Rückbauhandbuch. Daneben finden sich einige Regelungen, insbesondere in den Bereichen, die in den Regelungsbereich des Strahlenschutzrechts fallen, in entsprechenden Strahlenschutzanweisungen. Diese komplexe Regelungslandschaft war bei der Definition einer einheitlichen und übergeordneten Strahlenschutzorganisation zu berücksichtigen.

Die Strahlenschutzorganisation wurde den zuständigen Aufsichtsbehörden zur Überprüfung zugesandt. Das Ergebnis der Überprüfung lautete: „Zusammenfassend ist festzustellen, dass die Festlegungen [...] die strahlenschutzrechtlichen Vorgaben zur Organisation des Strahlenschutzes im erforderlichen Umfang erfüllen, die Aufgabenzuweisung und Zuständigkeitsabgrenzung der jeweiligen Personengruppen im Einklang zu den Anforderungen des Strahlenschutzrechts (hier StrlSchG, StrlSchV und AtEV) stehen und die sonstigen Regelungen zur Organisation des Strahlenschutzes eine effektive Durchführung der erforderlichen Strahlenschutzaufgaben ermöglichen und sicherheitstechnisch zielführend sind.“ Wie bei einer guten Organisation üblich geht mit dem Tag der Gültigkeit der neuen Strahlenschutzorganisation der kontinuierliche Verbesserungsprozess weiter. Die nächste Revision der Strahlenschutzorganisation ist bereits in Arbeit.

## **P14: DAS QUELLENINVENTAR DES PAUL SCHERRER INSTITUTS**

Albert Karcher, Marcel Arnold, Christine Harm, Nick Walter, Sabine Mayer

*Paul Scherrer Institut, Schweiz*

Das Paul Scherrer Institut (PSI) ist die grösste Forschungseinrichtung der Schweiz mit Fokus auf Grossforschungsanlagen. Diese werden jährlich von mehr als 2000 Benutzern verwendet. Für die Vorbereitung von Experimenten, die Kalibrierung und Eichung von Detektoren und Messgeräten sowie für Funktionsprüfungen der Überwachungssysteme besitzt das PSI eine Vielzahl von radioaktiven Quellen. Die Strahlenschutzgesetzgebung stellt hohe Anforderungen an deren Handhabung und die Dokumentation. Darüber hinaus verlangen die unterschiedlichen Anwendungsgebiete und Halbwertszeiten der verwendeten Radionuklide kontinuierliche Neuanschaffungen und Entsorgungen.

Das Quelleninventar des PSI umfasst mehr als 600 Quellen unterschiedlicher Nuklide, Strahlenarten, Aktivitäten und Bauarten. Neben permanent verbauten Quellen in Bestrahlungsanlagen, Messgeräten oder Experimenten, können externe wie interne Mitarbeiter, unter Einhaltung des Strahlenschutzes, auf dieses umfangreiche Sortiment verschiedener Strahlenquellen zugreifen und innerhalb des PSI nutzen. Der Standort der Quellen auf dem weitläufigen Areal des Instituts muss dabei jederzeit bekannt und rückverfolgbar sein. Der Umgang mit Quellen deren Aktivität >1000 LA (Bewilligungsgrenze) und Neutronenquellen benötigt zusätzliche Massnahmen.

Der Beitrag gibt eine Übersicht über den Aufbau und die Organisation des Quelledienstes und gibt einen Einblick auf das aktuelle Quelleninventar sowie einen Überblick über die Quellenbilanz der letzten Jahrzehnte.

## **P15: STILLLEGUNG VON KERNANLAGEN: DIE ARBEIT DER RADIOANALYTIK FÜR RÜCKBAU UND NUKLEARE ENTSORGUNG**

Andreas Brand, Fabian Köhler, Maya Jäggi, Martin Heule, Nick Walter, Sabine Mayer

*Paul Scherrer Institut, Schweiz*

Im Rahmen anstehender Rückbauprojekte, ergibt sich neben dem strahlenschutztechnischen Aspekt auch die Notwendigkeit zur radiochemischen Charakterisierung von Baumaterialien und einem kontinuierlichen Monitoring der aus kerntechnischen Anlagen emittierten Luft- und Wassermengen. Für die Umsetzung dieser Tätigkeiten wird neben der Gammaskpektrometrie auch eine nasschemische Analytik benötigt, da ein Grossteil der sich unter Aufsicht befindlichen Radionuklide nur mithilfe von Alphaspektrometrie und Flüssigszintillation zu detektieren sind. Des Weiteren bereiten die grosse Bandbreite an unterschiedlichen Baumaterialien und Zusammensetzungen der Stoffe eine Herausforderung. Dahingehend stellt sich zumeist die Frage: Wie einfach (oder nicht) können die Proben aus kerntechnischen Anlagen durch Zugabe von Säuren komplett aufgelöst werden? Oder gibt es Möglichkeiten, um zeit-, kosten-, und ressourceneffizientere Methoden zur Verfügung zu stellen? In dieser Übersicht möchten wir die Notwendigkeiten zur routinemässigen Analyse von Luftfiltern und Abwässern, aber auch die komplexeren Matrices, wie Beton- und Stahlproben am Paul Scherrer Institut (PSI) in der Schweiz beleuchten.



## **P16: PERSONENSICHERHEITSSYSTEME AM PSI**

Christine Harm, Eike Hohmann, Albert Karcher, Nick Walter, Sabine Mayer

*Paul Scherrer Institut, Schweiz*

### **Zusammenfassung**

*Anlagen zur Erzeugung ionisierender Strahlung müssen in der Schweiz gemäss Verordnung des EDI (Eidgenössische Departement des Innern) über den Strahlenschutz bei nichtmedizinischen Anlagen zur Erzeugung ionisierender Strahlung (SnAV) in Bestrahlungsräumen betrieben werden. Die radiologische Gefahrensituation ist abhängig vom Betriebszustand der Beschleunigeranlage und ein Sicherheitssystem muss den Anforderungen eines zuverlässigen Betriebs sowie eines sicheren Personenschutzes erfüllen.*

*Zusätzlich können Anforderungen aus Wissenschaft und Industrie zu weiteren potenziellen Gefährdungen (Laser, Roboter) führen, vor welchen Personen geschützt werden müssen – deren Anforderungen jedoch nicht unbedingt mit denen gegen die ionisierende Strahlung übereinstimmen. Aus diesem Grund werden potenzielle Gefährdungen anhand einer Risikoanalyse beurteilt und Randbedingungen definiert. Damit kann dann ein System konzipiert werden, welches eine einfache, aber sichere Verwendung der Anlage von häufig wechselnden Benutzern gewährleistet.*

*In diesem Beitrag wird der Prozess zur Ermittlung der Gefährdungen, elementare Bestandteile der daraus entwickelten Schutzkonzepte und die technische Umsetzung in einem Überblick dargestellt.*

### **Summary**

*Facilities that produce ionizing radiation have to be operated in special areas, due to Swiss legislation. The level of radiation hazard is depending on the status of operation of the accelerator. Scientific or industrial requirements may cause additional hazards, such as Laser, moving Systems (Robots) etc., which as well must be surveyed by a safety system to ensure personal safety.*

*All these requirements have to undergo a risk analysis before the conditions of the machine components and access will be defined.*

*This paper gives an overview about the general steps of development of a PSYS, main components and required documents.*

**Schlüsselwörter** *Personensicherheitssystem, Funktionale Sicherheit, Performance-Level*

**Keywords** *personal safety system, functional safety, performance level*

## **1. Personensicherheitssysteme am PSI - Grundlagen und Komponenten**

In den Grossforschungsanlagen des Paul Scherrer Instituts werden Neutronen, Myonen und Synchrotronlicht für Forschungszwecke erzeugt. Dazu werden in Beschleunigern verschiedene Teilchenarten erzeugt und beschleunigt. Zudem werden weiterhin diverse Testanlagen (HF-Teststände, Neutronen-Generatoren), Röntgenanlagen oder Bestrahlungsanlagen (z.B. des Eich- und Kalibrierlabors) betrieben. Diese Anlagen zur Erzeugung ionisierender Strahlung müssen in der Schweiz gemäss Verordnung des EDI (Eidgenössische Departement des Innern) über den Strahlenschutz bei nichtmedizinischen Anlagen zur Erzeugung ionisierender Strahlung (SnAV) [1] in Bestrahlungsräumen betrieben werden.

Die Gefährdung durch ionisierende Strahlung ist innerhalb dieser Bestrahlungsräume sehr variabel und vom Betriebszustand der Anlage abhängig. Während des Beschleunigerbetriebs sind diese Bereiche aufgrund hoher Dosisleistung nicht zugänglich, bei ausgeschalteten oder gesicherten Anlagen sind jedoch kaum radiologische Einschränkungen für den Zutritt vorhanden. Dabei bestehen grosse Unterschiede zwischen den verschiedenen Forschungsanlagen sowie zwischen Strahlführungs- und Experimentierarealen.

Zusätzlich können Anforderungen aus Wissenschaft und Industrie zu weiteren potentiellen Gefährdungen (Laser, Roboter) führen, vor welchen Personen geschützt werden müssen – deren Anforderungen jedoch nicht unbedingt mit denen gegen die ionisierende Strahlung übereinstimmen.

Zudem unterscheiden sich die Benutzergruppen solcher Areale stark. Während Strahlführungsareale hauptsächlich von geschultem Eigenpersonal betreten werden, werden Experimentierareale vielfach von wechselnden externen Usergruppen verwendet.

Entsprechend den Vorgaben aus den gesetzlichen Grundlagen ist vor der Inbetriebnahme einer Anlage sicherzustellen, dass sich keine Personen mehr im Bestrahlungsraum aufhalten oder diesen während des Betriebs betreten können.

Da der Grad der Gefährdung der einzelnen Gefahrenquellen sehr unterschiedlich sein kann, wird für jeden Bestrahlungsraum im Vorfeld oder bei wesentlichen Änderungen eine Risikoanalyse und Gefahrenbewertung durchgeführt [2], um angelehnt an die Maschinenrichtlinie ISO 13849 das erforderliche Sicherheitslevel (Performance-Level PLr) der verschiedenen Sicherheitselemente und der Steuerung des Personensicherheitssystems zu ermitteln.

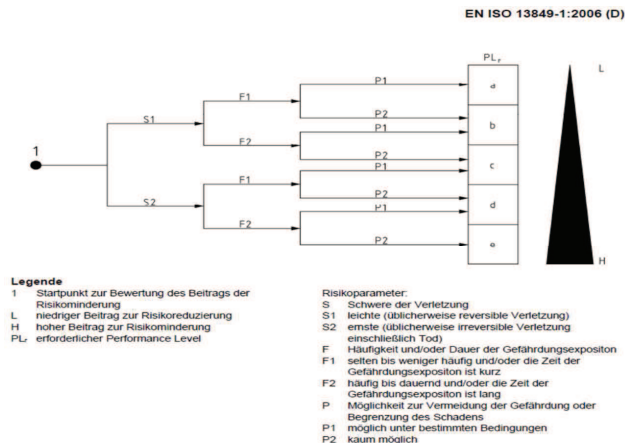


Bild A.1 — Risikograf zur Bestimmung des PL<sub>r</sub> für jede Sicherheitsfunktion

Abb. 1: Risikograf zur Bestimmung des PL [3]

Personensicherheitssysteme am PSI bestehen in der Regel aus folgenden Teilen:

- Maschinenkomponenten (Beamstopper, Hochspannung, Hochfrequenz etc.) einschliesslich Eskalationsstufen (sofern erforderlich)  
-> **Kontrolle der Produktion der ionisierenden Strahlung**
- Überwachung der Zugänge  
-> **Regelung des Zutritts**

- Ggf. Überwachung der Dosisleistung im Areal oder von Maschinenkomponenten  
-> **Überprüfung der Integrität von Maschinenkomponenten**
- Sicherheitsgerichtet Steuerungen, welche die Komponenten überwachen und freigeben  
-> **Verknüpfung und Überwachung der Teilkomponenten**

Die Überwachung der Dosisleistung ist je nach Art der Beschleuniger eine Herausforderung, da gepulste Strahlung produziert wird, die Energie der Strahlung sehr niedrig ist (wenige keV) ist oder der Strahl zu wenig Streustrahlung erzeugt, um sicher zwischen Strahlbetrieb und Untergrund unterscheiden zu können.

Aus diesem Grund werden sichere Steuerungen und Positionsüberwachungen der Maschinenkomponenten oder Zutritts Türen eingesetzt, um auch ohne eine Messung der Dosisleistung einen sicheren Zustand innerhalb der Areale gewährleisten zu können.

Um sicherzustellen, dass sich bei Aufnahme des Strahlbetriebs keine Personen mehr im Schutzbereich befinden, ist ein Rundgang durchzuführen, der mittels Rundgangschaltern so geführt wird, dass alle kritischen Orte abgesucht werden müssen. Schutzbereiche, welche von der Türe aus überblickt werden können, können auf diesen Rundgang verzichten.

Die für jedes Areal erforderlichen Teilkomponenten und Bedingungen für den Zutritt oder Strahlbetrieb, werden in einem eigenen Dokument, dem Schutzkonzept, zusammengefasst. Diese Schutzkonzepte, sowie die zugehörigen Checklisten für die jährlich vorgeschriebenen Prüfungen dieser Personensicherheitssysteme, sind Bestandteil der Bewilligungsunterlagen für den Betrieb der Beschleunigeranlagen.

Die technische Umsetzung wird anschliessend im Realisierungskonzept dargelegt und bildet u.a. die Grundlage für die Schulungen und Unterweisungen der jeweiligen Nutzer.

## 2. Literaturverzeichnis

- [1] Verordnung über den Strahlenschutz bei nicht medizinischen Anlagen zur Erzeugung ionisierender Strahlung (SnAV) vom 26.06.2017; SR814.501.51
- [2] EN ISO 12100:2010 Sicherheit von Maschinen – Allgemeine Gestaltungsleitsätze – Risikobeurteilung und Risikominderung; November 2010
- [3] EN ISO 13849-1:2015 Sicherheit von Maschinen – Sicherheitsbezogene Teile von Steuerungen-Teil 1: Allgemeine Gestaltungsleitsätze; 2016-06

## **P17: STRAHLENSCHUTZ ON TOUR - TÄTIGKEIT IN FREMDEN STRAHLENSCHUTZBEREICHEN**

Almut Geisler<sup>1</sup>, Jens-Uwe Gölling<sup>2</sup>, Ursula Ham<sup>3</sup>, Siegfried Krüger<sup>4</sup>, Sandra Morawitz<sup>5</sup>, Josef Schober<sup>6</sup>

*<sup>1</sup>Helmholtz Zentrum München, Deutschland; <sup>2</sup>Bayerisches Landesamt für Umwelt; <sup>3</sup>GNS Gesellschaft für Nuklear-Service mbH; <sup>4</sup>Technisches Ingenieurbüro Krüger; <sup>5</sup>Technische Universität München, Fakultät für Physik; <sup>6</sup>TÜV SÜD Industrie Service GmbH*

Wer in fremden Anlagen oder Einrichtungen, z. B. kerntechnischen Anlagen, Krankenhäusern oder Forschungseinrichtungen tätig wird oder Personen dort beschäftigen möchte, benötigt grundsätzlich eine Genehmigung nach § 25 deutschem Strahlenschutzgesetz oder eine Bewilligung nach Artikel 9f schweizerischer Strahlenschutzverordnung. Dieser Grundsatz gilt sowohl für die Entsender aus Deutschland/Schweiz in eine deutsche/schweizerische Anlage oder Einrichtung, als auch für Entsender aus dem europäischen und nicht europäischen Ausland.

In diesem Beitrag wird ein kurzer Überblick über die Anforderungen für Tätigkeiten in fremden Strahlenschutzbereichen für Deutschland, die Schweiz und auch international gegeben. Weiterführende Informationen werden zukünftig auf der Homepage des AK Praktischer Strahlenschutz zur Verfügung gestellt.

## **P18: STRAHLENSCHUTZMAILINGLISTEN- SILBERNES JUBILÄUM**

Peter Hill

*Forschungszentrum Jülich GmbH, 52425 Jülich*

Seit nunmehr 25 Jahren bestehen die Mailingliste radsafe-d für den deutschsprachigen Raum und die europäische Mailingliste radsafe-eu. Zur Zeit der Gründung betrieb das damalige Forschungszentrum Karlsruhe die Internetseite des Fachverbandes für Strahlenschutz. Jülich sah die Möglichkeit dieses Angebot durch eine strahlenschutzorientierte Mailingliste zu ergänzen. Die technische Möglichkeit war im Forschungszentrum Jülich gerade neu gegeben. So wurden radsafe-d und radsafe-eu die ersten Mailinglisten im FZJ, die sich auch nach aussen richteten. Vorbild war die internationale Liste radsafe. Letztlich war sie in vielen Beiträgen zu US-spezifisch, so dass eine europäische Alternative nahe lag.

Das Angebot traf den Nerv der Zeit. Die Benutzerzahlen stiegen rasch an und schon im Jahr 2000 saß der Moderator der Mailinglisten bei einem Erfahrungsaustausch europäischer Strahlenschutzfachzeitschriften mit am Tisch und referierte zu den Themen Mailinglisten, sowie Strahlenschutz im Internet.

