ISSN 1013-4506

FS-2012-166-T

Fachverband für Strahlenschutz e. V.

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

Publikationsreihe FORTSCHRITTE IM STRAHLENSCHUTZ

Publication Series PROGRESS IN RADIATION PROTECTION

STRAHLENSCHUTZ FÜR DIE ZUKUNFT – DER FS UND SEINE ARBEITSKREISE

44. Jahrestagung des Fachverbandes für Strahlenschutz e. V.

17. bis 20. September 2012 Karlsruhe

Bandherausgeber:
Christian Wernli
Joachim Breckow
Gerhard Frank

STRAHLENSCHUTZ FÜR DIE ZUKUNFT – DER FS UND SEINE ARBEITSKREISE

44. Jahrestagung des
Fachverbandes für Strahlenschutz e.V.

ISSN 1013-4506 FS-2012-166-T

Fachverband für Strahlenschutz e. V.

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

Publikationsreihe FORTSCHRITTE IM STRAHLENSCHUTZ

Publication Series PROGRESS IN RADIATION PROTECTION

STRAHLENSCHUTZ FÜR DIE ZUKUNFT – DER FS UND SEINE ARBEITSKREISE

44. Jahrestagung des Fachverbandes für Strahlenschutz e. V.

17. bis 20. September 2012
Karlsruhe

Bandherausgeber:
Christian Wernli
Joachim Breckow
Gerhard Frank

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

Die Inhalte dieses Werkes wurden 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: 978-3-8249-1602-3

© by TÜV Media GmbH, TÜV Rheinland Group, Köln 2012
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 2012
Printed in Germany 2012

FS-Jahrestagung 2012 – Organisation

Tagungspräsident

Christian Wernli

Programmkomitee

Joachim Breckow, Vorsitz

Karl-Ludwig Stange (AKA)
Ingrid Weitzenfelder (AKB)
Frank Becker (AKD)
Jörg Feinhals (AKE)
Martina Froning (AKI)
Anna Leonardi (AKN)
Klaus Gehrcke (AKNat)
Hans-Dieter Reidenbach (AKNIR)
Rainer Ahlfänger (AKP)
Norbert Peinsipp (AKR)
Franz Fehringer (AKS)
Rolf Michel (AKSIGMA)
Susanne Severitt (AKSyS)
Thomas Steinkopff (AKU)

Organisationskomitee

Gerhard Frank, Vorsitz

Reinhart Giessing, Kassenwart
Manuel Madaric, Industrieausstellung
Susanne Severitt, Posterausstellung
Christoph Wilhelm, Internet

Tagungssekretariat

Doris Böhler
Karlsruher Institut für Technologie

Ausstellende Firmen

Der Fachverband für Strahlenschutz e. V. bedankt sich bei folgenden Firmen (in der Reihenfolge ihrer Anmeldung), die durch die Ausstellung ihrer Produkte zur fachlichen Bereicherung der Jahrestagung 2012 beitragen.

- Eckert & Ziegler Nuclitec GmbH
- Saphymo GmbH
- Automess GmbH
- Berthold Technologies GmbH & Co. KG
- FCI Frenzel Consulting & Instruments
- S. E. A. GmbH
- GRAETZ Strahlungsmeßtechnik GmbH
- FST Freiberger Sensortechnik
- NucTecSolutions GmbH
- ENVINET GmbH
- SARAD GmbH
- Ingenieurbüro Graffunder
- Thermo Fisher Scientific Messtechnik GmbH
- Mirion Technologies (RADOS) GmbH
- AMETEK GmbH
- GCTechnology GmbH
- Gamma-Service Recycling GmbH
- Polimaster Instruments UAB
- RAD PRO International GmbH
- Canberra GmbH
- Brenk Systemplanung GmbH
- Metalltechnik Halsbrücke GmbH & Co. KG
- Technisches Ingenieurbüro Krüger

Grußwort des

Tagungspräsidenten

Christian Wernli

Sehr geehrte Damen und Herren

Im Jahr 2016 wird der Fachverband für Strahlenschutz (FS) sein 50-Jahr Jubiläum feiern können. Wir wollen dazu beitragen, den FS als fortschrittlichen, erfolgreichen und weitherum anerkannten Verband 50-jährig werden zu lassen. Und zudem soll er zuversichtlich in die Zukunft blicken können. Schon heute ist der FS in sehr guter Verfassung und braucht eine kritische Hinterfragung nicht zu scheuen. Die diesjährige Tagung soll uns aber die Möglichkeit geben, das Bisherige zu überdenken und neue Ideen einzubringen.

Wir sind mit dem Tagungskonzept 2012 einige Risiken eingegangen. Es war nicht ganz einfach, die vielfältigen Arbeitskreise (AKs) zu einer gemeinsamen Veranstaltung zu bündeln. Aber wenn wir vom FS sprechen, dann meinen wir primär die Arbeitskreise. Sie stellen das Kernstück der FS-Tätigkeiten dar, und deshalb war es unabdingbar, für einmal alle AKs beisammen zusammen zu haben, um über den FS und seine Zukunft sprechen zu können. Nur dank großer Flexibilität und Bereitschaft zur Zusammenarbeit aller AK-Sekretäre ist es gelungen, alle zusammenzubringen.

An dieser Stelle geht mein Dank an alle FS Mitglieder, die bisher aktiv zum guten Gedeihen der AKs beigetragen haben, noch heute beitragen oder dies in Zukunft tun werden. Sie gehören zu den zentralen Stützen des Verbandes. Ich bin überzeugt, dass wir mit dieser Tagung viel gemeinsame Erfahrung in die Planung der Zukunft des FS einbringen können. Ich danke deshalb den Kolleginnen und Kollegen im Organisations- und Programmkomitee für die ausgezeichnete Arbeit bei der Planung, Vorbereitung und Durchführung der Tagung.

Ein besonderer Dank gebührt auch dem KIT, das uns hier geeignete Räumlichkeiten und gute Arbeitsbedingungen bietet. Am Schluss, aber nicht weniger herzlich, danke ich auch allen Teilnehmenden der AK-Sitzungen, der Plenarveranstaltungen, der Industrie- und Posterausstellung sowie der für das Leben eines Verbandes so wichtigen persönlichen Gespräche.

Ich wünsche allen eine erfolgreiche Jahrestagung 2012.

Christian Wernli
Tagungspräsident

Grußwort des

Präsidenten des
Fachverbands für Strahlenschutz

Prof. Dr. Joachim Breckow

Wie soll der Strahlenschutz, wie soll der Fachverband für Strahlenschutz in Zukunft aussehen? Kommen neue oder andersartige Aufgaben auf ihn zu? Wenn ja, welche? Oder entfallen künftig gar Aufgaben? Was sind die Anforderungen und Erwartungen der Mitglieder an die Organisationsstruktur des Fachverbands? Ist sie auch den künftigen Anforderungen noch angemessen? Muss sich der Fachverband neu organisieren, muss er sich neu orientieren und positionieren? Welchen Herausforderungen muss er sich stellen? Wo sieht er seine Rolle im gesellschaftlichen Kontext? Welche Ressourcen stehen unserem ehrenamtlich getragenen Verband zur Verfügung? Sind sie ausreichend und den gesteckten Zielen angemessen?

Fragezeichen über Fragezeichen. Aber wir werden uns bei der diesjährigen Jahrestagung des Fachverbands diesen vielen Fragen intensiv widmen und versuchen, Antworten zu formulieren. Eine vorab durchgeführte Fragebogenaktion unter all unseren Mitgliedern hat dies vorbereitet. Die vielen Meinungen und Vorschläge zeigen die erfreulich rege Anteilnahme und Mitarbeit. Nun gilt es, im Rahmen dieser Tagung alle Beiträge hierzu zusammenzutragen und zu sichten. Wir wollen daraus Handlungsvorstellungen entwickeln, diese auf ihre Umsetzbarkeit prüfen und ausführlich diskutieren.

Wir stellen uns und unseren Verband mit seiner Rolle und seinen Fragestellungen auf den Prüfstand. Alle Mitglieder sind aufgerufen, ihren -unseren- Fachverband für Strahlenschutz so zu gestalten, dass er für uns eine unverzichtbare Basis für ein effektives Arbeiten im Strahlenschutz darstellt. Darüber hinaus wollen wir aber auch eine starke und unüberhörbare Stimme sein in der Auseinandersetzung um die Konzepte und deren Umsetzung im Strahlenschutz. Wir wollen einen Strahlenschutz, der seiner gesellschaftlichen Funktion gerecht wird, der praktikabel ist, der Akzeptanz findet, der den Nutzen von Strahlenanwendungen und den notwendigen Schutz vor schädlichen Wirkungen in der öffentlichen Wahrnehmung in eine angemessene Balance bringt.

Joachim Breckow
Präsident des Fachverbands für Strahlenschutz

Grußwort des

Präsidiums des
Karlsruher Instituts für Technologie (KIT)

Dr. Peter Fritz
Vizepräsident des KIT

Sehr geehrte Damen und Herren,

im Namen des Präsidiums des Karlsruher Instituts für Technologie freue ich mich, Sie zur Jahrestagung des Fachverbandes Strahlenschutz am KIT begrüßen zu können.

Das Thema „Strahlenschutz für die Zukunft“ ist in der jetzigen Zeit vielleicht wichtiger denn je. Die Ereignisse 2011 in Japan um Fukushima, ausgelöst durch ein schweres Erdbeben und einen verheerenden Tsunami haben den Blick der Bevölkerung in Richtung Radioaktivität und Strahlenschutz geschärft und vielerorts zu Verunsicherung oder gar Ängsten geführt. Diese Ängste haben schließlich zu den bekannten Änderungen in der Energiepolitik geführt. Letzteres ist zweifelsohne durch einen demokratischen Prozess herbeigeführt worden und verdient somit uneingeschränkten Respekt. Verunsicherung und Ängste sind allerdings Faktoren, die unserer Gesellschaft nicht zuträglich sind, und die in erster Linie durch mangelndes Verständnis verursacht werden. Zu den Aufgaben der Wissenschaft gehört neben Forschung und Lehre deshalb auch, die Bevölkerung in Bezug auf angewandte Technologien fachkundig und objektiv sowohl über die damit verbundenen Chancen als auch über die Gefahren zu informieren.

In diesem Zusammenhang wäre es falsch, das Thema Strahlenschutz nur auf die Kerntechnik zu reduzieren. Wenngleich gesellschaftlich weniger im Fokus, sind Strahlenexpositionen in der Medizin radiologisch viel bedeutsamer, viele Diagnose- und Behandlungsmethoden wäre ohne ionisierende Strahlung nicht möglich. Darüber hinaus sind Anwendungen dieser Strahlung in Forschung, Technik und Industrie keineswegs rückläufig sondern finden immer breiteren Einsatz. Nicht zuletzt deshalb ist die Weiterentwicklung der Erkenntnisse auf diesen Gebieten von entscheidender Bedeutung für die sichere Anwendung. Diese Weiterentwicklung muss deshalb deutlich über die reine Erhaltung der vorhandenen Kompetenz hinausgehen.

Mit der Gründung des KIT mit einer Doppelmission als Universität und nationales Forschungszentrum haben wir in Karlsruhe unseren Weg in die Zukunft vorgezeichnet. Wir verfolgen beispielsweise alle für die zukünftige weltweite Energieversorgung relevanten Themen. Dies reicht vom breiten Einsatz Erneuerbarer Energien bis zur Fusionstechnologie als Zukunftsvision. In diesem Sinne nehmen wir unsere Verantwortung für die Vorsorgeforschung sehr ernst, der Strahlenschutz gehört untrennbar dazu und wir werden gerne unseren Beitrag leisten.

Wir wünschen dem Fachverband für Strahlenschutz viel Erfolg.

Dr. Peter Fritz
Vizepräsident des KIT

Plenarprogramm

AKN	**Lehren aus Fukushima**	Anna Leonardi
AKNat	**Was machen wir mit Radon in Gebäuden?**	Klaus Gehrcke
AKP	**Radioaktivität in der Schweizer Armee?**	Markus Zürcher
AKS	**Wie schließen wir die Lücke zwischen Strahlenbiologie und Strahlenepidemiologie?**	Wolfgang-Ulrich Müller
AKI	**Wahre Dosis kommt von innen – Neue Rechenmodelle für interne Dosimetrie**	Bastian Breustedt, Wolfgang Eschner, Dietmar Noßke
AKSIGMA	**Unsicherheiten und charakteristische Grenzen: Wie können wir mit Unsicherheiten leben?**	Rolf Michel
KKSyS	**Strahlenschutz trifft Arbeitsschutz**	Tomi Sobetzko Susanne Severitt
AKU	**Nutzen der Umweltüberwachung für den Strahlenschutz**	Hansruedi Völkle
AKR	**Was bringen die Änderungen von StrlSchV und RöV Neues?**	Norbert Peinsipp, Reinhard Giessing
AKB	**Es rollt nicht nur der Castor**	Ingrid Weitzenfelder
AKA	**Strahlenschutzausbildung in Europa**	Jan-Willem Vahlbruch
AKE	**Lessons learnt: Morsleben, Asse, Konrad**	Michael Sailer
AKD	**Umgebungsüberwachung und Ortsdosimetrie**	Stefan Neumaier
AKNIR	**Gefährdungen des Luft, Schienen- und Straßenverkehrs durch Laserpointer**	Hans-Dieter Reidenbach

Der wissenschaftliche Inhalt der einzelnen Beiträge zu diesem Tagungsbericht liegt in der alleinigen Verantwortung der Autoren. Eine inhaltliche Bearbeitung der eingereichten Texte wurde von den Herausgebern nicht vorgenommen.

Plenarbeiträge

WAS MACHEN WIR MIT RADON IN WOHNGEBÄUDEN? 3
K. Gehrcke

RADIOAKTIVITÄT IN DER SCHWEIZER ARMEE? 9
M. Zürcher

WIE SCHLIESSEN WIR DIE LÜCKE ZWISCHEN STRAHLEN-BIOLOGIE UND STRAHLENEPIDEMIOLOGIE? 13
W.-U. Müller

WAHRE DOSIS KOMMT VON INNEN – RECHENMODELLE FÜR INTERNE DOSIMETRIE 17
B. Breustedt, W. Eschner, D. Nosske

WIE KÖNNEN WIR MIT UNSICHERHEITEN LEBEN? 30
R. Michel

NUTZEN DER UMWELTÜBERWACHUNG FÜR DEN STRAHLEN-SCHUTZ 42
H. Völkle

WAS BRINGT DIE ÄNDERUNG DER RÖNTGENVERORDNUNG NEUES? 54
R. Giessing

STRAHLENSCHUTZAUSBILDUNG IN EUROPA 62
J.-W. Vahlbruch, S.-G. Jahn

GEFÄHRDUNG DES LUFT-, SCHIENEN- UND STRASSENVERKEHRS DURCH LASERPOINTER 74
H.-D. Reidenbach

ARBEITSSCHUTZ TRIFFT STRAHLENSCHUTZ 99
S. Severitt, T. Sobetzko, J. Oehm, M. Kloth

Posterbeiträge

MODELLIERUNG DER SYSTEMEIGENSCHAFTEN VON WOHNRÄUMEN BZGL. LUFTWECHSELRATEN UND RADONKONZENTRATIONEN 107
F. A. Rößler, V. Ehret, H. Hingmann, T. Azzam Jai, T. Orovwighose, N. Jach, T. Schanze, J. Breckow

SYSTEMTHEORETISCHER ANSATZ FÜR EIN REKONSTRUKTIONSVERFAHREN ZUR ERMITTLUNG VON LUFTWECHSELRATEN AUS MESSDATEN ZUR RADONAKTIVITÄTSKONZENTRATION 113
T. Azzam Jai, F. A. Rößler, V. Ehret, H. Hingmann, T. Orovwighose, N. Jach, T. Schanze, J. Breckow

QUALITÄTSSICHERUNG IN DER AUSSCHEIDUNGSANALYTIK 119
M. Froning, U. Gerstmann, M. Hartmann, M. Zoriy

EINE FALLSTUDIE ZUR INTERNEN DOSIMETRIE NACH INHALATION VON UF_6 124
M. Froning, P. Hill

DIE AMTLICH ANERKANNTE INKORPORATIONSMESSSTELLE JÜLICH 130
M. Froning, P. Hill, M. Schläger, M. Zoriy

CS-137-KÖRPERAKTIVITÄT („KARLSRUHER REFERENZGRUPPE“) 136
U. Mohr, N. Biegard, G. Cordes, B. Breustedt

INKORPORATIONSÜBERWACHUNG IN DER BEHÖRDLICH BESTIMMTEN MESSSTELLE FÜR AUSSCHEIDUNGSANALYTIK (IN-VITRO-MESSSTELLE) DER LÄNDER BADEN-WÜRTTEMBERG UND HESSEN 140
H. Stuhlfauth-Vonderau, G. Spittel

VON DER BERUFSAKADEMIE (1977) ZUR DUALEN HOCHSCHULE BADEN-WÜRTTEMBERG (2012): SEIT 35 JAHREN ERFOLGREICHE DUALE AUSBILDUNG VON STRAHLENSCHUTZINGENIEUREN IN KARLSRUHE 143
J. Erb, W. Kraut, W. Schwarz

VALIDIERUNG DES VERFAHRENS ZUR C-14-FORTLUFTÜBERWACHUNG AM KIT (KARLSRUHER INSTITUT FÜR TECHNOLOGIE) 150
S. Nees, C. Greul, P. Steinbach, U. Hoeppener-Kramar

ENTWICKLUNG UND EINRICHTUNG EINES NEUEN AUF HPGE-DETEKTOREN BASIERTEN KÖRPERZÄHLERS, DER AUCH NIEDERENERGETISCHE PHOTONENSTRAHLER DETEKTIEREN KANN 152
O. Marzocchi, D. Mostacci, M. Urban, B. Breustedt

BESTIMMUNG VON ORGANDOSEN AUS SELBSTBERICHTETEN RETROSPEKTIVEN DATEN ZUR MEDIZINISCHEN STRAHLENEXPOSITION 156
A. Ningo, S. Pöttgen, F. Samkange-Zeeb, H. Merzenich, N. Obi, H. Zeeb, M. Fiebich, J. Breckow

MULTIKOLLEKTOR-MASSENSPEKTROMETRIE MIT INDUKTIV GEKOPPELTEM PLASMA – ALS EINE METHODE FÜR DIE RADIONUKLIDBESTIMMUNG IN sub-mbq-AKTIVITÄTSBEREICH 162
M. V. Zoriy, M. Burow, P. Hill, R. Lennartz

DIE STRAHLENMESSSTELLE DES LIA.NRW 168
C. Scholl, W. Lieberz, A. Vetter, K. Wunschik, T. Rack, S. Blinda, T. de Boer, K. Große-Klußmann, J. Langwald, B. Zipper

AUTOMATISIERTES SCHNELLVERFAHREN ZUR BESTIMMUNG VON NI-63 IN RÜCKBAU- UND UMWELTPROBEN 169
M. Bach, R. Flucht, M. Burow, M. V. Zoriy

ENTWICKLUNG EINES PORTABLEN, AUTOMATISIERTEN SYSTEMS FÜR DIE TRENNUNG VON RADIONUKLIDEN MITTELS SÄULENCHROMATOGRAPHIE 174
C. Schumacher, M. Burow, R. Flucht, P. Hill, M. Zoriy

Autorenverzeichnis 181

Plenarbeiträge

WAS MACHEN WIR MIT RADON IN WOHNGEBÄUDEN?

WHAT ARE WE GOING TO DO WITH RADON IN DWELLINGS?

K. Gehrcke

Bundesamt für Strahlenschutz, Deutschland

Zusammenfassung
Dieser Beitrag gibt einen Überblick über einige wichtige Anforderungen, die sich in Sachen Schutz vor erhöhten Radonexpositionen in Wohngebäuden aus der bevorstehenden Aufnahme dieser Exposition in den Regelungsbereich der EU-Grundnormenrichtlinie ergeben werden. Es werden offene Probleme in Deutschland und mögliche Beiträge des Fachverbandes für Strahlenschutz zu deren Lösung diskutiert.

Summary
This contribution gives a survey about some major requirements concerning exposures from radon in dwellings as resulting from the planned enclosure of this kind of exposure in the new EU basic safety standards. Some open questions in Germany and the possible contribution of the Fachverband für Strahlenschutz to their solution are discussed.

Schlüsselwörter *—Radon, Wohnräume, EU-Grundnormenrichtlinie*
Keywords *—Radon, dwellings, EU-Basic Safety Standards*

1. Einleitung

Die wichtigsten Ergebnisse der epidemiologischen Studien [1, 2, 3], die einen Zusammenhang zwischen erhöhten Radonkonzentrationen in Wohnräumen und erhöhten Lungenkrebswahrscheinlichkeiten ihrer Bewohner bei langjährigem Aufenthalt nachgewiesen haben, sind heute in der Fachwelt überwiegend anerkannt.
In der Konsequenz hat eine Reihe internationaler Organisationen neue oder aktualisierte Empfehlungen zum Schutz der Bevölkerung gegen erhöhte Radonexpositionen in Wohnräumen herausgegeben, zum Beispiel [4, 5]. Nach dem Vorschlag für eine Richtlinie zur Festlegung der grundlegenden Sicherheitsnormen für den Schutz vor den Gefahren einer Exposition gegenüber ionisierender Strahlung vom September 2011 [6] (nachfolgend EU-Grundnormenrichtlinie genannt), über den derzeit verhandelt wird, werden künftig für Europa erstmals verbindliche Regelungen für Radon in Wohnräumen festgelegt. Dazu zählen Maximalwerte für die Definition von Referenzwerten in den Mitgliedstaaten (200 Bq/m³ für Neubauten und 300 Bq/m³ für Altbauten) und einer Reihe von Anforderungen zur Durchsetzung dieser Schutzziele.
Im Arbeitskreis Natürliche Radioaktivität (AKNat) des Fachverbandes hat es in den vergangenen 20 Jahren kaum eine Sitzung gegeben, in der das Thema Radon und speziell auch das Thema Radon in Wohnräumen nicht mit auf der Tagesordnung gestanden hätte. Mehr als ein Viertel der in diesem Zeitraum behandelten fachlichen Themen hatte zumindest mittelbar damit zu tun. Das Spektrum reicht von Messanleitungen bis zu Stellungnahmen zu den Empfehlungen der genannten internationalen Organisationen oder auch zu dem Entwurf für ein deutsches Radonschutzgesetz. Dieses ist 2005 aus politischen Gründen gescheitert.

Die Bedeutung des Themas wird in den kommenden Jahren angesichts der dargestellten Entwicklungen auf EU-Ebene, der notwendigen Implementierung der Anforderungen in deutsches Recht und der sich anschließenden Umsetzung in die Praxis noch zunehmen. Zur Etablierung eines effizienten und angemessenen Radonschutzes wird letztlich ein ganzes Bündel von Maßnahmen auf verschiedenen Ebenen nötig sein. Der Entwurf der EU-Grundnormenrichtlinie fordert dazu von den Mitgliedsstaaten die Aufstellung eines Maßnahmeplans und liefert in Anlage XVI eine Liste von Anhaltspunkten, welche Aspekte bei dessen Aufstellung berücksichtigt werden sollen.

In diesem Beitrag werden, die Doppeldeutigkeit seines Titels ‚Was machen wir mit Radon in Gebäuden' und das Motto der Tagung ‚Strahlenschutz für die Zukunft' aufgreifend, einige wichtige Aufgaben aus der ‚indikativen Liste' des Anhangs XVI vorgestellt, der Stand in Deutschland reflektiert und abschließend die mögliche Rolle des Fachverbandes bei der Diskussion und Umsetzung einer adäquaten Schutzstrategie diskutiert.

2. Einige Aufgaben im Rahmen eines Radon Aktionsplanes

Die folgende Auswahl aus insgesamt 12 Punkten der ‚indikativen Liste' erfolgte unter den Gesichtspunkten des Radonschutzes in Wohnräumen (der Entwurf der neuen EU-Grundnormenrichtlinie enthält auch Regelungen für Arbeitsplätze und öffentlich zugängliche Gebäude).

Strategie für die Durchführung von Erhebungen zu Radonkonzentrationen in Gebäuden, für den Umgang mit Messdaten (nationale Radon-Datenbank) und für die Aufstellung sonstiger Parameter (Boden- oder Gesteinsarten, Bodengaskonzentration, Durchlässigkeit und Gehalt an Ra-226 in Gestein und Boden).
Erhebungen der Radonkonzentration in Wohnräumen sind in den zurückliegenden Jahrzehnten in der Bundesrepublik im Rahmen verschiedener Projekte bereits in größerem Umfang durchgeführt worden. In der im Rahmen eines Forschungsvorhabens für das Bundesamt für Strahlenschutz (BfS) entwickelten und jetzt von ihm geführten ‚Bundeseinheitlichen Datei Radon in Gebäuden (BuRG)' sind insgesamt ca. 65.000 Datensätze zu Radon in 27.000 Gebäuden erfasst. Das Prädikat ‚bundeseinheitlich', stellt allerdings noch eine Vorwegnahme des vom BfS angestrebten Ziels dar, dieses Instrument künftig für möglichst viele Daten in der Bundesrepublik als Ganzes zu nutzen. Die Vokabel ‚Datei' hingegen ist eine Untertreibung, denn es handelt sich um eine Datenbank mit einer Vielzahl von Funktionalitäten, unter anderem zur Unterstützung der Vorbereitung und Durchführung einschlägiger Messprogramme. Die Datenbank ist technisch dafür vorbereitet, über das Internet genutzt zu werden. Von verschiedenen Bundesländern wurde bereits Interesse daran geäußert.