Mit dem Aufkommen von Facebook und anderen sozialen Medien verloren Mailinglisten ihr Alleinstellungsmerkmal in der aktiven elektronischen Kommunikation mit größeren Gruppen. Der sich abzeichnende Totalverlust der Teilnehmer an die neuen Medien fand dann so aber doch nicht statt. Die Zahl der Listenteilnehmer stabilisierte sich bei etwa 2/3 der Höchststände. Die Mailinglisten sind heute ein von mehreren etablierten Säulen der elektronischen

Strahlenschutzkommunikation. Die Teilnehmerzahlen fluktuieren, liegen aber seit vielen Jahren insgesamt stabil bei knapp 200 bei radsafe-d und knapp 300 bei radsafe-eu. Mit der Zeit haben sich die Themen der Beiträge gewandelt. Die meisten Teilnehmer nutzen die Listen passiv. Etwas mehr Diskussion wäre wünschenswert. Doch im Fazit erfüllen die Listen auch noch nach 25 Jahren ihren Daseinszweck. Weiter so!

## **P19: NEUE KONZEPTE IN DER STRAHLENSCHUTZAUSBILDUNG**

Andreas Steege, Karola Schulz, Charlotte Kaps

*Deutsche Gesellschaft für Zerstörungsfreie Prüfung e.V. (DGZfP) Berlin, Deutschland*

Die Ausbildung im Strahlenschutz muss an die Gegebenheiten des modernen Lernens angepasst werden. Die Schwierigkeiten Präsenzs Schulungen während der Coronazeit durchzuführen, hat deutlich gezeigt, wie sinnvoll moderne Ansätze zur Wissensvermittlung sind. Der Wechsel weg von reinen Präsenzkursen hin zu Blended Learning Kursen ist dabei nicht nur für die Strahlenschutz Ausbildung eine Möglichkeit auch in Zukunft eine attraktive Ausbildung anzubieten. Anhand von kleinen Learningnuggets und eines Kursablaufplans soll das Konzept des Blended Learnings für Strahlenschutzkurse vorgestellt werden. Gerade die Vermittlung der naturwissenschaftlichen Grundlagen eignet sich für eine reine Selbstlernphase. Strahlenschutzkurse können durch eine Aufteilung in Selbstlernphase und Präsenzphase entzert werden. Der Fokus der Präsenzphase kann dann auf der Vermittlung praktischer Fähigkeiten liegen oder von Inhalten die häufigen Änderungen unterworfen sind und in weiterführenden Diskussionen vermittelt werden müssen. Zusätzlich wird die Einbettung einer Learn-Management-Plattform, auch in reine Präsenzs Schulungen, vorgestellt, eine Möglichkeit den Teilnehmern zusätzliches Lehrmaterial während und nach einer Schulung zur Verfügung zu stellen.

## **P20: SICHERER BETRIEB BEIM UMGANG MIT DEM AGILENT ELEKTRONENEINFANG DETEKTOR ECD**

Astrid Engel

*Agilent Deutschland GmbH, Deutschland*

In meinem Vortrag geht es um die Kenntnisvermittlung zum sicheren Betrieb von ECD. Es wird erklärt: Was ist ein ECD, Rechtliche Grundlagen zum Betrieb, Betriebsbedingungen des Herstellers und Anforderungen des Herstellers / Agilent, wenn ein Service an einem ECD geplant wird.

## **P21: STRAHLENSCHUTZ AN SCHULEN – DIE NEUE RISU**

Astrid Lange<sup>1</sup>, Jan-Willem Vahlbruch<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Niedersächsisches Ministerium für Umwelt, Energie, Bauen und Klimaschutz, Deutschland;

<sup>2</sup>Institut für Radioökologie und Strahlenschutz der Leibniz Universität Hannover

Die Durchführung von Experimenten ist ein wesentlicher Bestandteil des wissenschaftlichen Lernens im Schulunterricht. Dies gilt auch für Versuche zur Radioaktivität, die unter Beachtung der Richtlinie „Sicherheit im Unterricht“ im Schulunterricht möglich sind. Dieser Beitrag soll die wesentlichen Rahmenbedingungen für das Experimentieren mit radioaktiven Stoffen an Schulen aufzeigen und darlegen, unter welchen Bedingungen die Mitwirkung von Schülerinnen und Schülern auch bei Experimenten mit radioaktiven Stoffen an Schulen sicher möglich ist. Insbesondere soll dargestellt werden, wo die RiSU den unterschiedlichen Bundesländer Gestaltungsspielraum lässt und aus der Praxis darüber berichtet werden, wie dieser genutzt wird.

## **P22: DAS RADLAB – EIN MOBILES SCHÜLERLABOR ZUM THEMA RADIOAKTIVITÄT**

Jan-Willem Vahlbruch, Clemens Walther

*Leibniz Universität Hannover, Deutschland*

Um auch den Schulen in Hannover, die aufgrund einer unzureichenden Ausstattung die im Curriculum vorgeschriebenen Lehrinhalte zur Radioaktivität bislang nur theoretisch unterrichtet konnten, die Durchführung von Experimenten zu ermöglichen, hat das Institut für Radioökologie und Strahlenschutz ein mobiles Schülerlabor zum Thema Radioaktivität entwickelt. Kernstück dieses mobilen Schülerlabors ist ein elektrisch unterstütztes Lastenfahrrad, das für die Durchführung von genehmigungsfreien Experimenten ausgestattet wurde, so dass interessierten Schulen in der Stadt Hannover einfach und umweltfreundlich unterstützt werden können. Zu diesen Experimenten zählen

- Aufbau und Funktionsweise des GMZ
- Stochastische Schwankungen
- Radioaktivität in Lebensmitteln
- Detektion von Radon Folgeprodukten
- HWZ Bestimmung mit einem Schüttelpräparat
- Reichweiten von Strahlenarten
- Abschirmverhalten von Materie

In diesem Beitrag wird das Konzept des LabRADs vorgestellt und neben dem Lastenrad selbst vor allem auch die im Rahmen einer Masterarbeit didaktisch durchgeplanten Unterrichtseinheiten mit ihren verschiedenen Inhalten beschrieben.

### **P23: BLENDED LEARNING IN STRAHLENSCHUTZKURSEN: CLAAS' WELT**

Michael Steppert<sup>1</sup>, Silvia Feil<sup>2</sup>, Claudia Frie<sup>2</sup>, Martha Herbold<sup>2</sup>, Jan-Lukas Karzewsky<sup>1</sup>, Jesko Thiel<sup>2</sup>, Jan-Willem Vahlbruch<sup>1</sup>, Leo Wujec<sup>1</sup>

<sup>1</sup>IRS, Leibniz Universität Hannover, Deutschland; <sup>2</sup>ZQS/elsa, Leibniz Universität Hannover, Deutschland

Da die Teilnehmenden an Kursen zur Erlangung der Fachkunde im Strahlenschutz sehr unterschiedliches individuelles Vorwissen haben, wurde am IRS ein neues Kurskonzept für das Modul RH der Fachkunde-Richtlinie Technik nach RöV entwickelt.

In diesem Kurs werden über den „Blended Learning“-Ansatz vielfältige Lernzugänge angeboten: in einer Selbstlernphase werden die grundlegenden Inhalte auf der Lernplattform ILIAS mit Vortragsvideos, praktischen Vorführungen und zusätzlichem Material erarbeitet.

Dabei werden die Teilnehmenden immer wieder aufgefordert, das gelernte Wissen mit der Praxis in ihrem Betrieb abzugleichen. In diesem Ansatz kann das Lerntempo entsprechend des Vorwissens selbst gewählt werden und der Lernerfolg über Zwischentests überprüft werden. In moderierten Foren können sich die Kursteilnehmer\*innen austauschen, Fragen stellen und Einblicke in ihren beruflichen Alltag geben. Die Phase wird mit einem Lehrbuch, einem Buch mit Übungsaufgaben und einem Lernkarten-Satz unterstützt. Die Themen sind in eine Rahmengeschichte des Protagonisten „Claas“, der Strahlenschutzbeauftragter bei einer fiktiven Firma „Piepens Röntgentechnik“ werden soll, eingebettet. Nach einem Abschlusstest zu allen Themengebieten auf der Plattform ILIAS startet dann die Präsenzphase des Kurses.

In der Präsenzphase des Kurses werden die wichtigsten Inhalte wiederholt und das erlernte Wissen in Demonstrationspraktika gefestigt. Das Vorwissen der Teilnehmenden in der Präsenzphase ist nun deutlich homogener. Und: die Teilnehmer\*innen haben sich vor dem ersten Zusammentreffen intensiv mit dem Thema Strahlenschutz auseinandergesetzt und die erlernten Inhalte mit der Praxis in ihrem Berufsalltag abgleichen können.

In Gruppenübungen und Diskussionsrunden lassen sich so die für die Teilnehmenden wichtigen und ganz konkret auf ihr Arbeitsfeld bezogenen Fragen klären. Teilnehmer\*innen empfinden diese Art der Wissensvermittlung als sehr nachhaltig.

## **P24: EXPERIENCE IN THE DISPOSAL OF LEAD PROTECTION FOR PATIENTS IN RADIOLOGY: PRACTICAL ASPECTS AND COMMUNICATION TO THE POPULATION AND HEALTHCARE PROFESSIONALS**

Gianluca Paterniti<sup>1</sup>, Stefano Presilla<sup>1</sup>, Marco Budin<sup>1</sup>, Gabrio Cadei<sup>1</sup>, Margarida Caetano Ferreira da Silva<sup>1</sup>, Simone Ferrari<sup>1</sup>, Michel Kayar<sup>1</sup>, Giovanni Libonati<sup>2</sup>, Luca Bellesi<sup>1</sup>, Francesco Magoga<sup>1</sup>, Stefan Pittaluga<sup>1</sup>, Paolo Premazzi<sup>1</sup>, Ermidio Rezzonico<sup>1</sup>, Vujadin-Uros Simic<sup>1</sup>, Filippo Del Grande<sup>1</sup>, Francesco Mascaro<sup>1</sup>

<sup>1</sup>IIMSI – Istituto di Imaging della Svizzera Italiana; <sup>2</sup>Clinica di Radio-Oncologia – Istituto Oncologico della Svizzera Italiana

*Keywords: Radiation Protection; Image Quality; Dose Optimization; Communication*

### **1. Abstract**

Patient shielding is a common practice in diagnostic imaging while growing scientific evidence suggests that their use brings negligible or no benefit, potentially increase the dose to patients and loss of diagnostic information of images. Education of staff, patients and caregivers before abandoning their use is essential for practical and psychological reasons. An effective communication plan is mandatory for stakeholders, population and healthcare professionals.

### **2. Methods**

Scientific articles, statements and positions of national and international associations were reviewed. Discussion with professionals and meetings with public and private institutions were conducted. Information and education for practitioners and operators about scientific and practical aspects were realized. Professional societies and other pertinent organizations were involved in the development of a communication plan and procedure instructions. Communication to population and patients was realized through webinar, poster, oral communications, articles published on several newspaper and websites, also in flyers coded in “easy language” (level B1) reviewed by specialized associations.

### **3. Results**

Good feedback was obtained during dedicated training and information with associations of citizens and professionals, parent-child assemblies, Swiss-Italian patient associations, local healthcare department, elderly association, medical radiographers associations, medical practice assistants, healthcare professional schools and orders of doctors and dentists.

### **4. Conclusion**

Shielding discontinuation was concluded with success and without significant impact on patients, work practice and staff members. A rigorously planned communication strategy should be organized to help the population, professionals and patients to understand the reasons and effects of discontinuing lead shielding without impacting activities and diagnostic exams.



## **P25: MESSVERFAHREN EINES AKKREDITIERTEN PRÜFLABORATORIUM FÜR FESTE UND FLÜSSIGE PROBEN IM STRAHLENSCHUTZ**

Martina Froning, Burkhard Heuel-Fabianek, Andreas Holz, Eberhard Kümmerle, Günter Lünendonk, Myroslav Zoriy

*Forschungszentrum Jülich GmbH, Deutschland*

Das akkreditierte Prüflaboratorium [1] des Geschäftsbereichs Sicherheit und Strahlenschutz führt Messungen in flüssigen und festen Proben sowie Personenmessungen für Kundenaufträge im Bereich Strahlenschutz durch.

Das akkreditierte Prüflaboratorium ist in drei Bereichen gegliedert:

- Behördlich bestimmte Inkorporationsmessstelle,
- Alpha-beta-Messlabor einschließlich Untersuchungsstelle nach §15 (4) TrinkwV [2],
- Gammamesslabor.

Prüfverfahren wie die Induktive gekoppelte Plasma-Massenspektrometrie (ICP-MS), alpha-beta-Messungen mittels Low-Level Betazähler und Flüssigscintillation (LSC), Dekontaminierbarkeitsprüfungen nach DIN 25415-2012-11 sowie Alpha- und Gammaskpektrometrie kommen zum Einsatz.

Die Messungen werden durchgeführt in

- flüssigen Matrixes  
z. B. Öle, Niederschlag, Trinkwasser, Abwasser, Oberflächen- und Grundwasser, saline Lösungen, org. wässrige Lösungen, flüssige Lebensmittel (Milch, Babynahrung), Humanproben
- festen Matrixes  
z. B. feste Prüfkörper, feste und mineralische Baumaterialien, Filterproben, Bauschutt, Boden, Sediment, Gras, feste Lebensmittel.

Typische Nuklide sind  $^{238}\text{Pu}$ ,  $^{239/240}\text{Pu}$ ,  $^{234}\text{U}$ ,  $^{235}\text{U}$ ,  $^{236}\text{U}$ ,  $^{238}\text{U}$ ,  $^{228}\text{Th}$ ,  $^{230}\text{Th}$ ,  $^{232}\text{Th}$ ,  $^{241}\text{Am}$ ,  $^{242}\text{Cm}$ ,  $^{244}\text{Cm}$ ,  $^{210}\text{Po}$ ,  $^{223}\text{Ra}$ ,  $^{226}\text{Ra}$  sowie  $^3\text{H}$ ,  $^{14}\text{C}$ ,  $^{32}\text{P}$ ,  $^{35}\text{S}$ ,  $^{36}\text{Cl}$ ,  $^{55}\text{Fe}$ ,  $^{63}\text{Ni}$ ,  $^{89}\text{Sr}$ ,  $^{90}\text{Sr}$ ,  $^{99}\text{Tc}$ ,  $^{210}\text{Pb}$ ,  $^{222}\text{Rn}$  und Gammanuklide im Energiebereich von 0,04 bis 2,7 MeV. Mittels ICP-MS kann eine Elementbestimmung im Massenbereich  $m/z$  7 bis  $m/z$  252 durchgeführt werden.

Für die Überwachung von exponierten Personen werden in der behördlich bestimmten Inkorporationsmessstelle folgende Überwachungsverfahren [3] eingesetzt:

- In-vivo-Verfahren: Bestimmung der Aktivität im Körper und in den Organen
- In-vitro-Verfahren: Bestimmung der Aktivitätskonzentration in den Ausscheidungen.

In diesem Beitrag werden die Arbeiten eines akkreditierten Prüflaboratoriums vorgestellt. Auf Messverfahren für feste und flüssige Proben im Strahlenschutz wird eingegangen.

[1] DIN EN ISO/ IEC 17025:2018. Allgemeine Anforderungen an die Kompetenz von Prüf- und Kalibrierlaboratorien

[2] TrinkwV: § 15 - Trinkwasserverordnung

[3] RiPhyko 2. Richtlinie für die physikalische Strahlenschutzkontrolle zur Ermittlung der Körperdosis Teil 2, 2007

## **P26: IMMISSIONSÜBERWACHUNG AM FORSCHUNGSSTANDORT ROSSENDORF**

Bartel Stig, Walter Marcus, Michael Kaden

*VKTA – Strahlenschutz, Analytik und Entsorgung Rossendorf e. V. (VKTA), Deutschland*

Ausgehend vom Betrieb der früheren Rossendorfer Forschungsreaktoren, der angegliederten Einrichtungen zur Verarbeitung der erzeugten Radionuklide für Medizin, Forschung und Technik sowie weiterer Einrichtungen und Anlagen zur Erzeugung ionisierender Strahlung findet am Forschungsstandort Rossendorf (FSR) eine Immissionsüberwachung statt. Dies erfolgt seit fast 30 Jahren in Anlehnung an die Richtlinie zur Emissions- und Immissionsüberwachung kerntechnischer Anlagen (REI). Im Zuge des Rückbaus der kerntechnischen Anlagen und Einrichtungen des VKTA sowie der steten Neuerrichtung von Anlagen und Einrichtungen zu Forschungszwecken des Helmholtz-Zentrum Dresden-Rossendorf e. V. wurde und wird der Überwachungsumfang sukzessive angepasst. Der Überwachungsumfang und die Überwachungsergebnisse werden mit Schwerpunkt Grund- und Oberflächenwasser dargestellt.