Verfügbare Daten und Kriterien für die Abgrenzung radongefährdeter Gebiete oder die Ermittlung radongefährdeter Gebäude
Radongefährdete Gebiete sind in der neuen EU-Grundnormenrichtlinie definiert als geografische Bereiche oder Verwaltungsregionen, innerhalb derer der Prozentsatz an Wohnräumen, die die nationalen Referenzwerte voraussichtlich überschreiten, beträchtlich höher ist als in anderen Teilen des Landes.
Kaum eines der Themen im Zusammenhang mit dem Schutz vor erhöhten Radonexpositionen in Wohnräumen wurde und wird bisher so kontrovers diskutiert wie die radongefährdeten Gebiete und, damit in Zusammenhang stehend, deren kartografische Darstellung. Diskutiert wird über alles: darüber, was überhaupt dargestellt werden soll und kann (Radon in der

Bodenluft, Radon in der Raumluft, Wahrscheinlichkeit der Überschreitung von Referenzwerten), auf welche Weise dies geschieht (Karte mit geologischen Grenzen, Verwaltungsgrenzen, mehrfarbig, einfarbig, Ton in Ton, mit scharfen Klassengrenzen oder gleitenden Übergängen etc.).
Die treibenden Kräfte der Diskussion sind auf der einen Seite die Einsicht in die Existenz des Gesundheitsrisikos und die damit verbundene Notwendigkeit der Aufklärung, verbunden mit dem Bestreben nach einer regionalen Eingrenzung des Problems im Sinne des wirtschaftlichen Einsatzes von Ressourcen, auf der anderen Seite eine Reihe noch offener fachlicher Fragen, aber auch die von einigen befürchtete Gefahr der Stigmatisierung ganzer Regionen.

Die Diskussion wird dadurch erschwert, wenn nicht gar mit verursacht, dass die Bedeutung der radongefährdeten Gebiete noch gar nicht klar ist, solange es an einer Strategie für die Umsetzung der zu erwartenden europäischen Regelungen in Deutschland fehlt. Dafür sind radongefährdete Gebiete letztlich nur ein Hilfsmittel. Es ist ein Unterschied, ob zum Beispiel in radongefährdeten Gebieten lediglich verstärkte Aufklärungsmaßnahmen betrieben werden, oder im anderen Extrem Überschreitungen von Referenzwerten mit Strafen belegt werden. Dies sind natürlich konstruierte Fälle. Der eine Ansatz wäre völlig unzureichend, der andere unrealistisch und überzogen. Sie illustrieren aber das Problem.
Radonkarten gibt es im Übrigen für Deutschland schon, zum Beispiel (als Bodenluftkarte) beim BfS [7] und, inzwischen in mehreren Versionen, im Freistaat Sachsen [8], davon abgesehen in einer Reihe von anderen Ländern.

Strategie für die Verringerung der Radon-Exposition in Wohnräumen, insbesondere in radongefährdeten Gebieten
Die zuvor diskutierten radongefährdeten Gebiete (es sei einmal dahingestellt, ob diese deutsche Übersetzung des englischen ‚radon-prone area' glücklich gewählt ist) stellen ein Instrument dar, mit dessen Hilfe Maßnahmen zur Verringerung (bestehende Gebäude) oder auch zur Vermeidung (Neubauten) erhöhter Radonkonzentrationen in Wohnräumen regional gesteuert werden können. Zu den Neubauten sei auf den nächsten Abschnitt verwiesen. Auch bei bestehenden Gebäuden wird ein ganzes Bündel von Maßnahmen nötig sein, um einen sinnvollen und angemessenen Schutz zu etablieren. Was ganz sicher nicht dazu gehören wird, ist das in manchen Diskussionen heraufbeschworene Schreckgespenst des Radonschnüfflers, der von Haus zu Haus zieht, sich Kraft seines Amtes Zugang verschafft (das ist in Deutschland – zum Glück – rechtlich gar nicht möglich), Radonmessungen erzwingt und gegebenenfalls Sanierungsmaßnahmen anordnet, die den Besitzer in den wirtschaftlichen Ruin treiben.

Was dagegen sehr wohl möglich ist, ist die Förderung von Maßnahmen zur Aufklärung und Information (Internet, Radoninfostellen …), gegebenenfalls staatlich geförderte Mess- und Sanierungsprogramme, die (freiwillige oder obligatorische) Angabe der Radonkonzentration bei Hausverkäufen oder Neuvermietungen (beispielsweise in den USA längst üblich – die Immobilienkrise dort hatte aber bekanntlich andere Ursachen) und / oder die Vergabe von Gütesiegeln bei deutlichen Unterschreitungen des Referenzwertes, und komplementär dazu, zum Beispiel ein außerordentliches Kündigungsrecht oder Mietminderungen bei Überschreitungen des Referenzwertes. (das Mietrecht liefert offenbar bereits heute eine ausreichende Handhabe dafür, wie erste Gerichtsverfahren zeigen – was fehlt, ist ein verbindlicher Bewertungsmaßstab), die Entwicklung / Weiterentwicklung intelligenter Sanierungsmethoden usw. Schaut man sich den Entwurf der neuen EU-Grundnormenrichtlinie an, so liest man in Artikel. 74 2. (a), die Mitgliedstaaten sollen im Falle von Überschreitungen des festgelegten Referenzwertes dazu *anregen, Maßnahmen zur Verringerung der Radonwerte in solchen*

Wohnräumen zu treffen. Die hier skizzierten Maßnahmen könnten aus Sicht des Autors Schritte zur Umsetzung dieser eher moderaten Anforderung sein.

Strategie, darunter Methoden und Instrumente, zur Verhinderung des Radon-Eintritts in neue Gebäude, einschließlich der Ermittlung von Baumaterialien mit besonderer Radonexhalation
Vorbeugen ist besser als Heilen – diese Volksweisheit gilt auch für den Radonschutz. Beim Neubau von Häusern hat man eine Reihe von Möglichkeiten, vorbeugenden Radonschutz zu betreiben, die naturgemäß bei bestehenden Gebäuden nicht oder nur mir großem Aufwand umzusetzen sind. Abgesehen davon, dass die heute ohnehin üblichen Bauweisen mit einer durchgehenden Bodenplatte von vornherein einen besseren Schutz vor dem Eindringen des Radons in ein Gebäude bieten, bestehen die wesentlichen zusätzlichen Schutzmöglichkeiten in dem Einzug von Radon-Dämmfolien, der sorgfältigen Abdichtung von Ver- und Entsorgungsleitungen durch die Gebäudehülle im erdberührenden Bereich (die Hauptquelle signifikant erhöhter Radonkonzentrationen in Wohnräumen ist der konvektive Transport durch Risse und sonstige, in der Regel kleinere, Durchlässigkeiten) sowie dem prophylaktischen Einbau so genannter Radonsümpfe. Diese unter der Bodenplatte befindlichen Drainagesysteme gestatten das (aktive oder passive) Absaugen radonhaltiger Luft bereits unterhalb des eigentlichen Gebäudes, siehe zum Beispiel [9]. In einer Reihe von europäischen Ländern (z.B. in Irland) sind solche Maßnahmen in radongefährdeten Gebieten inzwischen Standard. In Deutschland gibt es noch nichts Vergleichbares (wie es auch noch keine ‚radongefährdeten Gebiete' gibt, s. o.), aber es gibt erste Initiativen [10] in diese Richtung. Generell ist es Konsens, dass der Radonschutz bei Neubauten auf dem Wege der Definition und Umsetzung entsprechender technologischer Standards erfolgen kann und muss. Dazu gehört dann unter anderem auch ein System der Aus- und Weiterbildung von Architekten, Bauingenieuren und Handwerkern. Auch hierfür gibt es erste Initiativen in Deutschland.

Nach dem Entwurf der neuen EU-Grundnormenrichtlinie sollen die Mitgliedstaaten im Rahmen des Radon-Aktionsplanes auch Baumaterialien mit bedeutender Radonexhalation identifizieren. Nach Untersuchungen des BfS spielt die Exhalation von Radon aus Baustoffen in Deutschland im Allgemeinen keine große Rolle. Orientiert man sich an dem von der WHO und auch vom BMU und BfS empfohlenen Zielwert von 100 Bq/m³ für die Radonkonzentration in Wohnräumen, so liegen die Beiträge von Baustoffen in der Mehrzahl deutlich unterhalb von 20 % dieses Wertes [12]. Unklar ist, inwieweit dies eine Folge der seit der StrlSchV von 2001 bestehenden Restriktionen bei der Verwendung von NORM-Stoffen als Zuschlagstoff zu Baumaterialien ist und ob sich die Situation bei Verwendung anderer als der aktuell genutzten Rohstoffe (z.B. Tone) anders darstellen würde. Auch konnten Betone, die das Potenzial haben, höhere Werte zu verursachen, nicht repräsentativ untersucht werden. Deshalb scheinen Begrenzungen der Radonexhalation aus Baustoffen sinnvoll. Das gilt auch deshalb, weil heute, insbesondere im Zusammenhang mit Energiesparmaßnahmen, ein Trend zur Verringerung der Luftwechselraten in Wohnräumen zu verzeichnen ist. Die Luftwechselrate verhält sich reziprok zur Radonkonzentration in Innenräumen.

Gegebenenfalls Leitlinien für Messmethoden und -instrumente sowie Abhilfemaßnahmen, insbesondere für private Wohnräume mit sehr hohen Radonkonzentrationen.
Die Radonkonzentration in Wohnräumen hängt neben dem Radondargebot des Gebäudeuntergrundes und den Eigenschaften des Gebäudes ganz entscheidend auch von den Nutzungsgewohnheiten (insbesondere dem Lüftungsverhalten) seiner Bewohner und von den meteorologischen Gegebenheiten ab. Selbst im Idealfall von Einjahresmessungen, bei denen zumindest über einen Teil dieser Effekte gemittelt wird, ist eine Nutzungs- und Witterungsabhängigkeit der Radonkonzentrationen zu verzeichnen. Kürzere Messzeiten (z.B. bei

geplanten Hausverkäufen) und Messunsicherheiten der verwendeten Messgeräte verschärfen das Problem. Die geforderten Leitlinien für Messmethoden und -instrumente werden deshalb dringend benötigt, insbesondere dann, wenn die Messwerte von juristischer Relevanz sein können (siehe oben). Dann muss auch Missbrauch (Manipulation der Luftwechselrate) möglichst ausgeschlossen werden. Abgesehen von der Qualitätssicherung der einzelnen Messung kommt also der Frage der Repräsentativität und gegebenenfalls auch der Validität der gemessenen Werte eine große Bedeutung zu.
Einige Empfehlungen zur Messung sind bereits in [9] enthalten. Sie müssen dringend weiter qualifiziert werden.

3. Was kann der Fachverband tun?

Die Durchsetzung eines effektiven, angemessenen Schutzes der Bevölkerung vor erhöhten Expositionen durch Radon in Wohnräumen ist in einem im Strahlenschutz sonst nicht üblichen Maß auf das Zusammenwirken einer Vielzahl von Beteiligten und auf die Aufklärung der Bevölkerung angewiesen. Wenn es gelingt, dies in der Praxis umzusetzen, ist Radonschutz ohne ungebührliche Belastungen für den Einzelnen und für die Gesellschaft als Ganzes machbar. Der Fachverband für Strahlenschutz ist einer der Beteiligten und kann gerade bei der Aufklärung der Bevölkerung viel beitragen, wofür sich natürlich auch und vor allem das Internet anbietet. Im AKNat wird derzeit beispielsweise eine Informationsschrift über Radonkarten vorbereitet, die dazu beitragen soll, die – wie beschrieben – teils sehr emotional geführten Diskussionen um dieses Thema zu versachlichen. Der Arbeitskreis hat sich auch dem Thema ‚Messprotokoll' (vgl. den letzen Absatz von Abschnitt 2) zugewandt. Hier liegen bei einer Reihe von Mitgliedern des Arbeitskreises umfangreiche Erfahrungen vor. Eine letztlich von allen Beteiligten akzeptierte Empfehlung erfordert aber eine Zusammenarbeit mit anderen Experten, insbesondere auch mit dem BfS.

Aus den vorstehenden Abschnitten sollte deutlich geworden sein, dass eine wichtige Voraussetzung für eine sachliche Diskussion um den Radonschutz ein Konzept ist, wie die zu erwartenden Regelungen der neuen EU-Grundnormenrichtlinie in Deutschland umgesetzt werden können. Dies ist natürlich nicht die Aufgabe des Fachverbandes, aber er kann und wird sich sicher in die Diskussion mit einbringen. Das ist eine seiner originären Aufgaben. Daneben ist und bleibt der Verband natürlich auch und vor allem ein Forum für den Erfahrungs- und Meinungsaustausch der Mitglieder. Dies hat sich über Jahrzehnte bewährt und wird wohl auch in der Zukunft eine seiner Hauptaufgaben bleiben.

4. Danksagung

Der Autor dankt Herrn Dr. W. Meyer vom Bundesamt für Strahlenschutz für die kritische Durchsicht des Manuskripts und eine Reihe wertvoller Hinweise.

5. Literaturverzeichnis

[1] Darby, S. et al.: Residential radon and lung cancer risk: a collaborative analysis of individual data from 13 European case-control studies, BMJ, 330:223-227, 2005

[2] Krewsky, D. et al.: Residential radon and risk of lung cancer. A combined analysis of seven North American case-control studies, Epidemiology, 16:137-145, 2005

[3] Lubin, J. H. et al.: Risk of lung cancer an residential radon in China: pooled results of two studies, Int. J. Cancer, 109:132-137, 2004

[4] WHO: WHO Handbook on Indoor Radon. World Health Organization, 2009

[5] IAEA: International Basic Safety Standards for Protection Against Ionizing Radiation and for the Safety of Radiation Sources, 2011

[6] http://ec.europa.eu/energy/nuclear/radiation_protection/doc/com_2011_0593.pdf

[7] http://www.bfs.de/de/ion/radon/radon_boden/radonkarte.gif

[8] http://www.umwelt.sachsen.de/umwelt/strahlenschutz/3331.htm

[9] Radon-Handbuch Deutschland (herausgegeben durch BMU / BfS), 2001, Hinweise zum Bezug unter http://www.bfs.de/de/ion/radon/massnahmen_radon.html

[10] http://www2.htw-dresden.de/~Radon/kora/start.htm

[11] Hoffmann, B.: Baustoffe und Radioaktivität – Neue Rechtsregelungen zu einem alten Thema, Strahlenschutzpraxis Heft 2/2012.

RADIOAKTIVITÄT IN DER SCHWEIZER ARMEE?

RADIOACTIVITY IN THE SWISS ARMY?

Markus Zürcher

Kompetenzzentrum Strahlenschutz VBS, BABS-LABOR SPIEZ, Schweiz

Zusammenfassung *— In der Schweizer Armee wie auch in jeder anderen Armee kommen in bestimmten Systemen radioaktive Stoffe zum Einsatz. Diese werden hauptsächlich in Form von Leuchtquellen eingesetzt, welche die sogenannte „Nachtkampftauglichkeit" sicherstellen. Radioaktive Stoffe wurden ab dem 2. Weltkrieg in grösseren Mengen als Leuchtfarbe (Radium-226) in Instrumenten, Strichmarkierungen und Beleuchtungspunkten verwendet. Durch die grossen Strahlenschutzprobleme des Radiums wurden die Leuchtfarben immer mehr durch die Leuchtquellen (H-3, Beta-Light) verdrängt, welche heute meistens gasförmig und als dicht abgeschlossene Quellen im Einsatz sind. Durch die Erhaltung von historischem Armeematerial bleibt uns leider auch das Radium erhalten. Museen und Sammler werden auf diese Problematik sensibilisiert und durch das VBS unterstützt, um unsachgemässem Umgang und illegalen Entsorgungen entgegen zu wirken.*
Die Schweizer Armee setzt immer mehr auf Einsatzmittel, welche ohne radioaktive Stoffe versehen sind (z.B. Kompass) und vereinfacht damit den zukünftigen Strahlenschutz.

Schlüsselwörter *— Radium, Leuchtquellen, Beschaffung, Entsorgung, hist. Armeematerial*

1. Einleitung

Um die sogenannte „Nachtkampftauglichkeit" sicher zu stellen, werden im militärischen Bereich Leuchtmittel eingesetzt, welche beispielsweise Instrumente von Fahrzeugen oder Strichplatten von Zielsystemen beleuchten. Diese sind Radioaktiv und benötigen keine fremde Energiequelle wie z.B. eine Batterie. Ab ca. 1940 kamen im militärischen Bereich radioaktive Leuchtfarben zum Einsatz, welche auf der Basis von Zinksulfid basierten und mit Radium (Ra-226) versetzt wurden. Diese Leuchtfarben wurden hauptsächlich als geschlossene Quellen (Instrumente mit Glas) verwendet, aber auch als offene Quellen (Strichmarkierungen). Ab ca. 1970 wurde das Radium durch Tritium (H-3) abgelöst. Vereinzelt wurde auch Kohlenstoff (C-14) für Leuchtquellen verwendet. Der Umgang mit diesen Leuchtquellen ist aus strahlenschutztechnischer Sicht bedeutet einfacher und verursacht einen geringeren Entsorgungsaufwand. Tritium und Kohlenstoff wird heute noch für bestimmte militärische Systeme verwendet. Durch die Erhaltung von historischem Armeematerial – und damit auch die Erhaltung von Radium-226 - beschäftigt uns heute wie auch zukünftig der Umgang und die Entsorgung von diesem Material.

Abb. 1: Beta-Light mit gasförmigem Tritium (H-3 TGLQ)

2. Beschaffung – Einsatz – Entsorgung von Armeematerial mit radioaktiven Stoffen

2.1 Beschaffung
Die Beschaffung von Armeematerial ist ein hoch komplexer Ablauf, in welchem der ganze Lebensweg des Systems bestimmt wird. Darin enthalten ist auch die Entsorgung des Systems. Alle radioaktiven Stoffe müssen durch den Hersteller deklariert und ausgewiesen werden. Eine spezielle Schwierigkeit ist hier die länderspezifische Strahlenschutzgesetzgebung. Es gibt Länder, bei denen ein Artikel nicht als radioaktiv gilt und in der Schweiz fällt dieser unter die Strahlenschutzgesetzgebung. Solche und andere Aspekte gilt es bei der Beschaffung zu erkennen und berücksichtigen.

2.2 Einsatz
Als Einsatz wird die Benutzung der Systeme verstanden. Dieser wird hauptsächlich durch die Truppe ausgeübt. Für die meisten radioaktiven Gegenstände in der Schweizer Armee liegt eine Zulassung vor. Diese Zulassung wird vom Bundesamt für Gesundheit BAG ausgestellt und bescheinigt den alltäglichen Umgang des Artikels ohne spezielle Strahlenschutzkenntnisse. Die Schweizer Armee setzt keine radioaktiven Stoffe ein, welche bei sachgemässem Umgang zu einer Gefährdung des Benutzer führen könnte.

2.3 Entsorgung
Sämtliches Armeematerial, welches zur Abgabe an Dritte (Entsorgung, Verkauf, historisches Armeematerial) bestimmt ist, wird auf verschiedenen Wegen auf das Vorhandensein von

radioaktiven Stoffen geprüft. Bekanntes, radioaktives Material ist auf SAP erfasst und als solches gekennzeichnet. Notwendige Massnahmen zur Einhaltung der Strahlenschutzgesetzgebung können damit direkt getroffen werden. Um aber auch Material zu erkennen, welches in SAP nicht als Radioaktiv gekennzeichnet ist (aus früheren Beschaffungen), muss das gesamte Material über Listen kontrolliert und ggf. ausgemessen werden. Dazu wurden Prozesse definiert, welche uns dieses aufwendige Kontrollverfahren ermöglichen.

Abb. 2: Kompass mit Tritium (H-3) Strichmarkierungen

3. Historisches Armeematerial

3.1 Zentralstelle für historisches Armeematerial (ZSHAM)
Wird ein Artikel nicht mehr in SAP geführt, gilt dieser als historisches Armeematerial. Im Jahr 2009 wurde eine zentrale Stelle für dieses Material geschaffen. Die Aufgabe dieser Stelle ist die Koordination im Umgang mit historischem Armeematerial innerhalb des Eidg. Departement für Verteidigung, Bevölkerungsschutz und Sport VBS. Gleichzeitig ist sie Ansprechstelle für Museen und Sammler, welche historische Gegenstände der Schweizer Armee besitzen. Sie definiert Vorgaben zum Umgang und Lagerung der historischen Gegenstände. Die ZSHAM führt eine Liste mit qualifizierten Institutionen, welche unterschiedliche Grössen und Sammlungsbedürfnisse von hist. Armeematerial aufweisen.

3.2 Umgang mit Radium
Aus früheren Abgaben von Armeeartikel an Dritte, Tauschgeschäften unter Sammlern und Einkäufen von Privatpersonen über das Internet sind Artikel mit radiumhaltiger Leuchtfarbe

im Umlauf. Viele Besitzer solcher historischer Gegenstände haben keine Kenntnisse über die radioaktiven Stoffe. Dementsprechend kommt es vor, dass solche Artikel unsachgemäss über den Haushaltkehricht entsorgt werden und nach der Detektion bei einem Recyclingwerk mit hohem Kostenaufwand fachgerecht entsorgt werden müssen.

Um das Verständnis und den fachgerechten Umgang dieser Artikel zu gewährleisten, hat das Bundesamt für Gesundheit BAG in Zusammenarbeit mit dem VBS eine Weisung erarbeitet. Diese regelt die Grundlagen und Anforderungen an Museen und Sammler, welche Umgang mit radioaktiven Stoffen haben. In Zusammenarbeit zwischen der ZSHAM und dem Kompetenzzentrum Strahlenschutz VBS werden Museen und Sammler von hist. Armeematerial besucht, damit Inventarisierungen und Massnahmen für die radioaktiven Stoffe getroffen werden können. Ziel ist es, dass alle im Bereich der ZSHAM kontrollierten Institutionen einen gesetzeskonformen Umgang mit radioaktiven Stoffen haben.

Abb. 3: Uhr Revue Thommen mit Radium (Ra-226)

4. Strahlenschutz für die Zukunft

Mit der Beschaffung von nicht radioaktiven Leuchtquellen in militärischen Gegenständen, dem konsequenten Entsorgen von Altlasten (Radium) und der Unterstützung von Museen und Sammler mit radioaktivem, historischem Armeematerial, leistet die Schweizer Armee einen wichtigen Beitrag für die Zukunft im Strahlenschutz.

WIE SCHLIESSEN WIR DIE LÜCKE ZWISCHEN STRAHLEN-BIOLOGIE UND STRAHLENEPIDEMIOLOGIE?

Wolfgang-Ulrich Müller

Institut für Medizinische Strahlenbiologie
Universitätsklinikum Essen

1. Wo liegt das Problem?

An der in der Überschrift gestellten Frage haben sich schon große wissenschaftliche Organisationen die Zähne ausgebissen. Über die Notwendigkeit dieses Lückenschlusses besteht kein Zweifel, aber wie man das Problem in den Griff bekommen soll, da fehlen praktikable Vorschläge.

Worum geht es in erster Linie? Im Bereich unterhalb von etwa 100 mSv beim Erwachsenen und etwa 10 mSv beim Embryo/Fetus wissen wir nicht, wie hoch das strahleninduzierte Malignom[1]-Risiko ist (s. Abb. 1).

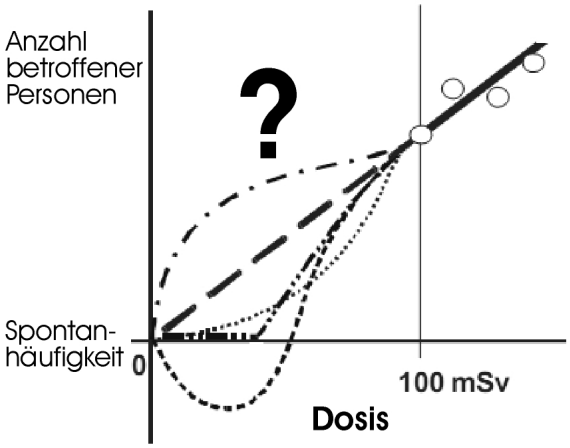


Abb. 1: Verschiedene Möglichkeiten, wie der Verlauf der Dosis-Wirkungsbeziehungen für strahleninduzierte Malignome im Dosisbereich unterhalb von etwa 100 mSv beim Erwachsenen aussehen könnte

Das liegt daran, dass die Epidemiologie in diesen Dosisbereichen vor allem wegen der beträchtlichen Schwankung des Spontanrisikos keine präzisen Aussagen mehr machen kann. Die dazu benötigten Populationen wären so groß, dass es unrealistisch ist, solche Studien durchzuführen. Aber gerade dieser Dosisbereich interessiert uns am meisten, da alle Menschen im Bereich weniger Millisievert pro Jahr strahlenexponiert werden.