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

## **P27: MESSUNG DER GESAMTÜBERTRAGUNGSRATEN EINER HÜLLROHRSONDE ZUR FORTLUFTBILANZIERUNG NACH RICHTLINIE ENSI-G13**

Marcel Arnold<sup>1</sup>, Martin Seipenbusch<sup>2</sup>, Jan Züllig<sup>1</sup>, Nick Walter<sup>1</sup>, Sabine Mayer<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Abteilung Strahlenschutz und Sicherheit, Paul Scherrer Institut, 5232 Villigen PSI, Schweiz;  
<sup>2</sup>ParteQ GmbH, Brunnenstr. 12, 76316 Malsch, Deutschland

### **Zusammenfassung**

*Im Rahmen der Sanierung eines radioaktiv belasteten Abwasserbeckens des Paul Scherrer Instituts (PSI), wurde für die Sanierungsarbeiten ein System zur gerichteten Abluftführung und -filterung sowie Fortluftbilanzierung eingerichtet. Die dabei eingesetzte Hüllrohrsonde wurde im Rahmen der Konzept- und Montagefreigabe beim Eidgenössischen Nuklearsicherheitsinspektorat (ENSI) diverser Untersuchungen hinsichtlich Repräsentativität der Probenentnahmeposition sowie Partikelgesamtübertragungsraten unterzogen. Das vorliegende Dokument gibt einen Überblick über das untersuchte System, die Methodik der Messungen sowie eine Zusammenfassung der Ergebnisse*

### **Summary**

*As part of the renovation of a radioactive wastewater basin at PSI, a system for the directed outgoing air routing, filtering and accounting of the radioactive releases was needed. The for the accounting used shrouded probe was subjected to various tests regarding the representativeness of the sampling position and overall particle transmission rates as part of the concept and assembly request for ENSI. This document gives an overview of the examined system, the measurement methodology and a summary of the results.*

**Schlüsselwörter** Fortluftbilanzierung, Hüllrohrsonde, Gesamtübertragungsrate  
**Keywords** Exhaust air accounting, Shrouded Probe, overall particle transmission

## **1. Einleitung**

Am PSI befinden sich verschiedene Kernanlagen, inkl. Teile des zugehörigen Aktivabwassersystems im Rückbau. Durch Einleitung radioaktiv belasteter Abwässer während der Rückbautätigkeiten, wurden Teile des Aktivabwassersystems kontaminiert. Insbesondere in der sog. Kontrollkammer, inkl. des vorgelagerten Sammelbeckens, haben sich im Laufe der Zeit grössere Mengen an radioaktiv belasteten Schlämmen angesammelt. Da bei der Bergung der Schlämme und der nachfolgenden Sanierung der Becken eine Freisetzung von radioaktiven Aerosolen nicht ausgeschlossen werden kann, wurde über dem Sammelbecken ein temporäres System zur gerichteten Abluftführung und -filterung sowie Fortluftbilanzierung eingerichtet. Um die Konzept- und Montagefreigabe beim ENSI zu erwirken, ist es u. a. erforderlich das Fortluftbilanzierungssystem hinsichtlich seines geplanten Messzwecks zu qualifizieren. Da es sich bei der eingesetzten Probenentnahmesonde um eine sog. Hüllrohrsonde, d.h. um ein Einpunktentnahmesystem handelt, liegt der Fokus der Qualifizierung auf dem Nachweis der Repräsentativität, insbesondere dem Durchmischungsgrad der Fortluft auf der Probenentnahmeebene, sowie auf der Bestimmung der Gesamtübertragungsraten für verschiedene Partikelgrößen. Die vorliegende Arbeit beschreibt die durchgeführten Untersuchungen und gibt eine abschliessende Zusammenfassung und Bewertung der Ergebnisse.

## 2. Sanierung der Kontrollkammer

Bei der Kontrollkammer handelt es sich um ein System verschiedener Kammern zur Überwachung der Aktivabwässer auf Radioaktivität vor Einleitung in den Vorfluter. Abb. 1 zeigt eine vertikale Schnittdarstellung der Beckenanordnung. In den sog. Abwasser- und Sammelbecken werden die Abwässer der verschiedenen Anlagen aufgefangen und gesammelt. In der nachgeschalteten Kontrollkammer wird ein Teilstrom des Aktivabwassers entnommen und mithilfe einer redundanten Detektoranordnung die spezifische Aktivität des Wassers gemessen und bei Überschreitung der eingestellten Grenzwerte ein Aktivitätsalarm ausgelöst. Nach dem Durchfließen des sog. Auslaufbeckens werden die Abwässer in den Vorfluter eingeleitet. Das unterirdische Beckensystem kann u.a. durch zwei oberirdische Zugangsschächte erschlossen werden.

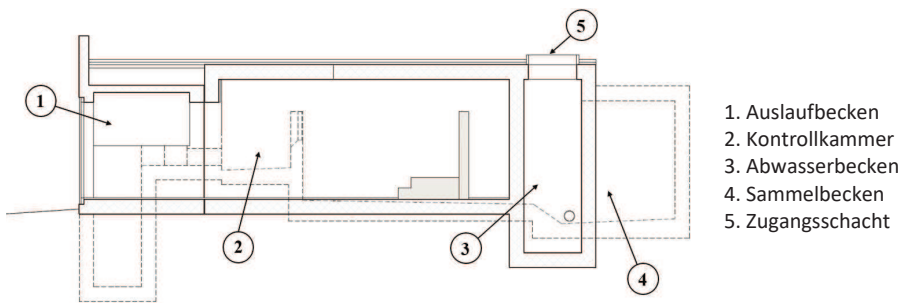


Abb. 1: Vertikale Schnittdarstellung Kontrollkammer Aktivabwasser

Durch umfangreiche Sanierungs- und Rückbauarbeiten, in erster Linie bedingt durch wassergekühlte Schneid- und Bohrarbeiten, wurden grössere Mengen an radioaktiv belasteten Abwässern in das Aktivabwassersystem eingeleitet. Die abgesetzten radioaktiv belasteten Schlämme müssen vor den Sanierungsarbeiten an den Becken entfernt werden. Das Entfernen der Schlämme soll durch Aufschlännen und nachfolgendes Absaugen erfolgen. Dem verflüssigten Schlamm wird nachfolgend mithilfe einer Lammellenfiltrationsanlage wieder ein grosser Teil der Feuchtigkeit entzogen, in Fässer gefüllt und zur weiteren Konditionierung in das sog. Abfalllabor des PSI verbracht. Durch das mechanische Aufschlännen der Schlämme und der nachfolgenden Oberflächenbearbeitung der kontaminierten Beckenstruktur, muss mit einer Freisetzung aerosolgebundener Radioaktivität gerechnet werden. Weshalb die Abluft des Sanierungsbereichs vor Abgabe an die Umwelt hinsichtlich aerosolgetragener Radioaktivität und Tritium in Form von HTO bilanziert wird.

## 3. Beschreibung des Fortluftbilanzierungssystems

Da es sich beim gesamten Sanierungsbereich um eine kontrollierte Zone handelt, muss dort nach Anhang 5 UraM [1] mindestens ein fünffacher Luftwechsel gewährleistet werden. Dies entspricht im vorliegenden Fall einem Fortluftvolumenstrom von min. 1'500 m<sup>3</sup>/h. Das Fortluftbilanzierungssystem besteht im Wesentlichen aus einer im Fortluftkanal ( $\phi_i = 400$  mm, siehe Abb. 2, Nr. 6) installierten Hüllrohrsonde des Typs C38 (Abb. 2, Nr. 1) des Ingenieurbüros Schöne & Schreiber [2] und einer nachgeschalteten Filterhalterung (Abb. 2, Nr. 2) für  $\phi$  50 mm Glasfaserfilterronden zur Sammlung von radioaktiven Aerosolen.

Grundvoraussetzung für den Einsatz eines Einpunktentnahmesystems ist eine gute Durchmischung der Fortluft am Ort der Probenentnahme. Die Position der Probenentnahmesonde wurde deshalb nach den Empfehlungen der ISO 2889 [3] so gewählt, dass stromaufwärts der Sonde eine möglichst lange Beruhigungsstrecke von mindestens 5 Durchmessern des Fortluftkanals entsteht. Der nominelle Entnahmevolumenstrom von 6 – 9 m<sup>3</sup>/h des Aerosolsammlers (Abb. 2, Nr. 4) entspricht der Auslegung der Hüllrohrsonde (Geschwindigkeitsbereich von 2 – 20 m/s bei einem Transmissionsgrad von 0.8 – 1.2 [2]) und wird in Abhängigkeit der Kaminfortluft mithilfe einer Seitenkanalvakuumpumpe geregelt. Die Volumenstrommessung der Kaminfortluft erfolgt mittels eines Staugitters (Abb. 2, Nr. 7).

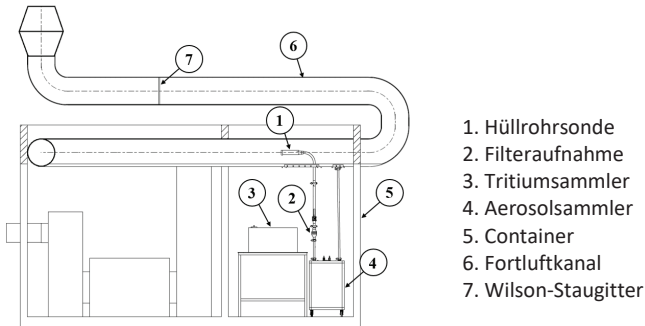


Abb. 2: Übersicht Fortluftbilanzierungssystem Kontrollkammer

Nachdem die Probenluft das Glasfaserfilter (Abb. 2, Nr. 2) durchströmt hat, wird der Probenluft wiederum ein Teilstrom (ca. 30 l/min) entnommen welcher durch zwei seriell angeordnete Auswaschflaschen (Abb. 2, Nr. 3) geführt wird. Dort erfolgt das Auswaschen von ggf. in der Fortluft enthaltenen Tritiums (HTO). Die Glasfaserfilter und Auswaschflaschen werden wöchentlich durch die Radioanalytik des PSI gewechselt, gemessen und ausgewertet. Dabei erfolgt die Auswertung im Hinblick der potentiell in den zu bergenden Schlämmen enthaltenen Radionuklide (<sup>3</sup>H, <sup>14</sup>C, <sup>55</sup>Fe, <sup>60</sup>Co, <sup>63</sup>Ni, <sup>90</sup>Sr, <sup>133</sup>Ba, <sup>137</sup>Cs, <sup>152</sup>Eu, <sup>238</sup>Pu, <sup>239</sup>Pu, <sup>240</sup>Pu, <sup>241</sup>Pu, <sup>241</sup>Am).

#### 4. Durchgeführte Untersuchungen

Die Anforderungen an Messsysteme zur Überwachung der radioaktiven Stoffe in der Kaminfortluft sind in der Richtlinie ENSI-G13 [4] festgelegt. Da es sich bei der eingesetzten Hüllrohrsonde um ein Einpunktentnahmesystem handelt, stand im Fokus dieser Untersuchung der Nachweis der Kriterien für eine gute Durchmischung der Fortluft auf der Probenentnahmeebene gemäss ISO°2889 [3], bzw. ISO 17080 [5]. Sowie die experimentelle Bestimmung der Gesamtübertragungsrate des Probenentnahmesystems für verschiedene Partikelgrößen. Die in der Richtlinie ENSI-G13 genannten Anforderungen an die Gesamtübertragungsraten von der Probenentnahmesonde bis auf das Sammelfilter, weichen dabei von den in der ISO 2889 geforderten Werten leicht ab: 50% für kleine Partikeln (aerodynamischer Durchmesser ungefähr 1 µm), 20% für mittelgrosse Partikeln (ungefähr 10 µm) sowie 50% für grosse Partikeln (> 100 µm). In der gängigen Praxis in Deutschland wird oftmals auf eine Einspeisung von Prüf-aerosolen verzichtet und die Übertragungsraten mithilfe von anlageneigenen Schwebstoffen ermittelt [6]. Da die Ermittlung der anlageneigenen Partikelgrößenverteilung relativ zeitaufwändig ist, wurde im Rahmen dieses Projektes darauf verzichtet. Es wurde deshalb auf den Nachweis mittels Testaerosolen zurückgegriffen. Als Testaerosole kamen Pulver aus

Titandioxid, Calciumcarbonat und Quarzsand zum Einsatz. Um den Einfluss des Hüllrohres auf die Sammlung der Partikeln beurteilen zu können, wurden die Testaerosole nicht direkt in die Probenentnahmesonde eindosiert. Die Zugabe der Testaerosole erfolgte direkt in den Hauptstrom des Fortluftsystems, ungefähr 5 m stromaufwärts der Probenentnahmeebene kurz nach dem Gebläse und den verwendeten HEPA-Filtern der Filterklasse H13. Bis zur Entnahmeebene durchströmte die Luft damit noch 5 Kanalkrümmen (90° Winkel), was einer guten Durchmischung entgegenkam.

#### 4.1. Bestimmung des Strömungsprofils und Prüfung der Wirbelfreiheit der Strömung

Um mit der eingesetzten Hüllrohrsonde eine repräsentative Beprobung des Fortluftvolumenstroms zu gewährleisten, ist es notwendig das Strömungsprofil zu bestimmen und die Wirbelfreiheit auf der Probenentnahmeebene zu zeigen. Um das Geschwindigkeitsprofil der Strömung zu ermitteln wurden nach Vorgaben der ISO 10780 verschiedene Messpunkte im Fortluftkanal festgelegt (siehe Abb. 3). An den Messpunkten wurde die Strömungsgeschwindigkeit mithilfe von Prandtl-Sonden, die über Klemmverschraubungen im Fortluftkanal positioniert wurden, sowie eines Differenzdruck-Strömungsmessgeräts gemessen. Um Schwankungen im Gesamtvolumenstrom zu erkennen, wurde auf der Position 0 mit einer Sonde permanent die Strömungsgeschwindigkeit als Referenzwert gemessen. Mit einer zweiten Sonde wurde parallel dazu an den übrigen Messpunkten 1 – 4 gemessen.

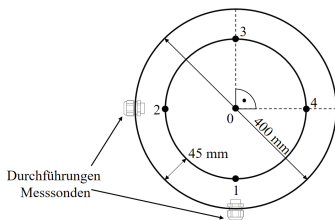


Abb. 3: Positionen der Messpunkte im Fortluftkanal

Der Nachweis der Wirbelfreiheit erfolgt nach ISO 10780 Anhang C [5]. Durch Verdrehen der stark winkelabhängigen Sonden in horizontaler und vertikaler Richtung gegenüber der Rohrachse und der gleichzeitigen Messung des Differenzdrucks, konnte gezeigt werden, dass auf der Probenentnahmeebene eine weitestgehend wirbelfreie Strömung vorliegt. Die Messungen des Strömungsprofils zeigten insgesamt nur geringe Abweichungen vom Mittelwert der Strömungsgeschwindigkeiten (siehe Tab. 1), bei einem Variationskoeffizienten von ca. 10%. Lediglich im rechten oberen Quadranten wurde eine leicht erhöhte Strömungsgeschwindigkeit ermittelt. Die in der ISO 2889 geforderten Kriterien wurden vollumfänglich erfüllt.

Tab. 1: Ergebnisse der Geschwindigkeitsmessungen [7]

Messpunkt	Mittelwert Strömungsgeschwindigkeit / $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$	Standardabweichung / $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$
0	3.75	0.08
1	3.70	0.11
2	3.68	0.02
3	4.50	0.05
4	4.48	0.00

#### 4.2. Bestimmung des Partikelkonzentrationsprofils zur Überprüfung der ausreichenden Durchmischung auf der Probenentnahmeebene

Zur Bestimmung des Partikelkonzentrationsprofils wurde ein Testaerosol (Calciumcarbonat,  $10\ \mu\text{m}$ ) in den Fortluftkanal eindosiert und mit Aerosolspektrometern die Partikelkonzentrationen an den Messpunkten (siehe Abb. 3) bestimmt. Die Zugabe des Testaerosols erfolgt an der in Kap. 4 beschriebenen Stelle vor der Entnahmesonde. Zur Überwachung zeitlicher Schwankungen des Dosiersystems wurde mit einem der Messgeräte die Position 0 ständig überwacht. Die systematische Abweichung der verwendeten Aerosolspektrometer wurde vorgängig durch eine Messung an einer gemeinsamen Probenentnahmesonde bestimmt und ein Korrekturfaktor ermittelt. Durch den Bezug der ermittelten Messwerte an den Messpunkten 1 – 4 auf den am Messpunkt 0 bestimmten Referenzwert und der Anwendung des Korrekturfaktors ergibt sich eine normierte Aerosolkonzentration für jeden Messpunkt.

Tab. 2: Ergebnisse der Messung der Partikelkonzentration [7]

Messpunkt	Partikelkonzentration / $1\cdot\text{cm}^{-3}$	Partikelkonzentration Messpunkt 0 / $1\cdot\text{cm}^{-3}$	Normiert -
1	1'116	1'207	0.87
2	2'832	2'725	0.98
3	916	983	0.88
4	1'392	1'419	0.92

Durch die Berechnung des geometrischen Mittels aus den normierten Werten und ihren Standardabweichungen ergibt sich ein Variationskoeffizient von 6.3%. Eine ausreichend homogene Aerosolverteilung für den Einsatz eines Einpunktennahmesystems ist somit gegeben.

#### 4.3. Bestimmung der Gesamtübertragungsrate

Die Bestimmung der Übertragungsraten des Bilanzierungssystems erfolgte für die Partikelgrößen von 1, 10 und  $> 100\ \mu\text{m}$  mit den in Kap. 4 genannten Testaerosolen. Zur Bestimmung der Massenkonzentration des Aufgabeguts auf der Probenentnahmeebene wurde auf gleicher Höhe der Sonde ein Sammelfilter installiert. Die Sammlung erfolgte dabei isokinetisch mit einer  $\varnothing 14\ \text{mm}$  Sonde und eines entsprechend eingestellten Volumenstroms. Die Übertragungsraten wurden durch Auswägung der gesammelten Testaerosole des Sammelfilters und dem Filter des Bilanzierungssystems bestimmt. Die Übertragungsrate ergibt sich somit aus den beiden Massen und dem Verhältnis der Probenentnahmevolumenströme des Sammelfilters und des Bilanzierungssystems. Tab. 3 zeigt die gemessenen Gesamtübertragungsraten für die verschiedenen

Partikelgrößen sowie die geforderten Mindestwerte nach Richtlinie ENSI-G13. Die erforderlichen Gesamtübertragungsraten zur Qualifizierung der Hüllrohrsonde wurden vollumfänglich erreicht.