---

[1] Der Begriff „Malignom“ umfasst alle bösartigen Veränderungen im Körper, also alle Krebsformen und die Leukämien. Häufig wird der Begriff „Tumor“ synonym verwendet, was zwar nicht ganz richtig, aber so gebräuchlich ist, dass ich hier genauso verfahren werde.

Wie nun könnten strahlenbiologische Erkenntnisse die unbefriedigende Situation im niedrigen Dosisbereich verbessern helfen?

2. Ermittlung der Mechanismen im niedrigen Dosisbereich

Es geht um den Verlauf der Dosis-Wirkungsbeziehung im niedrigen Dosisbereich. Im Strahlenschutz ist man überein gekommen, eine lineare Beziehung ohne Annahme einer Schwellendosis unterhalb von 100 mSv zu verwenden (LNT-Annahme, linear non threshold). Dies hat unter anderem den sehr begrüßenswerten praktischen Vorteil, dass man problemlos Strahlendosen addieren kann.

Nun sind allerdings lineare Beziehungen in der Biologie eher selten. Daher hat es auch nicht an Kritik an dieser Annahme gefehlt. Die Idee, die sich inzwischen entwickelt hat, besteht darin, die biologischen Mechanismen, die im niedrigen Dosisbereich ablaufen, zu identifizieren und zu quantifizieren. Aus dem Zusammenführen **aller** Erkenntnisse kann man dann – hoffentlich – den Verlauf der Dosis-Wirkungsbeziehungen genauer charakterisieren. Hüten muss man sich, **einen** Wirkungsmechanismus (oder auch mehrere) herauszugreifen, der die eigenen Vorlieben unterstützt, und dies als Beweis für seinen eigenen Standpunkt anzuführen.

Abbildung 2 zeigt Beispiele ohne den Anspruch zu erheben, vollständig zu sein. Bei einigen der Mechanismen gibt es starke Hinweise, dass sie vor allem oder sogar ausschließlich im niedrigen Dosisbereich vorkommen (dies gilt z.B. für den Bystander Effekt). Allein dies deutet bereits darauf hin, dass eine strenge LNT-Beziehung im niedrigen Dosisbereich eher unwahrscheinlich ist.

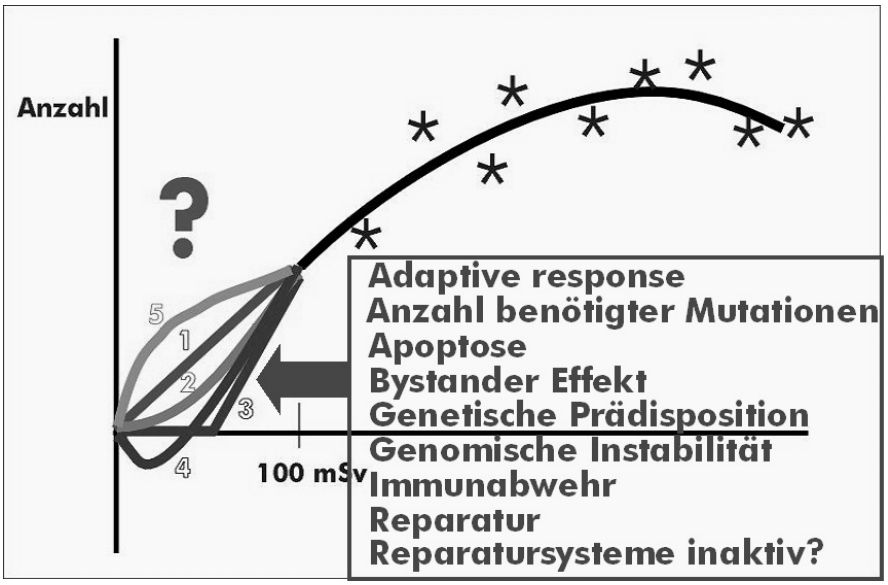


Abb. 2: Einige Mechanismen, die im niedrigen Dosisbereich auf den Verlauf der Dosis-Wirkungsbeziehungen Einfluss nehmen können

3. Tumorentstehung mono- oder polyclonal?

Es ist nach wie vor nicht klar, ob ein Tumor von **einer** (monoclonal) oder von **mehreren** (polyclonal) veränderten Zellen ausgeht. Diese Frage ist aber sehr relevant vor dem Hintergrund Schwellendosis ja oder nein. Müssen mehrere Zellen verändert werden, bevor ein

Tumor entsteht, so ist es naheliegend, dass eine Schwellendosis existiert. Allerdings ist diese Schlussfolgerung nicht zwingend, da über einen Bystander-Effekt durchaus auf Grund **einer** Energiedeposition mehrere Zellen verändert werden können.

Es kommt eine weitere Schwierigkeit hinzu, die wir bis heute nicht wirklich berücksichtigen. Alle bisher bekannten Malignome entstehen über einen Mehrschritt-Mechanismus. Das heißt, **eine** Veränderung reicht nicht aus. Wenn also ein Krebs oder eine Leukämie nur durch ionisierende Strahlung ausgelöst würde, dann müsste allein deshalb eine Schwellendosis im niedrigen, zumindest im sehr niedrigen Dosisbereich vorliegen. Nun wissen wir aber, dass es neben ionisierender Strahlung zahlreiche weitere Faktoren gibt, die einen oder mehrere Schritte des Mehrschritt-Prozesses der Krebsentstehung durchführen können. Wer ist dann eigentlich der „Verursacher" des Malignoms?

4. Identifizierung strahleninduzierter Tumoren

Es wäre für epidemiologische Untersuchungen außerordentlich hilfreich, solche Tumoren zu identifizieren, an deren Entstehung ionisierende Strahlung beteiligt war. Damit könnte der Anteil der Unsicherheiten eliminiert werden, der darauf zurückzuführen ist, dass zahlreiche Tumoren, die nichts mit Strahlenexposition zu tun haben, mitgezählt werden. Dies würde die Präzision der epidemiologischen Erkenntnisse deutlich erhöhen.

5. Identifizierung besonders strahlenempfindlicher Personen

Menschen sind nicht gleich strahlenempfindlich. Das heißt, es gibt Menschen, die selbst nach vergleichsweise hohen Strahlendosen keinen strahleninduzierten Tumor entwickeln. Wenn die epidemiologischen Analysen an im Hinblick auf Induktion von Tumoren durch Strahlung besonders empfindlichen Personen durchgeführt werden könnten, würde die Präzision der epidemiologischen Analysen zunehmen. Deutlich wird dies an den Ergebnissen, die bei der Untersuchung von Embryonen/Feten erhalten worden sind. Die Populationsgrößen sind vergleichbar mit denjenigen der Erwachsenen-Kollektive, aber signifikante Ergebnisse werden wegen der hohen Strahlenempfindlichkeit von Embryonen/Feten nach wesentlich niedrigeren Strahlendosen erhalten.

Um diesen Ansatz jedoch nutzen zu können, müsste in der Strahlenbiologie ein einfaches zuverlässiges Verfahren zur Ermittlung der individuellen Strahlenempfindlichkeit im Hinblick auf Tumor-Entstehung entwickelt werden. Ein solches Verfahren gibt es zur Zeit nicht.

6. Molekulare Epidemiologie

In der Zukunft ist zu erwarten, dass die Ergebnisse der verschiedenen „-omics" (Genomics, Transcriptomics, Proteomics, Metabolomics ...) in der Epidemiologie zu einer großen Hilfe werden können. Bei diesen Verfahren werden ganze Genome (alle Gene), Transcriptome (alle abgelesenen Gene), Proteome (alle vorhandenen Proteine) oder Metabolome (alle Stoffwechselvorgänge) auf Veränderungen untersucht. Erste Hinweise, dass dies unsere Kenntnisse stark erweitern kann, existieren bereits. So gibt es Anhaltspunkte dafür, dass Polymorphismen in Reparatur-Genen (also leichte Änderungen in der Reihenfolge der Basen in der DNA) das strahleninduzierte Leukämie-Risiko bei Kindern erhöhen, aber in einigen Fällen auch erniedrigen können.

7. Ausblick

Es gibt sicher weitere Möglichkeiten, wie Strahlenbiologie und Strahlenepidemiologie kooperieren können, um Aufschluss über die Wirkung ionisierender Strahlung im niedrigen Dosisbereich zu erhalten. Und vielleicht fallen mir ja sogar noch welche bis zum Beginn der Jahrestagung ein (ich werde sie dann nicht verheimlichen). In jedem Fall wird es erforderlich sein, dass Strahlenbiologen und Strahlenepidemiologen ausführliche Gespräche führen, um die Probleme der jeweils anderen Disziplin zu verstehen und gemeinsam nach Lösungsmöglichkeiten zu suchen.

WAHRE DOSIS KOMMT VON INNEN – RECHENMODELLE FÜR INTERNE DOSIMETRIE

TRUE DOSE FROM INCORPORATED ACTIVITIES – MODELS FOR INTERNAL DOSIMETRY

B. Breustedt[1], W. Eschner[2], D. Nosske[3]

[1] Institut für nukleare Entsorgung, Karlsruher Institut für Technologie (KIT), Hermann-von-Helmholtz-Platz 1, 76344 Eggenstein-Leopoldshafen, Deutschland
[2] Klinik und Poliklinik für Nuklearmedizin, Universitätsklinikum Köln, D-50924 Köln, Deutschland
[3] Bundesamt für Strahlenschutz, Fachbereich Strahlenschutz und Gesundheit, Ingolstädter Landstr. 1, D-85764 Oberschleißheim, Deutschland

Zusammenfassung *—Die Ermittlung der Dosis nach Inkorporation von Radionukliden, kann im Gegensatz zur Dosis durch körperexterne Strahlenfelder nicht durch direkte Dosismessungen erfolgen. Es können lediglich Messungen der Aktivitäten im Körper bzw. in den Ausscheidungen durchgeführt werden. Aus diesen Werten wird mit Modellen die Dosis berechnet. Die inkorporierten Aktivitäten und auftretenden Dosen können um mehr als sieben Größenordnungen zwischen der beruflich bedingten Inkorporation und der medizinischen Verabreichung variieren. Das rechnerische Vorgehen zur Ermittlung der Organdosen und der effektiven Dosis ist trotzdem in beiden Fällen ähnlich. Da die Entwicklung der Verfahren bei ICRP und MIRD über viele Jahre parallel und unabhängig verliefen, haben sich unterschiedliche Terminologien für eigentlich gleiche Rechenverfahren etabliert. Eine Vereinheitlichung wird von beiden Gruppen angestrebt.*

Summary *The assessment of doses after incorporation of radionuclides cannot use direct measurements of the doses, as for example dosimetry in external radiation fields. The only observables are activities in the body or in excretions. Models are used to calculate the doses based on the measured activities. The incorporated activities and the resulting doses can vary by more than seven orders of magnitude between occupational and medical exposures. Nevertheless the models and calculations applied in both cases are similar. Since the models for the different applications have been developed independently by ICRP and MIRD different terminologies have been used. A unified terminology is being developed.*

Schlüsselwörter *— Interne Dosimetrie, Biokinetik, ICRP, MIRD*
Keywords *— internal dosimetry, biokinetics, ICRP, MIRD*

1. Einleitung

Werden Radionuklide in den Körper aufgenommen, nehmen sie an den Stoffwechselprozessen teil, d.h. sie werden im Körper transportiert, reichern sich in Organen an und werden ausgeschieden. Die Aufnahme in den Körper erfolgt über die Atemwege (Inhalation), den Verdauungstrakt (Ingestion) oder durch kontaminierte Wunden. Bei medizinischen Anwendungen wird die Aktivität auch direkt ins Blut gespritzt (Injektion). Der Transport im Körper erfolgt über das Blutplasma und das extrazelluläre Wasser, die Ausscheidung im Wesentlichen über Urin und Stuhl. Die Abgabe von Radionukliden an Schweiß, Haare oder Nägel wird

auch als Ausscheidung betrachtet, spielt aber für die meisten Radionuklide eine eher untergeordnete Rolle.

Die beim Zerfall der in den Organen eingelagerten Radionuklide freigesetzte Energie wird abhängig von Strahlenart und –energie im Organ selbst bzw. in den umliegenden Geweben absorbiert. Im Gegensatz zur externen Dosimetrie ist eine direkte Messung der internen Dosis nicht möglich, da kein Dosimeter in das Quellorgan bzw. zwischen dieses und die Zielorgane gebracht werden kann. Daher sind hier auch keine operationellen (Dosis-)Messgrößen definiert. Messbare Größen in diesem Fall sind die Aktivitäten der Radionuklide, die inkorporiert wurden oder die sich noch im Körper befinden bzw. die in den Ausscheidungen (Urin oder Stuhl) nachweisbar sind. Aus den gemessenen Aktivitäten (in Bq) werden dann mit Hilfe geeigneter Modelle und Rechenverfahren Dosiswerte (in Gy oder Sv) abgeschätzt. Die zwei Grundgrößen, die für diese Berechnungen benötigt werden sind:

- die Anzahl der Zerfälle, die in einem Organ/Gewebe des Körpers stattfinden (N_S) und
- die Energie, die pro Zerfall in einem Quellenbereich im betrachteten Zielorgan deponiert wird (Spezifische effektive Energie, SEE-Wert).

Die Berechnung von N_S geschieht mit Hilfe von biokinetischen Modellen, welche die Verteilung der Radionuklide im Körper beschreiben. Die Berechnung der SEE-Werte erfolgt mit Hilfe von Simulationsrechnungen in Modellen des menschlichen Körpers. Prinzipiell müssen zwei unterschiedliche Fälle betrachtet werden:

- Medizinische Expositionen: hier werden Radionuklide gezielt in den Körper eingebracht. Bei der Therapie mit offenen radioaktiven Stoffen müssen die betroffenen Personen (Patienten) als Individuen betrachtet werden. Das Zufuhrszenario (zugeführte Aktivität und Zeitpunkt bzw. Pfad der Zufuhr) ist bekannt, die Kinetik wird patientenindividuell bestimmt. Berechnungen erfolgen mit dem MIRD[1] Schema, Zielgröße ist die Energiedosis [1] in den interessierenden Organen.

- Berufliche Strahlenexpositionen: Hier werden die Radionuklide, bei denen ein Inkorporationsrisiko besteht, für verschiedenste Tätigkeiten verwendet. Die betrachteten Personen können meist als Referenzpersonen behandelt werden; das Zufuhrszenario ist jedoch weitgehend unbekannt, so dass geeignete Annahmen getroffen werden müssen. Die Berechnungen verwenden das ICRP[2] Schema, Zielgröße ist die effektive Dosis, die zu einer Risikobewertung verwendet wird [2]. Diese wird auch bei der Betrachtung von Strahlenexpositionen von Einzelpersonen der Bevölkerung und für den Vergleich verschiedener diagnostischer Radionuklidanwendungen ermittelt.

In beiden Fällen sind die Grundideen der Rechenmodelle und die zugrunde liegende Mathematik identisch. Auf Grund der historischen Entwicklung wird jedoch eine unterschiedliche Terminologie verwendet. Heute ist man seitens MIRD und ICRP bestrebt, die Begriffe und Vorgehensweisen für diese Dosisberechnungen zu vereinheitlichen. MIRD Pamphlet Nr. 21 [3] stellt einen ersten Schritt in diese Richtung dar.

---

[1] MIRD: Das „Committee on Medical Internal Radiation Dose“ wurde von der amerikanischen Society of Nuclear Medicine begründet und erarbeitet Standards, Modelle und Rechenverfahren für die Dosimetrie verabreichter Radiopharmazeutika.

[2] ICRP: Die International Commission on Radiological Protection entwickelt und überarbeitet seit 1928 das Strahlenschutzsystem, welches weltweit die Basis für Legislation, Standardisierung und Praxis des Strahlenschutzes darstellt.

Die inkorporierten Aktivitäten (und damit auch die Dosen) unterscheiden sich zwischen medizinischer und beruflicher Exposition um mehrere Größenordnungen. Ein Beispiel: Patienten, die aufgrund einer Schilddrüsenerkrankung in einer nuklearmedizinischen Therapiestation mit Iod-131 behandelt werden, erhalten häufig 1.000 MBq oder mehr ^{131}I, um in der Schilddrüse eine Dosis von 250 Gy zu erzielen. Bei den dort beschäftigten Mitarbeitern lassen sich Inkorporationen von 100 Bq ^{131}I zuverlässig nachweisen, also das 10^{-7}-fache der Patientenaktivität, was zu einer effektiven Dosis von ca. 0,25 mSv im Kalenderjahr führen würde.

2. Messtechniken in der internen Dosimetrie

Die angewandten Messtechniken unterscheiden sich auf Grund der unterschiedlichen Anforderungen der jeweiligen Aufgabenstellung.

2.1 Messungen für die Dosimetrie in der Inkorporationsüberwachung

Die Anforderungen an den Nachweis von Radionukliden für die Inkorporationsüberwachung ergeben sich aus dem jeweiligen Strahlenschutzregelwerk, in Deutschland ist dieses die Richtlinie für die physikalische Strahlenschutzkontrolle, RiPhyKo Teil 2 [4]. Grundsätzlich wird ein empfindlicher Nachweis angestrebt, damit auch niedrigste Dosen (1 mSv) überwacht werden können. Daraus ergibt sich auch die notwendige Frequenz der Messungen. Für den Nachweis inkorporierter radioaktiver Stoffe (Radiobioassay) werden zwei Techniken eingesetzt:

- der direkte (in vivo) Nachweis in Ganz- oder Teilkörperzählern, oder
- der indirekte (in vitro) Nachweis über Aktivitätsmessungen in den Ausscheidungen Urin oder Stuhl.

Unterstützend können auch Methoden der Arbeitsplatzüberwachung, z.B. die Bestimmung der Konzentration radioaktiver Stoffe in der Raumluft eingesetzt werden. Die Identifikation und die Quantifizierung der Radionuklide erfolgt beim Radiobioassay prinzipiell analog zu einer „normalen“ Aktivitätsbestimmung in einer Probe, jedoch sind einige Besonderheiten (z.B. die Größe und Form der „Probe Mensch“) zu beachten.

2.2 Messungen für die Dosimetrie in der Nuklearmedizin [5]

Vor der Verabreichung eines Radiopharmakons an den Patienten wird die Aktivität der vorbereiteten Spritze (bei intravenöser Gabe) oder der Kapsel (bei oraler Gabe) im Aktivimeter bestimmt. Das Aktivimeter ist eine Schachtionisationskammer mit einem linearen Ansprechvermögen über den gesamten Bereich von einigen kBq bis GBq. Dort können auch Nuklide, die nur Betastrahlung aussenden, mit ausreichender Genauigkeit gemessen werden. Nach Verabreichung ist man zur Quantifizierung auf die Messung von Gammastrahlung angewiesen, da die Betastrahlung innerhalb des Patienten ganz in der Nähe des Zerfallsorts absorbiert wird. Aus diesem Grund findet die nuklearmedizinische Diagnostik bevorzugt mit reinen Gamma-Emittern statt, während die Therapie, bei der Gewebe deterministisch geschädigt werden soll, mit Betastrahlern erfolgt, die nach Möglichkeit aber auch eine Gammakomponente aufweisen, um die Verteilung im Körper von außerhalb des Patienten messen zu können.
Die einfachste Messeinrichtung dafür ist der Sondenmessplatz: ein Szintillationskristall mit Vielkanalanalysator, der (nach Kalibrierung mit einem geeigneten Standard) die gezählten Zerfallsereignisse in seinem Gesichtsfeld als dort vorhandene Aktivität ausgibt. Auch aus den

bildgebenden Verfahren der Nuklearmedizin (planare Szintigraphie, SPECT bzw. PET [5]), lässt sich die Aktivität in den interessierenden Organen des Patienten quantifizieren. Dazu werden „regions of interest“ (ROI) in die Szintigramm eingezeichnet; die Anzahl der Counts darin ist ein Maß für die Aktivität im Organ (Abb. 1:). Allerdings ist die Quantifizierung wegen der Schwächung der Gammastrahlung im Gewebe und möglicher Überlagerung mehrerer Organe unzuverlässig. Die tomografischen Techniken (SPECT, PET) in der heutzutage üblichen Kombination mit einem CT erlauben zum einen die genaue bildliche Zuordnung der Traceranreicherung zu morphologischen Strukturen, vor allem aber eine rechnerische Kompensation der Schwächung und damit eine absolute Quantifizierung der Aktivität in „volumes of interest“ (VOI). Für eine Dosimetrie ist die Durchführung dieser Messungen zu mehreren Zeitpunkten erforderlich (s. 3.2)

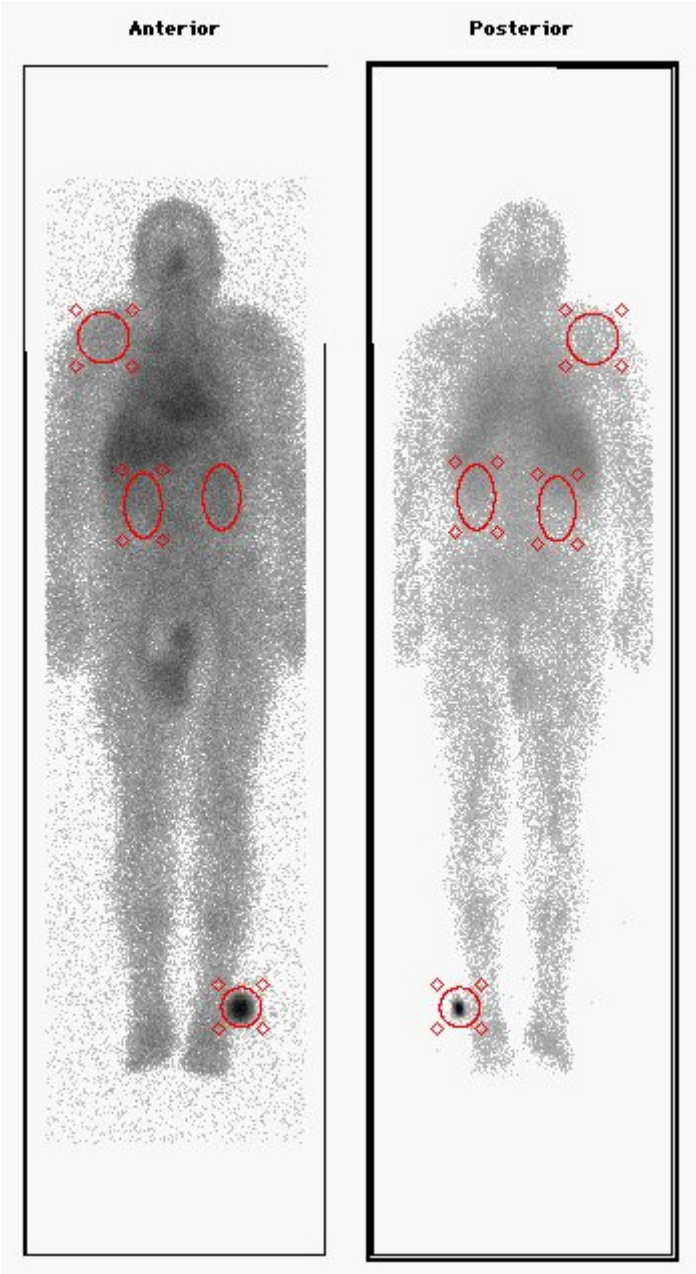


Abb. 1: Zwei planare Ganzkörper-Szintigramme mit eingezeichneten „regions of interest“ (ROI) über den Nieren, einer Untergrund-ROI am Oberarm und einer ROI über dem Aktivitäts-Standard.

3. Biokinetische Modelle für die interne Dosimetrie

Das Verhalten der in den Körper aufgenommenen Radionuklide vom Zeitpunkt ihrer Aufnahme, über die (Um-)verteilung im Körper bis hin zu ihrer Elimination durch Zerfall oder Ausscheidung wird mit Hilfe biokinetischer Modelle beschrieben. Die Lösungen dieser mathematischen Modelle geben den zeitlichen Verlauf der Aktivitätskonzentration in Geweben und Organen des Körpers bzw. den Ausscheidungen wieder. Mit Hilfe dieser Modellvorhersagen können einerseits die Ergebnisse der Bioassaymessungen interpretiert werden und andererseits die für die Dosisermittlung notwendige Zahl der in den Organen des Körpers stattfindenden Kernzerfälle N_S berechnet werden.