Tab. 3: Ergebnisse der Messung der Gesamtübertragungsraten [7]

Material	Größenklasse nach ENSI-G13	Mindestwert nach ENSI-G13	Gemessene Übertragungsrate
Titandioxid	1 µm	50%	93.4 ± 5.2%
Calciumcarbonat	10 µm	20%	48.2 ± 3.4%
Quarzsand	> 100 µm	50%	55.3 ± 7.2%

## 5. Zusammenfassung

Die Untersuchungen zur Qualifizierung der Probenentnahmeebene haben gezeigt, dass die in der ISO 2889 genannten Anforderungen an das Partikelkonzentrations- und Strömungsprofil auf der Entnahmeebene erfüllt sind. Die Strömungsgeschwindigkeiten weichen nur gering vom Mittelwert ab. Der ermittelte Variationskoeffizient von ca. 10% liegt deutlich unter dem geforderten Wert von 20%. Auch die Bestimmung des Aerosolkonzentrationsprofils zeigte eine gute Verteilung der Partikeln über den Querschnitt des Fortluftkanals mit einem Variationskoeffizienten von < 5%. Auch in diesem Punkt wird die Vorgabe von 20% deutlich unterschritten. Des Weiteren wurde mit der Untersuchung der Wirbelfreiheit gezeigt, dass sowohl in vertikaler als auch in horizontaler Ebene keine schräge Anströmung der Sonde von > 20° vorliegt. Die durchgeführten Untersuchungen belegen somit die Repräsentativität der Probenentnahme, was die Grundvoraussetzung für den Einsatz eines Einpunktentnahmesystems darstellt. Es lässt sich feststellen, dass sich in Bezug auf die Auswahl des Probenentnahmeortes die Empfehlungen der ISO 2889 bewährt haben, die Probenentnahmesonde in einem Abstand von min. 5 Durchmessern zur nächsten stromaufwärts gelegenen Strömungsstörung zu positionieren.

Auch die experimentelle Bestimmung der Gesamtübertragungsraten zeigte, dass die Anforderungen der Richtlinie ENSI-G13 für die geforderten Partikelgrößen von 1, 10 und > 100 µm teils deutlich übertroffen wurden. Die guten Gesamtübertragungsraten können einerseits auf den Einsatz der Hüllrohrsonde an sich zurückgeführt werden, da sich diese durch insgesamt geringere Abscheideverluste an den Wänden der Sonde als auch höhere Transmissionsgrade im Vergleich zu konventionellen Sonden auszeichnen. Andererseits aber auch auf den Einsatz der sehr kurzen Probenentnahmeleitung und dem Verzicht auf waagrechte Rohrleitungskomponenten, da sich damit die Partikelverluste in Folge der Sedimentation, bedingt durch die niedrigen Strömungsgeschwindigkeiten in der Probenentnahmeleitung in Grenzen halten.

## 6. Literaturverzeichnis

- [1] UraM: Verordnung des EDI über den Umgang mit radioaktivem Material. SR 814.554, vom 26. April 2017
- [2] Schreiber, W. (Ingenieurbedarf G. Schöne & W. Schreiber GmbH): Realisierungskriterien. Radeberg, 2020
- [3] International Organization for Standardization (ISO): ISO 2889:2010(E), Sampling airborne radioactive materials from the stacks and ducts of nuclear facilities. Genf, 2010
- [4] Eidgenössisches Nuklearsicherheitsinspektorat (ENSI): Richtlinie ENSI-G13, Messmittel für ionisierende Strahlung. Brugg, 2021



- [5] International Organization for Standardization (ISO): ISO 10780:1994(E), Stationary source emissions – Measurement of velocity and volume flowrate of gas streams and ducts. Genf, 1994
- [6] Kerntechnischer Ausschuss (KTA): KTA 1503.1, Überwachung der Ableitung gasförmiger und an Schwebstoffen gebundener radioaktiver Stoffe, Teil 1: Überwachung der Ableitung radioaktiver Stoffe mit der Kaminfortluft bei bestimmungsgemässen Betrieb. 2017
- [7] Seipenbusch, M. (ParteQ GmbH): Bestimmung des Gesamtverlustfaktors einer Hüllrohrsonde nach DIN ISO 2889 im Paul-Scherrer-Institut. Malsch, 2022

## **P28: TRANSPORT UND TRANSFERVERHALTEN VON LANGLEBIGEN RADIONUKLIDEN ENTLANG DER KAUSALEN KETTE GRUNDWASSER-BODEN-OBERFLÄCHE-PFLANZE (TRANS-LARA)**

Beate Riebe, Marcus Mandel, Simon Pottgießer, Annika Wunnenberg, Clemens Walther

*Institut für Radioökologie und Strahlenschutz / Leibniz Universität Hannover, Deutschland*

Radioökologische Modelle für die langfristige Sicherheitsbewertung zukünftiger geologischer Endlager erfordern ein detailliertes Verständnis der relevanten Migrationsprozesse. Das Verbundprojekt Tans-LARA hatte zum Ziel, ein tieferes Verständnis der komplexen Mechanismen des Radionuklidtransports aus dem Grundwasser über die vadose Zone in Nahrungspflanzen zu erreichen, und damit zu einer verbesserten Risikoabschätzung hinsichtlich der Langzeitexposition der Bevölkerung beizutragen.

Adsorptions- und Migrationsverhalten der Radionuklide  $^{129}\text{I}$ ,  $^{99}\text{Tc}$ , Americium und Plutonium wurden in Laborlysimetern, die mit pH- und Eh-Sensoren, sowie Tensiometern für in situ Messungen ausgestattet waren, in Abhängigkeit von deren Speziation untersucht. Weiterhin wurde die Radionuklid Aufnahme über den Wurzelpfad für vier Nutzpflanzen und für vier deutsche Referenzböden experimentell ermittelt. Für das bessere Verständnis des Transferverhaltens von Iod und Technetium innerhalb der Pflanze wurden Erbsen und Karotten mit orts aufgelösten massenspektrometrischen Methoden (SIMS und rL-SNMS) untersucht und die Radionuklide auf zellulärer Ebene detektiert.

In den Lysimeterversuchen verhielten sich Iod und Technetium im Gegensatz zu Americium und Plutonium beim Aufstieg aus dem Grundwasser über längere Zeiträume sehr mobil. Remobilisierung und Umverteilung der Radionuklide fand unter dem Einfluss von Mikroorganismen in Abhängigkeit von Eh und pH statt. Während die Bodeneigenschaften für Sorption und Migration wesentliche Auswirkungen hatten, spielten diese für die Radionuklid Aufnahme in die Pflanze eine untergeordnete Rolle. Untersuchungen auf zellulärer Ebene ergaben unterschiedliche Verteilungen von  $^{125}\text{I}$  und  $^{99}\text{Tc}$  im Pflanzengewebe, wobei der Nachweis von  $^{99}\text{Tc}$  in einer einzelnen Epidermiszelle auf einen aktiven Transport innerhalb der Pflanze hinweist. Zusätzlich wurde gezeigt, dass pflanzliche Metabolitransporter in der Lage sind, Radionuklide zu transportieren.

## **P29: RADIOAKTIV KONTAMINIERTE UND ASBESTHALTIGE BAUMATERIALIEN – EINE SICHERHEITSTECHNISCHE HERAUSFORDERUNG FÜR DIE RADIOANALYTIK**

Fabian Köhler, Andreas Brand, Maya Jäggi, Martin Heule, Nick Walter, Sabine Mayer

*Paul Scherrer Institut, Schweiz*

Sowohl Asbest als auch gewisse Radionuklide kommen als natürliche Produkte in der Umwelt vor. Diese sind jedoch zumeist voneinander getrennt ohne nennenswerte Wechselwirkungen. Durch die Kombination der Umstände, wie sie in den Kernanlagen der 60er bis 80er Jahre des letzten Jahrhunderts zu finden sind, gibt es jedoch in bestimmten Fällen eine Kontamination des Baumaterials mit Asbest und mit anthropogenen Radionukliden. Entsprechend der Nutzung der Forschungsreaktoren und dem Betrieb einer Versuchsverbrennungsanlage auf dem Areal des Paul Scherrer Instituts (PSI), fand sich hier Asbest, welches mit langlebigen Radionukliden, wie bspw. Sr-90, Cs-137, U-233, sowie den Am-, Cm-, und Pu-Isotopen, kontaminiert war. Im Rahmen des Rückbaus solcher Anlagen bedurfte es einer radioanalytischen Charakterisierung dieses Baumaterials, was die Radioanalytik des PSI vor analytische und sicherheitstechnische Herausforderungen stellte. Sicheres Arbeiten für die Mitarbeitenden im Hinblick auf den Umgang mit radioaktiv kontaminiertem und asbesthaltigem Material im Labor, ebenso wie die komplette chemische Aufarbeitung und Abtrennung der Radionuklide aus der – chemisch betrachtet – komplexen Matrix standen hierbei im Fokus. Im Rahmen der Fachverbandstagung möchten wir die vielversprechenden Ergebnisse der Aufarbeitung (mittels eines Fusionsaufschlusses) und der Methodenentwicklung vorstellen.

## **P30: DAS EICH- UND KALIBRIERLABOR FÜR STRAHLENSCHUTZMESSGERÄTE AM PSI**

Malgorzata Kasprzak , Gernot Butterweck , Federico Geser, Malgorzata Sliz, Eduardo Yukihara, Sabine Mayer

*Abteilung Strahlenschutz und Sicherheit, Paul Scherrer Institut, 5232 Villigen PSI, Schweiz*

Das Eich- und Kalibrierlabor am Paul Scherrer Institut (PSI) ist vom Eidgenössischen Institut für Metrologie (METAS) zur Durchführung von Eichungen ermächtigt und als Inspektionsstelle und Kalibrierlaboratorium von der Schweizerischen Akkreditierungsstelle (SAS) akkreditiert. Das Labor übernimmt die Kalibrierung und Eichung von Strahlenschutzmessgeräten und Dosimetern für den PSI-internen Gebrauch und für externe Kunden wie Kernkraftwerke oder Spitäler. In diesem Beitrag werden die Bestrahlungseinrichtungen vorgestellt und ein Überblick über die vom Labor angebotenen Dienstleistungen gegeben.

### **P31: SIMULTANBESTIMMUNG VON ELEMENTEN MITTELS ICP-MS - GRENZEN UND ANFORDERUNGEN DES VERFAHRENS**

Andreas Holz , Myroslav Zoriy

*Forschungszentrum Jülich GmbH, Deutschland*

Die ICP-MS hat sich schon seit Jahren bei uns im Hause in der radiochemischen Analytik bewährt mit sehr guten Nachweisgrenzen, vor allem Uran- und Thoriumisotope. Ein großer Vorteil bei der ICP-MS gegenüber anderer konventioneller Verfahren (z.B. AAS, Photometrie) ist, dass man mehrere Elemente bzw. Isotope im Bereich der konventionellen Analytik und radiochemischen Analytik gleichzeitig bestimmen kann. Wässrige Proben oder Aufschlusslösungen mit „geringer Matrix“ werden im Plasma auf ca. 8000 K erhitzt und die Moleküle zersetzen sich in atomare Bestandteile, anschließend durch Elektronenstoß ionisiert. Im Hochvakuum erfolgt im Massenfilter (Quadrupol) die Auftrennung der Ionen im Verhältnis von Masse zur Ladung und werden anschließend mittels Sekundärelektronenvervielfacher (SEV) detektiert. Gleich mehrere Elemente, wie z.B. Fe, Ni, Cr, Cd, Zn, Al, As, Ag oder Alkalimetalle können gleichzeitig bestimmt werden. Arbeitsaufwand und Arbeitszeit lassen sich mit diesem Verfahren deutlich reduzieren, sowie auch die Reduzierung von Chemikalien (Umweltaspekt). In dieser Arbeit wird mit Hilfe von zertifiziertem Referenzmaterial (z.B. Ringversuch Trinkwasser von LANUV) die Simultanbestimmung von unterschiedlichen Elementen durchgeführt und die charakteristischen Grenzen, sowie die Anforderungen dieses Verfahrens vorgestellt.

### **P32: RADIOECOLOGY IN ARID REGIONS: STATE OF THE ART**

Natalia Semioshkina, Gabriele Voigt

*r.e.m. GbR, Deutschland*

With climate change and global warming ecosystems and consequently their use is likely to change in future with more zones to represent more arid/desert like areas especially in Southern Europe. Such changes will specifically impact agricultural use and products, and human behaviour at large. Since the introduction of the use of nuclear power is increasing, in development or planned specifically in countries with a predominantly arid climate information is needed on the behaviour of radionuclides in such climates among others for radiation protection, emergency preparedness and public/stakeholder information. Models developed to describe the transfer of radionuclides in environments, specifically in the food chain, however, are mainly based on information published for temperate environments, and are compiled in different IAEA reports (TRS 472, TecDoc 1616 etc.) with recommendations which values to be used for modelling purposes. In frame of IUR (international Union of Radioecologists) a task group and in the IAEA project MODARIA II a subgroup have been initiated to analyse existing data on the transfer of radionuclides in arid environments.

### **P33: KALIBRIERUNG EINES TRAGBAREN PROBENWECHSLERS ZUR MESSUNG VON NIEDERENERGETISCHER BETA STRAHLERN**

Michael Iwatschenko-Borho

*Thermofisher Scientific Messtechnik GmbH, Deutschland*

Langlebige niederenergetische Betastrahler haben einen hohen Anteil am radioaktiven Inventar eines abgeschalteten Reaktors, sind meßtechnisch jedoch schwierig nachzuweisen. Isotope wie H-3, Ni-59, Ni-63, Mo-93, Nb-93m, Zr-93, Pd-107, Sm-151 werden auf Wischproben oder Luftfiltern mit üblichen Detektoren nicht erfaßt. Als Alternative zu zeitaufwändigen und zeitverzögerten Labormessungen wurde nun ein tragbarer Probenwechsler entwickelt und für die Messung der genannten Neutronenaktivierungsprodukte optimiert. Durch die Verwendung eines fensterlosen Szintillationsdetektors ist nicht nur die empfindliche Messung dieser Nuklide möglich, sondern auch eine unmittelbare Abschätzung der mittleren Betaenergie der Kontamination bis etwa 250 keV. Es ist dadurch möglich, Annahmen über den Nuklidvektor für reine Betastrahler bereits am Arbeitsplatz, zu überprüfen. Durch die inherent geringe Gammaempfindlichkeit des Meßsystems konnte auf jegliche Bleiabschirmung verzichtet werden, wodurch das kompakte Gerät nur 4 kg wiegt und praktisch überall hin transportiert und, auch ohne Netzanschluß, betrieben werden kann. Damit die Überprüfung der Funktion und Energiekalibrierung auch vorort ohne jede Kontaminationsgefahr durchgeführt werden kann, wurden drei Testadapter unterschiedlicher Betaenergie entwickelt, die auf der Verwendung von natürlichen Kalium-, Rubidium- und Lutetiumverbindungen basieren. Die Aktivität der primordialen Isotope K-40, Rb-87 und Lu-176 liegt dabei deutlich unter 1/1000 der jeweiligen Freigrenze und die Oberflächenemissionsrate für die jeweiligen Testadapter ist absolut uniform, zeitunabhängig und reproduzierbar.

### **P34: EXTERNE QUALITÄTSSICHERUNG VON FREIMESSANLAGEN: ERKENNTNISSE AUS MESSUNGEN IM IN- UND AUSLAND**

#### **EXTERNAL QUALITY ASSURANCE OF CLEARANCE MEASUREMENT SYSTEMS: INTERLABORATORY COMPARISONS AT HOME AND ABROAD**

Sven Jansen, Michael Kaden

*VKTA – Strahlenschutz, Analytik und Entsorgung Rossendorf e. V. (VKTA), Deutschland*

##### **Zusammenfassung**

*Der VKTA führt Methodenentwicklungs- und Qualitätssicherungsmaßnahmen an seinen zwei Freimessanlagen aus. Dabei wurde eine Vielzahl von Kalibriergebinden geschaffen, deren Möglichkeiten über die der herstellerseitig zur Verfügung stehenden Kalibriergebinde weit hinausgehen. Der VKTA hat mehrere Ringvergleiche initiiert bzw. administriert und daraus Erfahrungen gesammelt. Der Fachausschuss Strahlenschutz des Länderausschusses für Atomkernenergie empfiehlt die Verwendung von Vergleichsgebinden, wie sie auch im 2., vom VKTA initiierten Ringvergleich /RV18/ verwendet wurden.*

*Die Vergleichsgebinde werden für die Durchführung von Ringvergleichen zwischen mehreren Freimessanlagen, optional unter Gegenüberstellung zu Ergebnissen aus bisherigen Messungen beim VKTA und Dritten, eingesetzt. Weiterhin kann eine Bereitstellung von konfektionierten Vergleichsgebinden bekannter oder unbekannter Aktivität und Nuklidzusammensetzung für Entwicklungs- oder Vergleichsmessungen erfolgen.*

*Anhand der bisherigen Erfahrungen lässt sich sagen, dass die Nutzung der Vergleichsgebinde bei den Anlagen des VKTA, bei Teilnehmern der Ringvergleiche sowie bei Dritten, die sich Vergleichsgebinde für eigene Vergleichs- oder Kalibriermessungen liehen, zur Verbesserung der Methodik führte bzw. eine vergleichende Einordnung der eigenen Ergebnisse zuließ.*

##### **Summary**

*VKTA does method development and quality assurance measurements for its two clearance measuring devices. In connection with it numerous calibration boxes were created. Their possibilities go far beyond the calibration boxes available from the manufacturer. VKTA has initiated or administrated some Ringvergleiche and depending on these many experiences collected. The Radiation Protection Expert Committee of "Länderausschuss für Atomkernenergie" recommends the use of comparison boxes like used in the second Ringvergleich, initiated by VKTA /RV18/.*

*The comparison boxes were used for comparison measurements between different clearance measuring plants with comparison to results from previous measurements at the VKTA and third parties as an option. Additionally VKTA can configure boxes with known or unknown activity for a couple of radionuclides depending on the wishes of clients. By the hand of our experience we can say that the use of our comparison boxes causes a further development for our plants and the plants of some clients. Farther it allows a comparative classification of the results of the respective clearance measurement device.*

**Schlüsselwörter** *Freimessanlage, Ringvergleich, Vergleichsmessung, Kalibriergebinde*

**Keywords** *clearance measurement device, clearance measurement system, comparison measurement, calibration box*

## 1. Einführung

Der VKTA führt Methodenentwicklungs- und Qualitätssicherungsmaßnahmen an seinen zwei Freimessanlagen aus. Die diesbezüglich eingesetzten Vorgehensweisen und Hilfsmittel wurden im Laufe der Betriebszeit stetig weiterentwickelt. In diesem Zuge wurde eine Vielzahl von Kalibriergebinden geschaffen, deren Möglichkeiten über die der herstellerseitig zur Verfügung stehenden Kalibriergebinde weit hinausgehen. Unter Nutzung dieser Gebinde im Zuge zahlreicher vor allem interner Forschungsprojekte hat der VKTA Einsatzmöglichkeiten und Grenzen von Freimessanlagen weiter untersetzen können. Basierend darauf hat der VKTA, unterstützt vom Sächsischen Staatsministerium für Energie, Klima, Umwelt und Landwirtschaft, zwei Ringvergleiche zwischen deutschen Freimessanlagen durchgeführt /RV17/, /RV18/. Der Fachausschuss Strahlenschutz des Länderausschusses für Atomkernenergie empfiehlt die Verwendung von Vergleichsgebinden, wie sie auch im 2. Ringvergleich /RV18/ verwendet wurden. In der Folge der durchgeführten Ringvergleiche und der o. g. Empfehlung haben sich Interessenten gemeldet, die die Vergleichsgebinde nutzen wollen. Die Nutzungsmöglichkeiten lassen sich in zwei Zielrichtungen gruppieren:

- 1) Durchführung von Ringvergleichen zwischen mehreren Freimessanlagen, optional unter Gegenüberstellung zu Ergebnissen aus bisherigen Messungen beim VKTA und Dritten
- 2) Bereitstellung von konfektionierten Vergleichsgebinden bekannter oder unbekannter Aktivität und Nuklidzusammensetzung für Entwicklungs- oder Vergleichsmessungen

## 2. Beschreibung Vergleichsgebinde



An den Freimessanlagen in Deutschland werden überwiegend PE-Boxen und Vollwand- oder Gitterboxen als Behältnisse eingesetzt. Bei den Vergleichsmessungen werden 500-L-PE-Boxen eingesetzt. Die Ergebnisse einer zu 100 % gefüllten PE-Box sind weitgehend äquivalent zu denen, die eine zu 80 % gefüllte Gitterbox erzielen würde /Äqu16/. Damit sind die bei den Vergleichsmessungen mit PE-Boxen erzielten Ergebnisse übertragbar.

Im Vergleichsgebinde kommen 48 Quader zum Einsatz, um eine zu 100 % gefüllte Box darzustellen (siehe Abb. 1.). Jeder Quader hat eine Bohrung, in welche die Strahler positioniert werden. Die Füllhöhe ist in den Stufen von 25 %, 50 %, 75 % und 100 % variierbar. Als Quadermaterial stehen Porenbeton und Kalksandstein verschiedener Dichten zur Verfügung.

*Abb. 1: Vergleichsgebinde mit Porenbetonquadern*

Darüber hinaus ist eine Vielzahl von Gebinden vorhanden, die zur Kalibrierung bzw. Qualitätssicherung herangezogen werden können:

- Fässer und PE-Boxen, die mit inaktivem Messgut gefüllt sind und die Positionierung von Strahlenquellen in ihrem Inneren erlauben. Teils ist dies durch vorhandene Rohre zum Einschub von Strahlenquellen vorbereitet.
- PE-Boxen, die mit Materialien bekannter Aktivität gefüllt sind; hervorzuheben ist hier eine sogenannte Vier-Kammer-Box, die in jeder Kammer Erde bekannter, homogen verteilter Aktivität enthält, jede Kammer jedoch mit einem anderen Aktivitätsniveau gefüllt ist.
- herstellerseitig geliefertes Plattenphantom
- flüssigkeitsgefüllte Kanister bekannter Aktivität

Der VKTA besitzt Strahlersätze verschiedener Radionuklide. Jeder Strahlersatz besteht aus jeweils 48 einzelnen Stabstrahlenquellen gleicher Aktivität sowie einer weiteren Stabstrahlenquelle erhöhter Aktivität. Des Weiteren stehen Punktstrahler für eine Vielzahl von Radionukliden zur Verfügung.

### 3. Durchführung der Ringvergleiche

Der Ringvergleich sorgt für die Vergleichbarkeit von Ergebnissen zwischen Betreibern verschiedener Freimessanlagen und damit einer Reduzierung des möglichen Vetoumfangs. Mithin kann der Ringvergleich zu einer Verbesserung der Mess- und Auswertemethodik führen. Vor der Durchführung eines Ringvergleichs werden unter den Beteiligten (vorzugsweise unter Einbeziehung der Aufsichtsbehörden) die Randbedingungen geklärt, unter denen er durchgeführt werden soll. Jeder Ringvergleich kann einen spezifischen Umfang zu vergleichender Kriterien haben. Beispiele für variable Parameter bei Vergleichsmessungen im Rahmen von Ringvergleichen oder Individualmessungen sind (siehe auch Tab. 1):

- Darstellung verschiedener Füllgradstufen
- Messung von Einzelnucliden oder inhomogen verteilten Nucliden
- Darstellung von inhomogenen (Punkt- und Teilvolumenkontaminationen) sowie homogenen Aktivitätsverteilungen
- Auswertungen mit und ohne den dem jeweiligen Anlagenbetreiber zur Verfügung stehenden Untergrundabzug
- Messgutdichten

Tab. 1: Beispiel einer Auswahlmatrix durchzuführender Vergleichsmessungen (grün: Soll, orange: Kann)

Quellenverteilung	Füllgrad	Nuklid i	Nuklid i+1	Nuklid i+2...n	keine Strahlenquelle (nur nat. RN)
homogen	100 %	x	x	(x)	x
homogen	25 %	x		(x)	
Punkt zentral	100 %	x	x	(x)	x
Punkt Ecke	100 %	x		(x)	

### 4. Auswertung

Die Auswertung des Ringvergleichs erfolgt unter Bezug zu den Daten der anderen Teilnehmer und den Daten aus dem Datenpool des VKTA, der sich aus eigenen Untersuchungen und den Daten vorangegangener Ringvergleiche u. Ä. speist. Die Daten werden anonymisiert

verwendet, sodass für Dritte kein Rückschluss auf die Ergebnisse einer konkreten anderen Anlage möglich ist. Ein Ringvergleich kann auch ohne Bezug zu vorhandenen Daten durchgeführt werden; die Mittelung der Ergebnisse bildet demzufolge die Datenbasis der Auswertungen. Messergebnisse, Auswerteroutinen, Freigabebewertungen etc. werden demzufolge auf die Gesamtheit der Ergebnisse des jeweiligen Ringvergleichs bezogen. Vorteil hier sind die größeren Individualisierungsmöglichkeiten. In Abb. 2 ist ein Beispiel der Auswertung eines Ringvergleichs dargestellt.

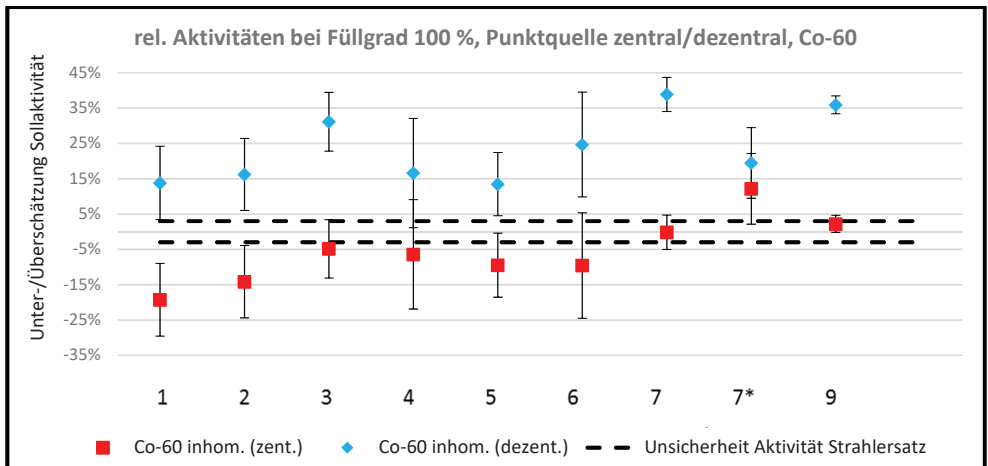


Abb. 2: Beispielhafte Auswertung einer Messkonfiguration im Rahmen eines Ringvergleichs /RV18/; Die Nummern stehen für jeweils eine Freimessanlage

## 5. Ausblick

Die Anlagen des VKTA werden aktuell methodisch weiterentwickelt. Dazu wurde eine Vielzahl von Messungen durchgeführt sowie Vergleichsgebäude neu konfektioniert. Weiterhin wurden aktuell Vergleichsmessungen an zwei Anlagen eines deutschen Kraftwerksbetreibers abgeschlossen. Die Gebäude für einen Ringvergleich im europäischen Ausland mit ca. 10 teilnehmenden Anlagen sind konfektioniert und bereit für den bevorstehenden Transport.

## 6. Literaturverzeichnis

- [1] /Äqu16/ A. Kahn „Äquivalenz PE-Box / Gitterbox“; Vortrag, VKTA, 16.12.2016
- [2] /FAS20/ Beschluss des Fachausschusses Strahlenschutz des Länderausschusses für Atomkernenergie, November 2020
- [3] /RV17/ P. Fetzer „Durchführung des ersten Ringversuchs zur externen Qualitätssicherung an ausgewählten deutschen Freimessanlagen“, Arbeitsbericht KS-18/2017, VKTA, Dresden, 31.03.2017
- [4] /RV18/ S. Jansen „Zweiter Ringvergleich zwischen ausgewählten deutschen Freimessanlagen als Werkzeug der externen Qualitätssicherung“, Arbeitsbericht KS-31a/2018, VKTA, Dresden, 18.09.2018



### **P35: INNOVATIVE KALIBRIERMETHODEN FÜR FREIMESSANLAGEN**

Federico Alejandro Geser, Malgorzata Sliz, Malgorzata Kasprzak, Sabine Mayer

*Abteilung Strahlenschutz und Sicherheit, Paul Scherrer Institut, 5232 Villigen PSI, Schweiz*

Freimessanlagen ermöglichen eine empfindliche und schnelle Messung der massenspezifischen Gesamt-Gamma-Aktivität für ein breites Spektrum von Materialien und Nukliden. Da jedoch eine Nuklididentifizierung während der Messung nicht möglich ist, kann die Kalibrierung und Vorbereitung des Messsystems für die jeweilige Messkampagne eine grosse Herausforderung darstellen. Die Freimessanlagen am Paul Scherrer Institut (PSI) werden für ein breites Spektrum von Messungen eingesetzt, von Routinemessungen wie z.B. von Abfallsäcken und Werkzeugen bis hin zu grossen Messkampagnen für Materialien aus Rückbauaktionen im Beschleunigerbereich oder von Forschungsreaktoren. In diesem Beitrag werden die Kalibrierungs- und Verifizierungsmethoden für Freimessanlagen anhand von Beispielen aus Freimesskampagnen beschrieben, die am PSI stattgefunden haben.

### **P36: INSITU-MESSUNG VON AKTIVITÄTSVERTEILUNGEN IN BETONBOHRLÖCHERN MIT CZT-DETEKTOREN**

Dominik Werthmüller, Diana Lopez Angeles, Nick Walter, Sabine Mayer

*Paul Scherrer Institut, Schweiz*

Bei der radiologischen Charakterisierung von Betonabschirmungen an Hochenergiebeschleunigern oder Kernreaktoren werden normalerweise Kernlochbohrungen durchgeführt, um aus den geschnittenen Bohrkernen die Verteilung der Radionuklide entlang der Bohrachse zu bestimmen. Jeder Bohrkern muss dabei durch hochauflösende Gammaskopimetrie analysiert werden. In der Praxis weisen die einzelnen Bohrkern aufgrund von unterschiedlichen Bruchstellen voneinander abweichende Geometrien auf, die bei der Aktivitätsbestimmung unter erheblichem Aufwand berücksichtigt werden müssen. Ausserdem ist eine radiologische Bewertung des im Beton eingelassenen Bewehrungsstahls schwierig, da dessen oft unbekannte Lage es erschwert, eine Bohrung an einer stahlbesetzten Stelle durchzuführen.

In diesem Beitrag wird eine alternative Methode zur radiologischen Charakterisierung von Betonbohrlöchern durch Insitu-Messungen mit CdZnTe (CZT)-Detektoren vorgestellt. Diese Detektoren sind kompakt, kostengünstig und benötigen keine Kühlung, so dass mit einem Verbund von Detektoren auf effiziente Art und Weise direkt im Bohrloch spektroskopische Messungen durchgeführt werden können. Die Energieauflösung der CZT-Kristalle ist dabei ausreichend für eine zuverlässige Identifikation von typischerweise vorkommenden Radionukliden in Betonabschirmungen. Mittels Messungen und Monte Carlo Simulationen wurden Kalibrierfaktoren für verschiedene Nuklide ermittelt, um aus den gemessenen Zählraten die entsprechende spezifische Aktivität zu bestimmen. Zusätzlich wurden verschiedene Detektor-Anordnungen und -Abschirmungen untersucht, um die longitudinale Ortsauflösung zu verbessern.

## **P37: EIN NEUARTIGES RADON-BODENLUFT-MESSSYSTEM**

Eiko Hermann<sup>1</sup>, Andreas Guhr<sup>2</sup>, Frank Ullrich<sup>3</sup>

<sup>1</sup>B.P.S. Engineering GmbH; <sup>2</sup>ALTRAC Radon-Messtechnik; <sup>3</sup>privat, Deutschland;

### **Zusammenfassung**

*Es wird ein neuartiges passives, integrierendes Langzeit-Messsystem zur Messung der Radon-222-Bodenluft-Aktivitätskonzentration vorgestellt.*

*Das System basiert auf dem Detektormaterial CR-39, bekannt aus herkömmlichen Festkörper-Spurdetektoren*

*Es ermöglicht QS-gesichert, kostengünstig und schnell Radon-Bodenluft-Messpunkte zu installieren und integrierende Langzeitmessungen durchzuführen.*

### **Summary**

*A new type of passive, integrating long-term measuring system for measuring the radon-222 soil air concentration is presented.*

*The system is based on solid-state tracking detectors with the detector material CR-39.*

*It enables QS-secured, inexpensive and quick installation of radon soil air measuring points and the carrying out of integrated long-term measurements.*

**Schlüsselwörter** Radon, Bodenluft

**Keywords** Radon, soil air concentration

## **1. Ausgangssituation**

Bisher werden Messungen der Rn-222-Bodenluft-Aktivitätskonzentration (RnBL) überwiegend durch aktive Kurzzeitmessungen realisiert.

Hierbei sind seit vielen Jahren stattfindende fachliche Diskussionen, ob Packersonden oder Einschlagsonden besser geeignet sind, nach wie vor offen.

Da alle aktiven Kurzzeitmessungen methodeninhärente Mängel aufweisen, wird seit längerer Zeit versucht, durch integrierende, passive Messverfahren die wesentlichsten Nachteile der aktiven Messungen zu eliminieren.

Die wesentlichsten Nachteile aktiver Spotmessungen sind folgende:

- Verfälschung der natürlichen Strömungsverhältnisse im Boden (Anlegen unrealistisch hoher Unterdrücke beim „Abpumpen Rn-Bodenluft“ Bereich 2000 -8000 Pa)
- Schaffung von, unter realen Verhältnissen nicht vorhanden, Bodenluftwegsamkeiten
- Erfassung des Zustandes nur für einen sehr kurzen Messzeitraum (i.d.R. wenige Minuten)
- Zeit und arbeitsintensive Sonden-Bohrarbeiten (d = 28 – 100 mm)
- Packersonden sind sehr beschädigungsanfällig und wartungsintensiv.
- Vor-Ort-Reparaturen sind nur bedingt, mit viel Erfahrung und Geschicklichkeit möglich.
- Die Bonner Packersonde und das GP-Permeameter sind nicht mehr käuflich erhältlich.
- Bei sehr schlecht durchlässigen Böden ist eine ausreichende „Vorspülung“ des Bohrloches (Vorgabe: 5 – 10 l, siehe (DIN EN ISO 116650-11, Januar 2020); (BfS-RESFOR-63/12-Bd.1 - Erarbeitung fachlicher Grundlagen zum Beurteilung der Vergleichbarkeit unterschiedlicher Messmethoden zur Bestimmung der Radonbodenluftkonzentration - Vorhaben 3609S10003 Bd. 1 Abschlussbericht)) kaum oder nicht möglich.