3.1 Biokinetische Modelle der ICRP in der Inkorporationsüberwachung

Zur Beschreibung des Stoffwechsels verschiedener Radionuklide und ihrer Verbindungen werden seit der Veröfentlichung von ICRP Publikation 30 im Jahre 1979 [6] biokinetische Modelle im Kompartimentformalismus verwendet. Die einzelnen Organe/Gewebe in denen sich der Stoff aufhält bzw. zwischen denen er transportiert wird, werden als kinetisch homogene Kompartimente betrachtet. Die Struktur eines Modells beschreibt die möglichen Stoffwechselpfade für den betrachteten Stoff. Die Rate, mit welcher der Transport des Stoffes zwischen den einzelnen Kompartimenten erfolgt, ist (bei der üblicherweise angenommenen linearer Kinetik) proportional zum Inhalt des abgebenden Kompartiments. Angegeben und verwendet werden geeignete Mittelwerte für die definierten Referenzpersonen. Biokinetische Modelle im Kompartimentformalismus werden mathematisch als Systeme von linearen Differentialgleichungen erster Ordnung beschrieben. Die ICRP veröffentlicht Modelle für das Verhalten von Radionukliden, die ins Blut injiziert bzw. aus dem Atem- oder Verdauungstrakt absorbiert wurden (systemische Modelle). Zusätzlich gibt es Modelle für den Atemtrakt, den Verdauungstrakt und Wunden, die für alle Nuklide gleichermaßen gelten, die aber von den physikalischen (z.B. Aerosolgröße) und chemischen (z.B. Löslichkeit) Eigenschaften der Substanz abhängen. Diese generischen Modelle werden durch geeignete Parametrisierung (d.h. Wahl der Transferkoeffizienten) für das betrachtete Nuklid und die betrachtete Verbindung angepasst. Durch die Kopplung der jeweiligen Modelle kann das Verhalten der Radionuklide im Körper von ihrer Aufnahme bis zur Ausscheidung beschrieben werden. Abb. 2 zeigt ein verallgemeinertes Kompartimentsystem zur Darstellung des menschlichen Körpers. In ihren Publikationen 56, 67 und 69 [7,8,9] beschreibt die ICRP für einige Elemente solche Modelle, auf denen die heute zur Dosisberechnung verwendeten Daten, wie z.B. die in Publikation 78 berechneten Bioassayfunktionen [10] beruhen. Dabei wird die Abhängigkeit des Stoffwechsels vom Alter durch die Angabe von unterschiedlichen Parametersätzen für verschiedene Altersklassen berücksichtigt, die Kompartimentstrukturen bleiben dabei unverändert. Eine Revision des ICRP Systems zur internen Dosimetrie wird derzeit durchgeführt, dafür werden die auf mehrere Publikationen verteilten Informationen in einem gemeinsamen Dokument „Occupational Intakes of Radionuclides“ (OIR) und später auch in einem Dokument für altersabhängige Dosiswerte für Einzelpersonen der Bevölkerung zusammengefasst und aktualisiert. In den dort publizierten Daten werden dann auch neue biokinetische Modelle verwendet.

Das neue ICRP-Modell für den Verdauungstrakt [11] beinhaltet im Vergleich zum bisher verwendeten Modell [6] zusätzliche Kompartimente (Mundhöhle, Speiseröhre, drei anstelle von zwei Dickdarmkomponente), wobei insbesondere die Speiseröhre von Bedeutung ist, da die Speiseröhre einen eigenen Gewebewichtungsfaktor hat [12, 2] und somit deren Dosis in die Berechnung der effektiven Dosis eingeht; bislang gab es aber weder ein biokinetisches

noch ein dosimetrisches Modell für die Speiseröhre. Die Transferraten durch den Verdauungstrakt sind jetzt alters- und geschlechtsabhängig. Bei Vorliegen entsprechender Informationen kann mit dem neuen Modell die Absorption ins Blut viel genauer modelliert werden. Sie ist jetzt nicht mehr nur aus dem Dünndarm sondern von fast allen Regionen des Verdauungstraktes möglich, und die Absorption muss nicht notwendigerweise unverzüglich erfolgen, sondern es kann eine verzögerte Absorption mit einer Retention in den Wänden des Verdauungstrakts betrachtet werden. Für die Dosimetrie von Bedeutung ist das neue Konzept, dass nicht mehr die Dosis in den gesamten Wänden betrachtet wird, sondern - ähnlich wie im Atemtraktmodell [13] - die Dosis in strahlensensiblen Zellen, die in einer Tiefe von zwischen 60-100 µm (Magenwand) bis zu 280-300 µm (Dickdarmwände) liegen. Das hat beispielsweise zur Folge, dass Alphastrahlung aus dem Inhalt des Verdauungstrakts diese Zellen nicht erreicht und somit keine Dosis verursacht.

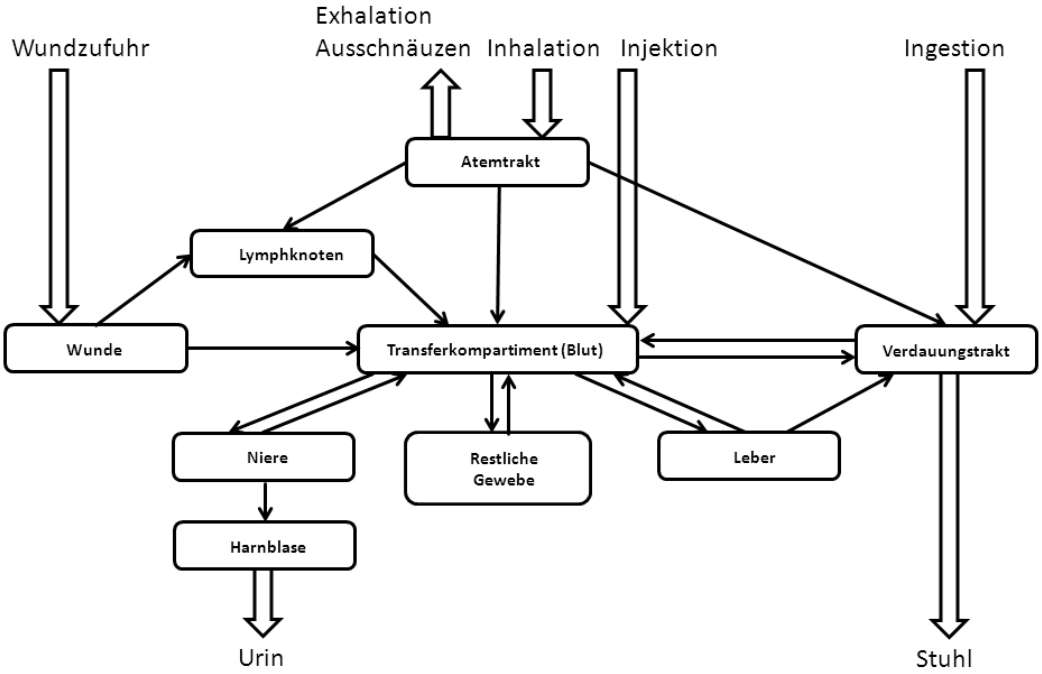


Abb. 2: Kompartimentsystem des menschlichen Körpers für die Beschreibung der Biokinetik von Radionukliden (angelehnt an [10]). Die Kompartimente sind durch Boxen, die Transfers durch Verbindungspfeile dargestellt. Offene Pfeile stellen eine Aufnahme in das bzw. Abgabe aus dem System dar.

Das bisherige ICRP-Modell für den Atemtrakt [13] wird mit einigen kleineren Modifizierungen beibehalten. Diese beinhalten eine Änderung der Modellstruktur (z.B. wird jetzt nicht mehr die gesamte Substanz, die im vorderen Nasenbereich deponiert wird, wieder in die Außenluft abgegeben, sondern teilweise in Pharynx und Larynx und von dort aus durch Verschlucken in den Verdauungstrakt transportiert) sowie kleinere Änderungen der Absorptionsparameter für die Standardklassen. Eine wichtige Änderung ist, dass zukünftig für viele Verbindungen individuelle Absorptionsparameter verwendet werden anstelle der Parameter für die Standard-Absorptionsklassen: Für Uran wird es beispielsweise für neun Verbindungen spezifische Absorptionsparameter geben.

Die systemischen Modelle sind mittlerweile standardmäßig sogenannte "Recycling-Modelle", d.h. die Substanzen, die nicht direkt ausgeschieden werden, werden aus dem Blut entspre-

chend ihrer metabolischen Eigenschaften in bestimmten Organen angereichert und kehren von dort wieder ins Blut zurück, von wo aus sie ausgeschieden werden oder sich wiederum in den entsprechenden Organen anreichern. Diese Modelle erlauben es, realistischere und physiologisch sinnvollere Aussagen zu treffen. Für verschiedene Klassen von Elementen (z.B. Erdalkalimetalle, Lanthanide) wird es bestimmte Modellstrukturen geben.

Für die Berücksichtigung der Dosis, die durch im Körper entstandene Tochternuklide verursacht wird, wurde bisher in den meisten Fällen vereinfachend angenommen, dass sich die Tochternuklide biokinetisch ebenso verhalten wie das Mutternuklid. Zukünftig werden sich die Tochternuklide im Verdauungstrakt und im systemischen Kreislauf standardmäßig unabhängig von der Kinetik des Mutternuklids verhalten. Lediglich im Atemtrakt wird in den meisten Fällen weiterhin angenommen, dass sich die Tochternuklide wie das Mutternuklid verhalten, da man davon ausgeht, dass die Aerosolmatrix, in die die Tochternuklide mit eingebunden sind, das biokinetische Verhalten bestimmt.

3.2 Biokinetik nach dem MIRD Schema für die Nuklearmedizin

Dosimetrie nach dem MIRD Schema benötigt im strengen Sinne keine biokinetische Modellierung; statt dessen werden die Aktivitäten in den Quellenbereichen im zeitlichen Verlauf mit den in 2.2 beschriebenen Methoden gemessen; es wird also die Biokinetik patientenindividuell bestimmt. Praktisch lassen sich diese Messungen jedoch nur in bestimmten zeitlichen Abständenund nur über einen begrenzten Zeitraum, oft nur für bestimmte Organe / Körperbereiche, die als wichtig erachtet werden, durchführen, so dass für die Interpolation bisweilen doch auf ein Modell zurück gegriffen wird – meistens genügen jedoch einfache mono- oder biexponentielle Funktionen. Integration der Aktivität über die Zeit (anders ausgedrückt: die Fläche unter der Zeit-Aktivitäts-Kurve) entspricht der Zahl der Zerfälle im Organ (*Abb. 3*).

Im MIRD Schema wird diese nicht als N_S sondern als „kumulierte Aktivität“ Ã (engl. cumulated activity) bezeichnet. Die Integration der Funktion „Retention pro aufgenommenem Bq“ über die Zeit hat die Dimension „Zeit“ und wird in der MIRD Terminologie als „Residenzzeit“ τ (engl. residence time) bezeichnet, obwohl sie (in der Einheit s) die Zahl der Zerfälle pro aufgenommenes Becquerel angibt. Sie kann als „mittlere“ Aufenthaltsdauer der Aktivität im Organ interpretiert werden.

Prä-therapeutische Dosimetrie:
Wenn die Therapie mit einem reinen Betastrahler wie ^{90}Y erfolgt, ist eine direkte Quantifizierung nicht möglich. Um trotzdem Organdosen abschätzen zu können, wird vor der eigentlichen Therapie ein gleichartiges Pharmazeutikum verabreicht, an das jedoch ein Gamma- oder Positronenstrahler gebunden ist. Dessen Aktivitäten werden im Zeitverlauf erfasst und daraus Residenzzeiten ermittelt. Unter der Annahme, dass diese prä-therapeutische Kinetik mit der des therapeutischen Radiopharmakons identisch ist, lassen sich die Residenzzeiten mit dem unten (4.2) beschriebenen Formalismus auf die Organdosen der eigentlichen Therapie umrechnen.