- Die Packer-Abdichtwirkung gegen Außenluft ist stark von der tatsächlichen Erdschichtung im Packerbereich und vom anliegenden Unterdruck abhängig.
- Die bisher üblichen Packersonden (Bonner Sonde, SARAD-Packersonde) sind nur sehr eingeschränkt für die zur Bestimmung des Radonpotentials (RP) zusätzlich notwendige Messgröße Gaspermeabilität (GP) des Bodens geeignet.

Der scheinbare Hauptvorteil der Packersonden-Messungen ist die sofortige (oder zumindest kurzfristige) Verfügbarkeit eines RnBL-Messergebnisses.

Dieser „Vorteil“ relativiert sich allerdings deutlich, wenn man die jahreszeitlichen Schwankungen der Rn-BL am gleichen Messort in die Bewertung einbezieht.

Um die aufgezählten wesentlichsten Problempunkte bei der aktiven Kurzzeitmessung zu eliminieren oder wenigstens deren Einfluss deutlich zu reduzieren, bietet sich die Messung mittels passiver Radondetektoren an.

Bisher wurde von verschiedenen Methoden berichtet (DIN EN ISO 116650-11, Januar 2020); (BfS-RESFOR-63/12-Bd.1 - Erarbeitung fachlicher Grundlagen zur Beurteilung der Vergleichbarkeit unterschiedlicher Messmethoden zur Bestimmung der Radonbodenluftkonzentration - Vorhaben 3609S10003 Bd. 1 Abschlussbericht), denen allen gemeinsam ist, dass Standard-Festkörperdetektoren in rel. großen Gehäusen benutzt wurden.

Dies führt zum einen zu einer schnellen Sättigung der Detektoren durch die um ca. einen Faktor 1000 höheren RnBL-Konzentrationen gegenüber üblicher Innenraumluft (kurze Messzeiten im Bereich von Tagen bis wenige Wochen), und zum anderen werden Löcher zum Einbringen der Detektoren benötigt, die von ihren Dimensionen vergleichbar mit denen bei Packersondeneinsatz sind, was den Zeit- und Arbeitsaufwand vor Ort erheblich erhöht und auch zu nicht zu vernachlässigbaren Störungen der natürlichen Verhältnisse im Boden führt.

Auch sind Standard-FKSD nicht immer gegen einen Thoron-Einfluss (Rn-220) unempfindlich.

## 2. Lösung

Da das Konzept der integrierenden Radon-222- Bodenluft-Messung mittels passiver Radondetektoren einige wesentliche und grundsätzliche Vorteile gegenüber den aktiven Spotmessungen aufweist, wurde ein passives Messsystem entwickelt, welches diese Vorteile beibehält oder noch weiter verbessert und noch vorhandene Nachteile beseitigt.

Dieses zum Patent angemeldete, neuartige, passive und integrierende Langzeit-Messsystem zur Messung der Rn-222-Bodenluft-Aktivitätskonzentration (RnBL) wird nachfolgend vorgestellt. Das System basiert auf CR-39 - Festkörper-Spurdetektoren.

Es ermöglicht QS-gesichert, kostengünstig und schnell Radon-Bodenluft-Messpunkte zu installieren und integrierende Langzeitmessungen durchzuführen.

Besonderer Wert wurde bei der Entwicklung auf folgende Bedingungen gelegt:

- einfacher, robuster Aufbau
- Unterdrückung Thoroneinfluss
- kleiner Bohrl Lochdurchmesser für geringe Bodenbeeinflussung und einfache, schnelle Messpunktherstellung
- unkomplizierter Detektorwechsel ohne Veränderung am Messsystem und Boden
- weitgehend gegen Wasser und Feuchte unempfindlich
- großer Messbereich, lange Expositionsauern
- geringe Qualifikationsanforderungen an das Personal (Installation und Detektorwechsel)

- niedrige Kosten
- externe QS des BL-Detektors durch die auswertende akkreditierte Messstelle

Die nachfolgenden Prinzipskizzen (Abb. 1) veranschaulichen den Aufbau der Radon-Bodenluftsonde sowohl als Gesamtsystem im Boden (links) als auch als Einzeldarstellung des Mess- und Haltesystems (rechts).

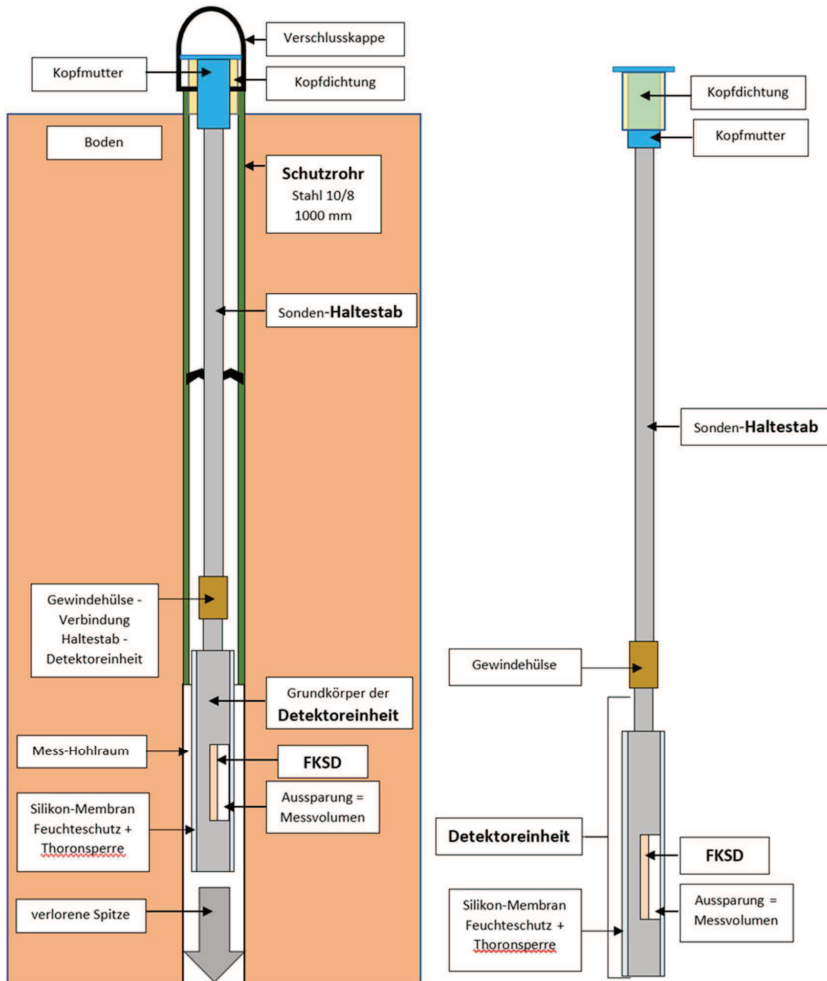


Abb. 1: Aufbau des Messsystems - Prinzipskizzen

Die nachfolgenden Bilder (Abb. 2) zeigen das Messsystem im Original wie folgt (von links nach rechts):

1. Schutzrohr mit Verschlusskappe + Haltestab mit angeschraubter Detektoreinheit
2. Detektoreinheit und Haltestab im Schutzrohr mit Verschlusskappe

3. Detektoreinheit am Haltestab
4. Schutzrohr + Verschlusskappe + Kopf des Haltestabes mit Kopfmutter und Kopfdichtung
5. Detektoreinheit im Schutzrohr



Abb. 2: Aufbau des Messsystems - real

Das entwickelte System bietet folgende Vorteile:

- geringer Aufwand für die Einrichtung eines Messpunktes (5- 10 min)
- geringste Boden- und damit Messbedingungs-Veränderung durch minimierte Detektorabmessung und optimierten Messsystemaufbau
- kein Fachpersonal für Installation und Detektorwechsel notwendig
- Messzeiten: 1 Tag bis 1 Jahr bei RnBL zwischen ca. 10 – 140 kBq/m<sup>3</sup>
- beliebiger, schneller, einfacher Detektorwechsel ohne Veränderung der Messbedingungen
- Qualitätssicherung der eingesetzten Radondetektoren durch ein akkreditiertes Messlabor
- unabhängige Auswertung der Detektoren durch ein akkreditiertes Messlabor
- sehr kostengünstig gegenüber z.B. aktiven Messverfahren (pro Messpunkt < 100 €)
- realistischere und zuverlässigere Messergebnisse gegenüber aktiven Kurzzeitmessungen

- Einfache Erweiterung der Aussagekraft der Rn-Messergebnisse durch Möglichkeit der Kopplung mit einem neuartigen Gaspermeabilitäts (GP)-Messsystem, welches GP-Messungen weitgehend automatisiert und elektronisch protokollierbar als Kurvenverlauf ( $GP = f(\dot{V})$ ) unter sehr realitätsnahen Messbedingungen, auch bei sehr geringen Differenzdrücken im Pa-Bereich, in kurzer Zeit erlaubt.

Das System ist kalibriert und einsatzbereit.

Bisher wurden ca. 90 Vergleichsmessungen sowohl mit Wiederholungsmessungen aktiver Radon-Kurzzeit-Bodenluft-Messungen als auch als Langzeitmessungen mit Messzeitzyklen von ca. 1100 h – 9000 h durchgeführt.

Die Übereinstimmung der mit dem hier vorgestellten passiven Langzeitmesssystem und dem arithmetischen Mittelwert aktiver Wiederholungsmessungen ist als sehr gut zu bewerten (Differenz < 10 %).

Ein direkter Vergleich eines aktiven Kurzzeit-Einzelmesswertes mit einem passiv ermittelten Langzeitmittelwert am gleichen Messort ist, bedingt durch die enorme zeitliche Variationsbreite der aktiven Einzelmesswerte, kaum sinnvoll möglich.

Vor allem bei sehr gut permeablen Böden bietet die passive Langzeitmessung, da ohne zusätzlich im Boden aufgeprägte Unterdruckverhältnisse arbeitend, die realistischsten Messbedingungen.

Auch bei extrem schlecht permeablen Böden, bei denen mit aktivem Pumpen keine Probennahme mehr möglich ist, kann das passive Messsystem brauchbare realistische Mittelwerte der Rn-222-Radon-Bodenluft-Aktivitätskonzentration liefern.

Durch die sehr einfache und schnelle Möglichkeit des Austausches der Detektoreinheit, die ohne jegliche Veränderung der Messgeometrie oder der Bodenverhältnisse auskommt, sind problemlos fortlaufende integrierende Messungen am gleichen Messpunkt möglich.

Die zeitlichen Einsatzmöglichkeiten des Systems können den beiden nachfolgenden Tabellen (Tab. 1 und Tab. 2) entnommen werden.

*Tab. 1: maximale Expositionszeiten und Radon-Bodenluft-Aktivitätskonzentrationen*

Expos.	<b>1.216.000</b>	kBq*h/m <sup>3</sup>			
<b>Rn-Konz.</b> <b>[kBq/m<sup>3</sup>]</b>	<b>maximale Expositionszeit</b>				
	<b>h</b>	<b>Tage</b>	<b>Wochen</b>	<b>Monate</b>	
10	121.600	5.067	724	167	
44	27.636	1.152	165	37,9	für RP=44 und GP=1E-11
100	12.160	507	72,4	16,7	
140	8760	365	52	12,0	
218	5.578	232	33,2	7,6	für RP=44 und GP=1E-15

Tab. 2: minimale Expositionszeiten und Radon-Bodenluft-Aktivitätskonzentrationen

Expos.	190	kBq*h/m <sup>3</sup>			
Rn-Konz. [kBq/m <sup>3</sup> ]	minimale Expositionszeit				
	h	Tage	Wochen	Monate	
10	19	0,8	0,1	0,0	
44	4,3	0,18	0,0	0,01	für RP=44 und GP=1E-11
100	1,9	0,08	0,01	0,003	
218	0,9	0,04	0,01	0,001	für RP=44 und GP=1E-15

Die Einbautiefe Bodenoberfläche bis Mitte Detektor beträgt aktuell ca. 97,5 cm.

Wird die verlorene Spitze statt der üblichen 5 cm um 10 cm aus dem Halterohr nach unten in den Boden gedrückt, entsteht ein Messvolumen im Bereich von ca. 106 – 96 cm und eine mittlere Messzylindertiefe von 101cm.

Der zusätzliche Hohlraum unterhalb des Detektors bildet gleichzeitig ein „Reservevolumen“ für sich ggf. temporär ansammelndes Wasser und schützt (bis zu einem gewissen Grad), zusätzlich zur wasserdichten Diffusionsmembran, den Bereich der Detektoreinheit vor dauerhaft stehendem Wasser.

Der gewählte konstruktive Aufbau ermöglicht auch nahezu frei wählbare Messtiefen, die praktisch nur noch von den realisierbaren Schutzrohrängen abhängen, da der Haltestab sowohl problemlos gekürzt als auch an der Gewindehülse verlängert werden kann. Als Schutzrohr eignen sich Stahlrohre mit einem Innendurchmesser von 8 mm, Außendurchmessern von 10 – 12 mm und einer Länge von 100 cm. Als Standard hat sich ein Stahlrohr 8/10 mm/ 100 cm bewährt.

Ablauf - Installation eines Messpunktes:

1. Vorbohrung d = 8 mm, L = 100 cm (z.B. Akkubohrhammer ca. 2 Joule + Betonbohrer 1 m)
2. Eindrücken bzw. vorsichtiges Einschlagen des Halterohres mit zuvor eingesetzter verlorener Spitze (Überstand über Boden. ca. 4 cm zum Ziehen des Halterohres bei Bedarf.)
3. Ausdrücken /Ausschlagen der verlorenen Spitze
4. Entnehmen der komplett gelieferten Detektoreinheit aus der Lieferverpackung
5. Anschrauben der Detektoreinheit an die Haltestab-Gewindehülse am unteren Stabende
6. Einschieben des Haltestabes in das Schutzrohr
7. Eindrücken der Kopfdichtung in das Halterohr
8. Aufsetzen der Verschlusskappe

Abschluß der Ersteinrichtung eines RnBL-Messpunktes, Gesamtdauer ca. 5 - 10 min.

Ablauf – Detektorwechsel:

1. Abnehmen der Schutzkappe
2. Ziehen des Haltestabes
3. Abschrauben der alten Detektoreinheit und luftdichte Verpackung derselben
4. Einschrauben der neuen Detektoreinheit
5. Einsetzen des Haltestabes
6. Andrücken der Kopfdichtung
7. Aufsetzen der Verschlusskappe

Der Zeitaufwand bewegt sich hierfür üblicherweise im Bereich von 1 - 3 min.

Das Halterohr dichtet sich im Normalfall für die geringen auftretenden natürlichen Druckdifferenzen (i.d.R. < 10 Pa) großflächig im Boden selbst ausreichend ab.

### **3. Literaturverzeichnis**

[1] DIN EN ISO 116650-11, „Ermittlung der Radioaktivität in der Umwelt - Luft: Radon-222-Teil 11: Verfahren zur Probenahme und Prüfung von Bodenluft, Januar 2020,“ Januar 2020

[2] „BfS-RESFOR-63/12-Bd.1 + 2 - Erarbeitung fachlicher Grundlagen zum Beurteilung der Vergleichbarkeit unterschiedlicher Messmethoden zur Bestimmung der Radonbodenluftkonzentration - Vorhaben 3609S10003 Bd. 1 + 2 Abschlussbericht“



## **P38: SCHWEIZER AKTIONSPLAN RADON 2021-2030**

Fabio Barazza, Daniel Storch, Martha Palacios, Emanuel Christen

*Bundesamt für Gesundheit, Schweiz*

Aufgrund geologischer Eigenschaften, ist die Schweiz stark von der Radonproblematik betroffen. Die ersten Messkampagnen und die Erarbeitung möglicher Massnahmen zur Reduktion der Radonbelastung in einem Gebäude wurden in den 80er und 90er Jahren durchgeführt. Diese Untersuchungen zeigten, dass insbesondere die Alpenregion und der Jurabogen von der Radonproblematik betroffen sind und dass viele Gebäude in diesen Regionen hohe Radonwerte aufweisen.

Um den Radonschutz in der Schweiz anzugehen bewilligte der Bundesrat den Aktionsplan Radon 2012-2020, der verschiedene Massnahmen definierte. Eines der Ziele war die Revision der gesetzlichen Grundlagen zu Radon in der Schweiz. Auf der Grundlage dieser neuen Gesetzgebung, der Evaluation der Umsetzung des Aktionsplans und internationaler Empfehlungen wurde ein neuer Aktionsplan Radon für die nächsten zehn Jahre (2021-2030) entwickelt. Dieser neue Aktionsplan definiert vier Stossrichtungen und entsprechende Ziele:

**Immobilienpark:** Der Radonschutz im Immobilienpark muss nachhaltig verbessert werden, vor allem durch das Bilden von Synergien mit Massnahmen zur Steigerung Energieeffizienz in Gebäuden.

**Gesundheitsrisiko:** Die öffentliche Wahrnehmung und das Verständnis der Gesundheitsrisiken müssen verbessert werden, was dazu beiträgt, dass das Radonproblem an Bedeutung gewinnt.

**Radonkompetenz:** Um dem gestiegenen Bedarf an Planung und Durchführung von Radonschutzmassnahmen in Neu- und Umbauten gerecht zu werden, muss das Radon-Fachwissen bei Bauherren, Planern, Architekten und Radon-Experten verbessert und erweitert werden.

**Arbeitnehmerschutz:** Der Radonschutz an Arbeitsplätzen muss sichergestellt werden, um die Arbeitnehmer vor berufsbedingten Krankheiten zu schützen.

## **P39: ENTWICKLUNG VON INDIKATOREN IN EINEM KRITERIENKATALOG UND DURCHFÜHRUNG EINER ERSTERHEBUNG ZUR FESTSTELLUNG DER IST-SITUATION FÜR DIE BEWERTUNG DES NATIONALEN RADONMAßNAHMENPLANS**

### **DEVELOPMENT OF INDICATORS IN A CRITERIA CATALOG AND IMPLEMENTATION OF AN INITIAL SURVEY TO INVESTIGATE THE ACTUAL SITUATION FOR THE EVALUATION OF THE NATIONAL RADON ACTION PLAN**

Veronika Ustohalova , C. Kùppers

*Öko-Institut, Deutschland*

#### **Zusammenfassung**

*Der im Jahr 2019 veröffentlichte Radonmaßnahmenplan soll regelmäßig nach einer Evaluation aktualisiert werden. Im Rahmen eines vom Bundesamt für Strahlenschutz ausgeschriebenens Forschungsvorhabens sollte das Öko-Institut die Grundlagen erstellen, damit die Evaluation nach objektivierten Maßstäben vorbereitet und durchgeführt werden kann. Im ersten Arbeitsschritt wurde der Radonmaßnahmenplan analysiert und ein Kriterienkatalog für die Evaluation hergeleitet, welche alle Einzelmaßnahmen des Radonmaßnahmenplans abdecken. Im zweiten Arbeitsschritt wurde eine Befragung der zuständigen Behörden aus fünf ausgewählten Bundesländern über den Stand der Umsetzung der Maßnahmen des Radonmaßnahmenplans in ihrem Aufgabenbereich durchgeführt. Die Bestandsaufnahme sollte eine Evaluierung der Umsetzung zu einem späteren Zeitpunkt ermöglichen. Die Untersuchungsergebnisse umfassen die Kooperation mit den Bundesbehörden und den Austausch unter den Ländern, den Stand der Entwicklung der Strategien zur Informiertheit der Bevölkerung sowie die Bildungsmaßnahmen. Im dritten Arbeitsschritt wurde eine repräsentative Bevölkerungsumfrage in Radonvorsorgegebieten in drei ausgewählten Bundesländern durchgeführt. Die Umfrage ermittelte den Wissensstand um das Thema Radon, fragte die Erwartungen der Bürger\*innen an Politik und Verwaltung und den Unterstützungsbedarf bei der Umsetzung der Radonschutzmaßnahmen ab. Die Ergebnisse beider Befragungen zeigten einige positive Auswirkungen der Öffentlichkeitsarbeit, sie verdeutlichten aber auch weiteren Handlungsbedarf. Ausgehend von den Ergebnissen der Befragung der Behörden und der Bevölkerung wurden Empfehlungen abgeleitet.*

#### **Summary**

*The radon action plan published in 2019 is to be updated regularly following an evaluation. Within the framework of a research project commissioned by the Federal Office for Radiation Protection, the Öko-Institut had to develop the basic principles so that the evaluation could be prepared and carried out according to objectified standards. In the first step, the radon action plan was analyzed and a catalog of criteria for the evaluation was derived, covering all individual measures of the radon action plan. In the second working step, a survey of the responsible authorities from five selected federal states was conducted on the status of the implementation of the measures of the radon action plan in their area of responsibility. The inventory should allow an evaluation of the implementation at a later stage. The survey results include the cooperation with the federal authorities and the exchange among the states, the*

*status of the development of the strategies for informing the population as well as the educational measures. In the third step of the work, a representative public survey was conducted in radon precautionary areas in three selected states. The survey determined the level of knowledge about the topic of radon, queried the expectations of the citizens\* towards politics and administration and the need for support in the implementation of radon protection measures. The results of both surveys showed some positive effects of the public relations work, but they also highlighted the need for further action. Based on the results of the survey of the authorities and the population, recommendations were derived.*

**Schlüsselwörter** Radonmaßnahmenplan, Evaluation, repräsentative Befragung  
**Keywords** radon action plan, evaluation, representative Survey

## 1. Einleitung

Der Radonmaßnahmenplan erläutert die Maßnahmen nach dem Strahlenschutzgesetz und enthält Ziele für die Bewältigung der langfristigen Risiken der Exposition gegenüber Radon in Aufenthaltsräumen und an Arbeitsplätzen in Innenräumen. Er beschreibt dabei das beabsichtigte Vorgehen von Bund und Ländern und dient auch Fachleuten oder interessierten Bürgern zur Information über die Strategie zur Verringerung der Radonexposition in Deutschland. Die einzelnen Länder sollen eine entsprechende institutionelle Infrastruktur aufstellen, die die Umsetzung der einzelnen Maßnahmen absichert und die notwendige Kommunikation mit dem Bund gewährleistet. Der Radonmaßnahmenplan soll regelmäßig aktualisiert werden, spätestens nach zehn Jahren. Die Aktualisierung des Radonmaßnahmenplans nach den Erkenntnissen einer zuvor durchgeführten Evaluation ist als eine Maßnahme im Plan aufgeführt. Das Bundesamt für Strahlenschutz hat das Öko-Institut e.V. im Rahmen des Forschungsvorhabens 3619S12272 damit beauftragt, die Grundlagen zu erstellen, damit die Evaluation des Radonmaßnahmenplans nach objektivierte Maßstäben vorbereitet und durchgeführt werden kann. Das Forschungsvorhaben sollte im ersten Arbeitsschritt die Parameter für die Evaluierung des Maßnahmenplanes erstellen und den Status Quo ermitteln, der als Vergleichsmaßstab der Beurteilung zugrunde gelegt werden sollte. Im zweiten und dritten Arbeitsschritt sollte der Status Quo ermittelt werden, wie er sich zum Zeitpunkt des Beginns der Umsetzung des Radonmaßnahmenplans darstellte. Dafür wurden Befragungen der zuständigen Behörden sowie eine repräsentative Bevölkerungsumfrage durchgeführt. Im Folgenden werden die Inhalte und die Ergebnisse einzelner Arbeitspakete vorgestellt.

## 2. Entwicklung von Indikatoren für die Evaluation des Radonmaßnahmenplans

Um den Erfolg der Umsetzung der einzelnen Maßnahmen des Radonmaßnahmenplans zukünftig bewerten zu können, sollten Indikatoren entwickelt werden. Die Indikatoren sollten messbare Größen sein, die zum Teil auf eine kurzfristige Perspektive (Überprüfung nach drei bis fünf Jahren ab Ausweisung der Radonvorsorgegebiete), zum Teil auf eine langfristige Perspektive (Überprüfung nach zehn Jahren) hin zu konzipieren waren.

Der Radonmaßnahmenplan wurde dazu analysiert und die Interdependenzen der Maßnahmenpakete zueinander aufgearbeitet. Der Kriterienkatalog für die Evaluation des Radonmaßnahmenplans in Form von 28 Indikatoren wurde für die Maßnahmenpakete mit den einzelnen Maßnahmen hergeleitet:

- Maßnahmenpaket 1: Maßnahmen der Öffentlichkeitsarbeit
- Maßnahmenpaket 2: Maßnahmen zur Erhebung der Radonsituation sowie zur Identifikation und Ausweisung von Gebieten
- Maßnahmenpaket 3 und 4: Maßnahmen zur Reduzierung der Radonaktivitätskonzentration in Innenräumen von Neubauten und von bestehenden Gebäuden
- Maßnahmenpaket 5: Maßnahmen zur Reduzierung von Radon am Arbeitsplatz

Es wurden drei Sätze von Indikatoren als objektiv feststellbare Größen für die Evaluation des Radonmaßnahmenplans entwickelt. Die Indikatorensätze unterscheiden sich insbesondere je nach Zeitpunkt, wann eine Abfrage erfolgen und ein Ziel erreicht sein soll, sowie je nach Ausmaß des erzielten Fortschritts, der als Voraussetzung einer erfolgreichen Umsetzung des Plans gelten soll. Die drei Indikatorensätze stellen insgesamt unterschiedlich hohe Anforderungen. Einer dieser Sätze kann für die Evaluation ausgewählt werden. Es werden drei verschiedene grundlegende Arten von Indikatoren angewendet:

- Kurzfristige Indikatoren dienen einer Evaluation nach drei bis fünf Jahren nach Ausweisung der Radonvorsorgegebiete durch die Länder.
- Langfristige Indikatoren werden angewandt, wenn der Radonmaßnahmenplan zur Aktualisierung ansteht, also in spätestens zehn Jahren.
- Indikatoren, die in bestimmten Zeitabständen über zehn Jahre angewendet werden, um eine Datenbasis aufzubauen und zu dokumentieren. Diese Daten werden für die spätere Bewertung benötigt

Drei Indikatorensätze decken jeweils alle Einzelmaßnahmen des Radonmaßnahmenplans ab. Die Indikatorensätze unterscheiden sich systematisch darin, welcher Level für die Testierung einer erfolgreich umgesetzten Maßnahme als notwendig angesehen wird:

- Bezieht sich ein Indikator auf messbare Häufigkeiten, beispielsweise die Häufigkeit des Zugriffs auf Informationen im Internet, so wird als angestrebtes Ziel eine mehr oder weniger hohe Häufigkeit bzw. mehr oder weniger starke prozentuale Zunahme der Zugriffe gegenüber dem Status Quo angesetzt.
- Eine weitere Differenzierung ist bei Indikatoren möglich, bei denen beispielsweise eine bestimmte Zahl von Forschungsvorhaben in einem bestimmten Jahr initiiert worden sein soll, wobei auch deren Stand – geplant, gestartet, abgeschlossen – oder die Höhe des insgesamt zur Verfügung stehenden Budgets Unterscheidungsmerkmale sein können.
- Schließlich ist auch der Zeitpunkt der Anwendung eines Indikators ein Unterscheidungsmerkmal für die drei Indikatorensätze, da die Forderung nach erfolgreicher Umsetzung bis zu einem bestimmten Jahr eine höhere Anforderung darstellt, wenn dieses Jahr weniger lange in der Zukunft liegt.
- Es gibt auch Indikatoren, bei denen solche Differenzierungen nicht möglich sind. Diese sind dann in allen drei Indikatorensätzen in identischer Form enthalten.

### 3. Befragung der zuständigen Behörden

Im Rahmen des zweiten Arbeitspakets wurden die verantwortlichen Behörden- und Institutionsvertreter aus fünf ausgewählten Ländern über den Status Quo in ihrem Aufgabenbereich zur Umsetzung des Radonmaßnahmenplanes befragt.

In Abstimmung mit dem Bundesamt für Strahlenschutz wurden Bayern, Baden-Württemberg, Hessen, Nordrhein-Westfalen und Sachsen für die Befragung ausgewählt. Die Länder sind als Repräsentanten der Situation in Deutschland im Hinblick auf die geologischen Gegebenheiten und die Handhabung der Radonproblematik sowie den dadurch bedingten Aufbau der zuständigen Behörden- und Institutionsstrukturen zu verstehen.

#### 3.1 Fragenbogenentwicklung

Es wurde ein Fragebogen entwickelt, welcher sechs Frageblöcke umfasste.

- Der erste Block der Fragen betraf die institutionelle Infrastruktur und die Verantwortlichkeiten, den Austausch der Landesebene mit der Bundesebene und der lokalen Ebene sowie den Zeitplan für die Umsetzung der Maßnahmen.
- Der zweite Block der Fragen befasste sich mit der Informiertheit der Bevölkerung (Maßnahmenpaket 1 des Radonmaßnahmenplans). Hier ging es vor allem um mögliche Strategien und Methoden zur Information der Bevölkerung.
- Gegenstand des dritten Fragenblocks war die Radonsituation und die Ausweisung der Radongebiete (Maßnahmenpaket 2 des Radonmaßnahmenplans). Neben der Frage nach terminschlichen Schwierigkeiten bei der Ausweisung ging es darum, welche Messstrategien verwendet werden oder ob die Radonprognose des BfS als taugliche Grundlage für die Ausweisung gesehen wird.
- Im vierten Fragenblock ging es um Maßnahmen zur Reduzierung der Radonkonzentrationen in Neubauten und bestehenden Gebäuden (Maßnahmenpakete 3 und 4 des Radonmaßnahmenplans). Die Fragen zielten vor allem auf die Bereitstellung von Informationen, die Strategien zur Anregung von eigenen Messungen, Maßnahmen zur Schaffung einer hinreichend großen Zahl qualifizierter Stellen und Personen.
- Der fünfte Block der Fragen befasste sich mit Maßnahmen zur Reduzierung von Radon am Arbeitsplatz (Maßnahmenpaket 5 des Radonmaßnahmenplans). Abgefragt wurde, ob bereits eine Einschätzung besteht, wie viele Arbeitsplätze mit mehr als 300 Bq/m<sup>3</sup> im jeweiligen Bundesland vorliegen könnten. Gefragt wurde auch, wie die Verantwortlichen erreicht werden sollen und wie die tatsächliche Durchführung der von den Verantwortlichen rechtlich geforderten Maßnahmen überprüft werden soll.
- Im sechsten Fragenblock wurde nach der eventuellen Förderung von Forschung im jeweiligen Bundesland gefragt (Zusammenhang mit den Maßnahmenpaketen 6 und 8).
- Als Letztes wurde schließlich noch abgefragt, ob es Anregungen für besondere Fragen, die im Rahmen der Bevölkerungsumfrage gestellt werden sollten, gibt.

### 3.2 Ergebnisse der Befragung der Behörden

Folgende Aussagen können im Ergebnis verallgemeinert über alle Bundesländer getroffen werden:

- Im Hinblick auf die Kommunikation und Kooperation mit den Bundesbehörden halten alle Länder einen intensiveren Austausch mit dem BMU für zweckdienlich. Sie benötigen für ihre Arbeit einen kontinuierlichen Abstimmungsprozess zwischen Bund und Länder. Sie loben insbesondere die gut organisierte Arbeit in den Gremien auf der Bundesebene und wünschen sich ausdrücklich weiteres Fortbestehen dieser Gremien.
- Die Länder unterstützen sich gegenseitig bei der Umsetzung der Maßnahmen des Radonmaßnahmenplanes, insbesondere bei Fragen der Kommunikation mit der Öffentlichkeit. Eine gegenseitige Unterstützung findet auch bei der Erarbeitung der Empfehlungen zur Durchführung von Messungen in Innerräumen und Leitfäden sowie bei der Konzeption der Mesekampagnen im Rahmen der Ausweisung von Radonvorsorgegebieten statt.
- Alle Länder konnten den Zeitplan für die Entscheidung über die Ausweisung der Vorsorgegebiete einhalten und haben die erforderlichen Messprogramme selbständig oder in gegenseitiger Unterstützung oder in Absprache mit dem BfS umsetzen können. Dabei nutzten sie effizient auch das Know-how eigener Forschungsinstitutionen.
- Die Länder heben den guten Kontakt mit der Ebene der ReferentInnen und Referatsleitungen des BfS hervor.

Es wurde auch die Auswirkung der Covid-19-Pandemie ermittelt. Alle Länder haben trotz der Covid-19-Pandemie die Radonvorsorgegebiete gem. Vorgabe ausgewiesen. Die Bereitstellung des zuständigen Personals ist in den Ländern, welche die behördliche Struktur neu aufbauen, mit größerem Aufwand verbunden. Die Covid-19-Pandemie war generell eine Belastung aus finanzieller wie auch aus organisatorischer Sicht, daher könnte es zu Verzögerungen in der weiteren Umsetzung des Radonmaßnahmenplans kommen.

## 4. Repräsentative Bevölkerungsumfrage in Radonvorsorgegebieten

Im dritten Arbeitspaket wurde eine repräsentative Bevölkerungsumfrage (1033 vollständige Befragungen) durchgeführt, die den Status Quo zum Wissen um das Radonrisiko, um Schutzmaßnahmen sowie Rechte und Pflichten beim Radonschutz ermitteln sollte. Weiterhin sollten Erwartungen der Bürgerinnen und Bürger an Politik und Verwaltung abgefragt sowie konkrete Bedarfe zur Unterstützung bei der Bewältigung des Radonschutzes identifiziert werden. Befragt wurde in den Vorsorgegebieten folgender Bundesländer

- in Baden-Württemberg (Südschwarzwald und Mittlerer Schwarzwald),
- in Bayern (Landkreis Wunsiedel im Fichtelgebirge) und
- in Sachsen (5 zusammenhängende Landkreise im Südosten: Erzgebirgskreis, Mittelsachsen, Sächsische Schweiz-Osterzgebirge, Vogtlandkreis, Zwickau).

Ein Fragenbogen wurde in Abstimmung mit dem Bundesamt für Strahlenschutz entwickelt. Die repräsentative Telefonumfrage (CATI) der Bevölkerung wurde durch das Institut für Umfragen, Analysen und DataScience (UADS) durchgeführt.

## 4.1 Ergebnisse

Die Ergebnisse der repräsentativen Umfrage der Bevölkerung umfassen drei wesentliche Bereiche: die Informiertheit der Bevölkerung im Allgemeinen, die Bewertung bisheriger Informationsmaßnahmen und die daraus resultierende Risikowahrnehmung sowie die Bereitschaft, selbst Maßnahmen zu ergreifen. Die Untersuchung der Informiertheit der Bevölkerung fokussierte auf das Wissen über Radon und die gesundheitlichen Risiken durch Radon und weiterhin auf das Wissen darüber, welche Verhaltensregeln, bauliche Veränderungen oder andere Maßnahmen bei erhöhten Radonaktivitätskonzentrationen sinnvoll sein können. Bezüglich der Bewertung der Informationsmaßnahmen sind folgende Fragestellungen verwendet worden: wie zuverlässig die zuständigen Behörden oder deren Multiplikatoren informieren, ob die relevanten Informationsstellen den Bürger\*Innen bekannt oder ob die Informationsunterlagen verständlich sind. Bei der Untersuchung der Risikowahrnehmung und der Bereitschaft Maßnahmen umzusetzen, ist nach den bekannten oder gefühlten gesundheitlichen Beeinträchtigungen durch Radon gefragt worden. Weitere Fragen untersuchten, ob die Bürger\*Innen schon Radonmessungen durchgeführt haben oder bereit wären, bei staatlicher Förderung Maßnahmen umzusetzen. Die Befragung zeigte, dass alle Befragten das Thema Radon aus verschiedenen Zusammenhängen kennen. Mit 59% hat die Mehrheit der Befragten über das Thema "Radon" aus der Zeitung erfahren, weitere am meisten genutzten Informationsquellen sind Fernsehen und Radio. Knapp die Hälfte der Befragten wussten, dass sie in einem Radonvorsorgegebiet wohnen. Wiederum die Hälfte der Befragten hat sich bereits über Radon aus verschiedenen Quellen informiert, die meisten auf den Webseiten des Bundes/de Bundesumweltministeriums (20%) und bei Radon-Beratungsstellen (rund 17%). Die Webseiten des Bundesamtes für Strahlenschutz oder der verantwortlichen Behörde in dem Bundesland des Wohnsitzes kennen rund 17% der Befragten. Im Hinblick auf die gesundheitlichen Risiken durch Radon wurde die gefühlte gesundheitliche Beeinträchtigung durch Radon nach Geschlecht und Alter ausgewertet. Der Unterschied zwischen Männern und Frauen ist bei schwerer Beeinträchtigung ausgeprägt, und zwar fühlen sich mehr Frauen (rund 13%) als Männer (rund 9%) schwer durch die Wirkung einer Radonexposition beeinträchtigt. Bezogen auf Alter fühlen sich die über 70 Jahre alte Befragten am wenigsten beeinträchtigt, am stärksten beeinträchtigt fühlt sich die Altersgruppe zwischen 19 und 29 Jahren. Unabhängig vom Alter meinen die meisten Befragten, dass Radon eine Ursache von Lungenkrebs ist. Ein signifikanter Anteil der Befragten wird voraussichtlich motiviert sein die Maßnahmen umzusetzen. Bei einem großen Teil der Befragten ist allerdings ein Bewusstsein über die Radonrisiken noch nicht vorhanden. Das zeigt sich darin, dass 20% die Baumaßnahmen auch dann nicht umsetzen würden, selbst wenn dafür eine Förderung in Anspruch genommen werden könnte. Dafür spricht auch das Ergebnis, dass rund 40% der Stichprobe der Personen dem radonbedingten gesundheitlichen Risiko weniger Bedeutung zuschreibt.

Insgesamt machte die Befragung deutlich, dass die Informationsmaßnahmen erste Erfolge zeigen. Das Thema Radon ist in der Bevölkerung mehr oder weniger bekannt und ein großer Anteil der Befragten wünscht sich weitere Informationen insbesondere auch zu Schutzmaßnahmen. Zeitungen, Radio und das Fernsehen sind nach wie vor die wichtigsten Informationsquellen. Die Internetseiten der Ministerien und Behörden sind relativ bekannt, werden jedoch weit seltener als Informationsquelle verwendet. Weil die Ausweisung der Radonvorsorgegebiete erst im Jahr 2020 anliefe, ist es nicht überraschend, dass eine Hälfte der Befragten sich noch nicht sicher war, ob sie im Radonvorsorgegebiet leben oder nicht. Die meisten Befragten kennen vor allem bauliche Maßnahmen zum Schutz vor Radon, Radonmessungen haben bislang nur wenige selbst durchgeführt. Eine staatliche Förderung zur

Umsetzung von Maßnahmen könnte bei ca. einem Viertel der Befragten dazu führen, dass sie aktiv werden und Schutzmaßnahmen ergreifen. Da ein größerer Anteil der Befragten, insbesondere der jungen Generation, ihre Kenntnisse als gering bis sehr gering einschätzen, sich jedoch interessiert zeigen, sollte diese Zielgruppe verstärkt über Social Media Formate adressiert werden. Insgesamt ist festzuhalten, dass der Bedarf nach einem breiten Informationsangebot und die Verstärkung der Unterrichtung der Bevölkerung als groß einzuschätzen ist.

## **5. Danksagung**

Die AutorInnen bedanken sich bei dem BfS für die vortreffliche Begleitung während des ganzen Forschungsvorhabens.



## **P40: HOW ORGANIC LIGANDS CAN INFLUENCE THE PLANT UPTAKE OF RADIONUCLIDES – INVESTIGATIONS OF EUROPIUM AND AMERICIUM**

Julia Stadler<sup>1</sup>, Timon Damböck<sup>1</sup>, Manja Vogel<sup>2,3</sup>, Robin Steudtner<sup>4</sup>, Björn Drobot<sup>4</sup>, Anna L. Kogiomtzidis<sup>1</sup>, Clemens Walther<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Institute of Radioecology and Radiation Protection, Leibniz University Hannover, <sup>2</sup>VKTA – Strahlenschutz, Analytik & Entsorgung Rossendorf e.V., 01328 Dresden, <sup>3</sup>HZDR Innovation GmbH, 01328 Dresden, <sup>4</sup>Helmholtz-Zentrum Dresden-Rossendorf e.V., Institute of Resource Ecology 01328 Dresden

Am-241 is an important radionuclide and currently the dominating  $\alpha$ -emitter in the Chernobyl exclusion zone. It is still produced via the  $\beta^-$  decay of Pu-241 ( $T_{1/2} = 14.3$  a) to the Am-241 with a longer half-life of 432 years<sup>1</sup>. The radionuclide transfers into plants via contaminated soil and eventually enters the human food chain. For a better understanding of the uptake mechanism on a microscopic scale, its chemical speciation has to be investigated. Especially with regard to a potential ingestion incident, the chemical species is crucial for the resorption inside the human body<sup>2,3</sup>. In this work, *Secale cereale* L. was treated with Eu as homologue for the trivalent Am. A liquid nutrition medium was used to investigate the chemical form before the contamination process with theoretical calculations and mass spectrometry (ESI MS) measurements. To investigate the influence of different organic ligands, EDTA, citrate, malonate and oxalate were added to the Eu-medium. After harvesting the treated plants, elemental concentration of Eu was measured (ICP MS) and species analysis was obtained with Time-Resolved Laser Fluorescence Spectroscopy (TRLFS) inside the plant. In addition, spectroscopic mapping of Eu species inside the plant was done by chemical microscopy using a Raman microscope. The results show a significant increase of Eu uptake while EDTA is present and an enhanced Eu transport to the plant leaves with oxalate. While citrate and malonate showed less influence on the Eu content, all organic ligands seems to have an impact on the Eu species. For the first time a closer look on the inside of the Eu and EDTA treated plant give hints on their location and transport mechanism. First experiments with Am indicate an equal behavior of the radionuclide in plant uptake.

### **Literaturverzeichnis**

- [1] United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation. Sources and Effects of Ionizing Radiation. United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation : UNSCEAR 2008 Report to the General Assembly, with Scientific Annexes (2008).
- [2] Ménétrier, F., Taylor, D. M. & Comte, A. The biokinetics and radiotoxicology of curium: a comparison with americium. *Applied Radiation and Isotopes* **66**, 632–647; 10.1016/j.apradiso.2007.12.002 (2008).
- [3] Popplewell, D. S., Harrison, J. D. & Ham, G. J. Gastrointestinal Absorption of Neptunium and Curium in Humans. *Health Physics* **60**, 797–805 (1991)

## **P41: NOTFALLSYSTEM ZUR ÜBERWACHUNG DER GAMMADOSISLEISTUNG**

Petra Sattler

*Bertin GmbH Frankfurt*

Die Nuklearkatastrophen in den letzten dreißig Jahren (Tschernobyl, Fukushima) haben gezeigt, dass bei solchen Ereignissen die Messinfrastruktur meistens zerstört und die Datenübertragung durch nicht funktionierende öffentliche Kommunikationsinfrastruktur zumindest gestört ist. Durch die zerstörte Infrastruktur haben sich die Anforderungen an moderne Überwachungsmessnetze geändert, um einen solchen Katastrophenszenarien gewachsen zu sein. Bertin GmbH hat ein autonomes Notfallsystem entwickelt, das schnell, einfach und sicher für die Überwachung von Gammastrahlung eingesetzt werden kann.

Die verschlüsselten Daten werden im Notfall über eine gesicherte Iridium-Satellitenverbindung übertragen. Der in der Sonde eingebaute Akku bietet eine lange Autonomie und ermöglicht die schnelle und einfache Installation, auch bei fehlender Infrastruktur. Alarme werden automatisch an die Entscheidungsträger weitergeleitet.

Das System besteht in seinen Hauptkomponenten aus der Ortsdosisleistungsmesssonde GammaTRACER XL2-2, der Datenübertragung per Iridium-Satellit und der Überwachungssoftware DataEXPERT 10.

Die Ortsdosisleistungsmesssonde GammaTRACER XL2 ist mit zwei oder drei energiekompensierten GM-Zählrohren ausgestattet, die die Umgebungsäquivalentdosisleistung misst, speichert und in Echtzeit an die Messzentrale überträgt.

Die hermetisch dichte Sonde ist robust und erdbebensicher, so dass diese auch unter extremsten Klima- und Umweltbedingungen (hohe Luftfeuchtigkeit, großer Temperaturbereich) eingesetzt werden kann.

Die GammaTRACER-Sonde verfügt über eine Batterielebensdauer von mehr als 6 Monaten, die mit einem eingebauten Solarpanel auch unbegrenzt verlängert werden kann. Die kompakte und leichte Bauweise des GammaTRACER ermöglicht neue Ansätze in der Umweltüberwachung, sowohl für den Routineeinsatz als auch für das Notfallmanagement.

Die Sonde ist mit einem Satellitenmodem ausgestattet, das zuverlässige Datenübertragung, ohne Verwendung öffentlicher Telekommunikationsnetzwerke ermöglicht. Die Datenübertragung per Iridium-Satellit kann überall dort eingesetzt werden, wo die GSM Kommunikation nicht gewährleistet ist. Neben der reinen Datenübertragung per Satellit gibt es auch die Lösung, die Sonde per redundanter GSM/Satelliten-Datenübertragung zu betreiben. Hierbei werden die Daten nur per Satellit übertragen, sobald das GSM-Netz nicht zur Verfügung steht. Die Umschaltung erfolgt automatisch.

DataEXPERT 10 ist eine professionelle, benutzerfreundliche Kommunikations- und Datenanalysesoftware, die über jeden Standardbrowser aufgerufen werden kann. Die Software garantiert sowohl den einfachen und sicheren Zugriff auf die Daten als auch deren leistungsstarke Visualisierung. Auch eine Cloud-Lösung steht zur Verfügung.



## AUTORENINDEX

### A

Ahdida C. 33  
Alich-Mark M. 90  
Alteköster C. 99  
Arnold M. 220, 232

### B

Baechler S. 89  
Barazza F. 254  
Baur S. 135  
Becker F. 159  
Bellesi L. 229  
Bieringer J. 135  
Birkhan J. 121  
Bister S. 141  
Bleher M. 145  
Bodemann R. 211  
Bollhöfer A. 135  
Brand A. 239  
Brand A. 221  
Breitkreutz H. 145  
Brose M. 156  
Brückner U. 37  
Büchi S. 47  
Budín M. 229  
Bühler M. 37  
Butterweck G. 239

### C

Cadei G. 229  
Caetano Ferreira da Silva M. 229  
Christen E. 254  
Czarwinski R. 168  
Czarwinski R. 168

### D

D'Amato S. 47  
Damböck T. 262  
Del Grande F. 229  
Derugin E. 25  
Doerfel H. 185  
Dohrmann F. 141  
Drieling L. 141  
Drobot B. 262  
Dürr M. 121

### E

Ebert S. 64  
Eisheh J.-T. 85  
Emanuel C. 89

Engel A. 226  
Erik R. 99  
Estier S. 89

### F

Fehrenbacher G. 187  
Feil S. 228  
Feinhals J. 169  
Feldmann U. 108  
Ferrari S. 229  
Figel, M. 160  
Flesch Klaus 159  
Flury T. 89  
Franke M. 199  
Frie C. 228  
Friedemann S. 90  
Froning M. 64, 230

### G

Gehre D. 64  
Geisler A. 225  
Gellermann R. 37, 157, 169  
Gennaro D. 89  
Geser F. 239, 246  
Gölling J.-U. 225  
Gröziner G. 187  
Guhr A. 247

### H

Haendler L. 103  
Ham U. 225  
Hammans M. 47  
Harm C. 103, 213, 220, 222  
Hartmann S. 64  
Harzmann S. 104  
Havenith A. 121  
Hefner A. 168  
Heinrich T. 90  
Henninger J. 26  
Herbold M. 228  
Hermann E. 247  
Herz K. 187  
Heuel-Fabianek B. 230  
Heule M. 221, 239  
Hill P. 64, 225  
Hoffmann F. 37  
Hohmann E. 103, 222  
Holz A. 64, 230, 240  
Hunziker M. 103

### I

Iwatschenko-Borho M. 241

## J

Jäggi M. 221, 239  
Jansen S. 242  
Jeschke P. 99, 211

## K

Kaden M. 131, 231, 242  
Kaps C. 12, 226  
Karcher A. 220  
Karcher A. 103, 222  
Karzewsky J.-L. 228  
Kasprzak M. 239, 246  
Kayar M. 229  
Kersting M. 193  
Klein C. 173  
Kloska J. 11, 12  
Koch F. 21  
Kogiomtzidis A. 262  
Köhler F. 221, 239  
Koletzko G. 81, 156  
Kormoll T. 26  
Kowe S. 179  
Kratzel U. 64  
Kraut B. 123  
Kraut W. 123  
Kreusch J. 37  
Kriehuber R. 117, 118  
Krischek R. 99  
Kröniger K. 25, 185  
Krüger S. 225  
Krupp M. 37  
Krycki K. 121  
Kühne G. 169  
Kümmerle E. 230  
Küppers C. 255

## L

Lange A. 107, 227  
Lange B. 85  
Langer F. 173  
Lee Jin-Ho 118  
Libonati G. 229  
Lieberz W. 64  
Löhnert D. 64  
Lopez Angele D. 246  
Lorenz A. 12  
Löscher S. 57  
Lünendonk G. 64, 230  
Lynnek O. 186  
Lynnyk E. 185

## M

Magoga F. 229  
Mandel M. 238  
Marcus W. 231  
Mascora F. 229  
Mayer S. 103, 104, 213, 220, 221, 232, 239, 246  
Mayr J. 145

Meisenberg O. 57, 64  
Mentzel F. 25  
Morawitz S. 225  
Muller F. 47

## N

Nackenhorst O. 25  
Nagels S. 220  
Neubauer L. 187

## O

Otto T. 161

## P

Palacios J. 90  
Palacios M. 89, 254  
Paterniti G. 229  
Pedrazzi L. 103, 104  
Pianski J. 90  
Piechotka J. 64, 168  
Pittaluga S. 229  
Port M. 75  
Pöttgen H. 193  
Pottgießer S. 238  
Premazzi P. 229  
Presilla S. 229  
Prüssmann S. 86

## R

Reidenbach H.-D. 156  
Reiners C. 75  
Rezzonico E. 229  
Riebe B. 238  
Rolle A. 15  
Rühm W. 168

## S

Sattler P. 263  
Scheibke J. 131  
Scheuermann F. 173  
Schiessel K. 211  
Schirmer A. 193  
Schmidt S. 135  
Schmitz S. 118  
Schneider M. 187  
Schober J. 225  
Scholl C. 64  
Schöne F. 179  
Schulte M. 185, 186  
Schulz K. 226  
Seifert S. 145  
Seipenbusch M. 232  
Semioshkina N. 240  
Simic V.-U. 229  
Sliz M. 239, 246  
Sokcic-Kostic M. 173  
Stacheder M. 37

Stadler J. 262  
Stalder C. 89  
Steege A. 226  
Steppert M. 228  
Stedtner R. 262  
Stig B. 231  
Stöhlker U. 145  
Storch D. 254  
Storch D. 89  
Stuhlfauth-Vonderau H. 64  
Stunder D. 199

## T

Tennstedt T. 91  
Thiel J. 228

## U

Ullrich F. 247  
Unverricht-Yeboah M. 117  
Ustohalova V. 255

## V

Vahlbruch J.-W. 227, 228  
Vincke H. 33  
Vogel M. 262  
Voigt G. 240  
Vojtyla P. 33  
Völkle H. 149, 168

## W

Waeber Y. 207  
Walbersloh J. 25, 185, 186  
Walter M. 131, 179  
Walter N. 103, 213, 220, 221, 222, 232, 239, 246  
Walther C. 141, 227, 238, 262  
Weingarten J. 25, 185  
Wendler M. 179  
Werner T. 26  
Werthmüller D. 246  
Widorski M. 33  
Wiedemeier M. 213  
Wille F. 15  
Wollny A. 199  
Wouters C. 103  
Wujec L. 228  
Wulff J. 199  
Wunnenberg A. 238

## Y

Yukihara E. 239

## Z

Zimmermann U. 21  
Zoriy M. 230, 240  
Zoubek N. 169  
Züllig J. 213, 232