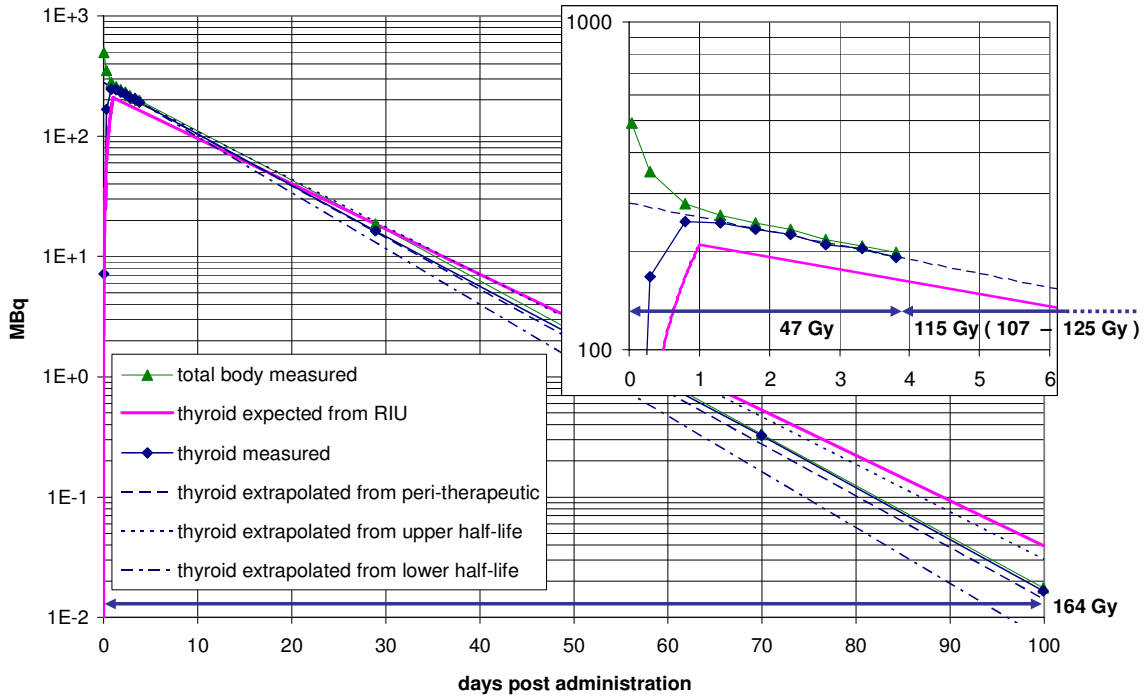


Abb. 3: Bestimmung der patientenindividuellen Biokinetik
Kleines Diagramm: Erfassung des zeitlichen Verlaufs der Aktivitäten in der Schilddrüse (Rhomben) und im gesamten Körper (Dreiecke) während einer stationären Therapie mit ^{131}I; 2 Messungen täglich. Numerische Integration (Bestimmung der Fläche unter der Kurve) ergibt die Zahl der Zerfälle in der Schilddrüse; daraus errechnet sich (gemäß Abschnitt 4.2) die Schilddrüsendosis während der ersten 4 Tage zu 47 Gy. Dann wurde der Patient mit ca. 200 MBq Restaktivität in der Schilddrüse entlassen. Der weitere Aktivitätsverlauf wird extrapoliert (gestrichelte Linie), hier durch Annahme eines monoexponentiellen Abfalls, woraus sich eine weitere Dosis von 115 Gy errechnet, in der Summe also 162 (154 bis 172) Gy.
Großes Diagramm: Bei diesem Patienten wurden spätere Messungen der Aktivität in der Schilddrüse durchgeführt, um die Güte der obigen Extrapolation zu überprüfen: Es zeigt sich sehr gute Übereinstimmung mit der tatsächlich erzielten Dosis von 164 Gy.
Die durchgezogene Linie ist die Vorhersage aus der prätherapeutischen Dosimetrie, also der erwartete zeitliche Aktivitätsverlauf. Detaillierte Erläuterung siehe [14]

4. Dosimetrische Modelle für die interne Dosimetrie

Die Berechnung der in den Organen nach Kernzerfällen deponierten Energiedosis benötigt Informationen über die beim Zerfall emittierten Teilchen und ihre Energien, die Bestrahlungsgeometrie, d.h. die relativen Positionen von Quell- und Zielorgan sowie des schwächenden Gewebes dazwischen. Ein allgemeines Schema zur Dosisberechnung für Radionuklide im Körper wurde in den 1960er/1970er Jahren vom MIRD Komitee der Amerikanischen Gesellschaft für Nuklearmedizin entwickelt. Vom MIRD Komitee wurden die für die Rechnungen relevanten Nukliddaten zusammengestellt, ein geometrisches Körpermodell entwickelt und ein Rechenschema formuliert [1]. Die Grundidee des Verfahrens wurde von der ICRP übernommen und durch wenige Erweiterungen (u.a. Berücksichtigung der Wichtungsfaktoren für Strahlenart und Gewebe) für Strahlenschutzzwecke angepasst [2].

4.1 Modelle des menschlichen Körpers

Ein erstes Modell, welches den Körper durch einfache geometrische Formen beschreibt, wurde vom MIRD Komitee 1968 im Pamphlet 5 vorgestellt [15]. Die Körperhülle (Torso mit angelegten Armen) wird dabei durch einen elliptischen Zylinder, der auf zwei Kegelstümpfen (Beine) sitzt, definiert. Kopf und Hals werden durch eine Halbkugel bzw. einen elliptischen Zylinder beschrieben. Für die Darstellung der inneren Organe werden geeignete Formen (z.B. Paraboloide für die Lungen) verwendet. Einige Ergänzungen und Modifikationen dieses Phantoms (z.B. Skalierung zur Beschreibung von Kindern oder Ergänzung weiterer bislang noch nicht berücksichtigter Organe) wurden von verschiedenen Autoren vorgenommen [16].
Heute ist eine detailliertere Beschreibung der Anatomie durch Voxelmodelle, die auf tomographischen Daten beruhen, möglich. Eine Reihe solcher Modelle wurde erstellt und in verschiedenen Strahlenschutzanwendungen eingesetzt. Die ICRP hat 2009 ein Voxelmodell des von ihr definierten Referenzmenschen veröfffentlicht [17,18]. Hierzu wurden in einem geeigneten Datensatz manuell die Voxelzuordnungen zu den Organen so manipuliert, dass die Organmassen und –dimensionen im fertigen Modell der Definition des Referenzmenschen entsprechen. Abb. 4 zeigt eine Darstellung des ursprünglichen MIRD-Phantoms und des aktuellen Voxelmodells der ICRP.

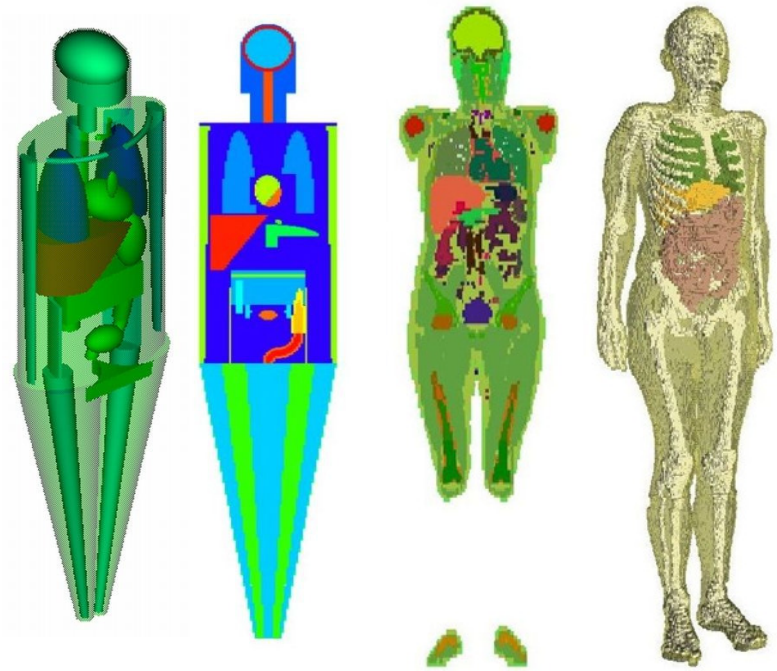


Abb. 4: Referenzmodelle des menschlichen Körpers. Links: 3D Darstellung und Schnitt durch die mittlere Frontalebene des geometrischen MIRD-Modells [15], die Rippen wurden zur besseren Übersicht ausgeblendet. Rechts Der gleiche Schnitt im und eine 3D Darstellung des Voxelmodells des ICRP Adult Male [18]. Zur besseren Übersichtlichkeit wurden in den 3D Darstellungen jeweils nur einige Organe dargestellt.

Vorteil der Voxelmodelle ist ihr größerer Realismus und die bessere Wiedergabe von Organformen und –positionen. Insbesondere bei „überlappenden“ Organen wie Leber und Gallenblase oder Milz führt dieses zu Unterschieden. Nachteile der Voxelmodelle liegen in der Auflösung der Modelle (resp. der Voxelgröße), die die kleinsten definierbaren Strukturen beschränkt. Für den Atemtrakt und den Verdauungstrakt werden daher weiterhin mathematische Modelle für kurzreichende Strahlung verwendet, um der kleinen Größe der Zielgewebe gerecht zu werden, und für die Herleitung dosimetrischer Parameter für die Zielgewebe im

Skelett (Knochenoberfläche und rotes Knochenmark) werden hochauflösende CT-Aufnahmen der Skelettstrukturen zu Grunde gelegt.

4.2 Rechenmodelle und Vereinheitlichung der Terminologie

Aus den biokinetischen Modellen wird N_S, die Anzahl der Zerfälle in einem Quellorgan s, durch Integration der Retentionsfunktion im Organ berechnet. Im MIRD Schema wird die Integration bis T=∞ ausgeführt; da hier aber in der Regel kurzlebige Nuklide betrachtet werden ist der Unterschied zwischen dem unbegrenzten und dem 50 Jahre-Integral, welches die ICRP für Erwachsene ansetzt, praktisch vernachlässigbar.

Das Grundelement des Rechenschemas bilden die absorbierten Anteile $\varphi(t \leftarrow s)$ (engl. absorbed fractions, AF), d.h. der Anteil der in einem Quellenbereich s emittierten Energie, die im Zielorgan t absorbiert wird. Bezieht man diese auf die Masse m_T des Zielorgans t erhält man die spezifischen absorbierten Anteile $\Phi(t \leftarrow s)$ (engl. specific absorbed fractions, SAF). Diese Größen sind jeweils definiert für eine Strahlenart und Energie. Um die gesamte beim Kernzerfall emittierte Energie zu berücksichtigen wird die mit der Emissionswahrscheinlichkeit Y_E und der Energie E_i der Strahlung gewichtete Summe der jeweiligen $\Phi(t \leftarrow s)$ über alle beim Kernzerfall emittierten Strahlungen berechnet. Bei Strahlenschutzanwendungen werden diese Summe zusätzlich die Strahlungswichtungsfaktoren w_R eingebracht. Die so erhaltene Größe gibt dann die Organdosis im Zielorgan nach einem Zerfall eines Kerns im Quellenbereich an und wird als spezifische Effektive Energie (engl. specific effective energy, SEE) bezeichnet. Ohne Berücksichtigung der Wichtungsfaktoren (also in der Terminologie des MIRD-Schemas) erhält man die absorbierte Dosis im Organ und spricht vom S-Wert.

$$S(t \leftarrow s) = \sum_i Y_{E_i} \cdot E_i \cdot \Phi(t \leftarrow s) \qquad SEE(t \leftarrow s) = \sum_{R,i} w_R \cdot Y_{E_i} \cdot E_i \cdot \Phi(t \leftarrow s)$$

Da die aufgenommenen Aktivitäten im Körper auf mehrere Gewebe verteilt werden, muss bei der Dosisberechnung für ein Zielorgan der Beitrag aller Quellenbereiche s berücksichtigt werden. Es ist also eine weitere Summation - dieses Mal über alle Quellenbereiche - notwendig. Für die Organdosis H_T in einem Zielorgan t ergibt sich z.B. nach dem ICRP Schema:

$$\sum_s N_S \cdot SEE(t \leftarrow s) = \sum_S N_S \cdot \sum_{R,i} w_R \cdot Y_{E_i} \cdot E_i \cdot \Phi(t \leftarrow s)$$

In dieser Formel kann man schön das Zusammenspiel der verschiedenen wissenschaftlichen Disziplinen in der Dosisberechnung erkennen:

- Physik: Emissionswahrscheinlichkeit Y_R und Energie E_R der emittierten Strahlung
- Anatomie: spezifische Absorbierte Anteile $\Phi(T \leftarrow S)$
- Physiologie/Biokinetik: Anzahl der Zerfälle in den Quellenbereichen N_S
- Strahlenbiologie: Wichtungsfaktor w_R

Aus den Organdosen der beteiligten Organe kann mit den Gewebewichtungsfaktoren w_T dann die effektive Dosis E berechnet werden. Da im ICRP Schema N_S und die SEE-Werte mit Referenzmodellen berechnet werden, sind diese konstante Werte und können zur Vereinfachung der Rechnungen in einen Dosiskoeffizienten, der dann die Dosis pro aufgenommenes Becquerel angibt, zusammengefasst werden. Die Dosis kann dann vereinfacht als Produkt der

aufgenommenen Aktivität und dem Dosiskoeffizienten verwendet werden. Die Dosiskoeffizienten für Referenzpersonen sind z.B. in [4,10,19] tabelliert.

Im MIRD Verfahren wird ein anderer Weg eingeschlagen: N_S wird für Individualpersonen aus Messungen bestimmt (meist in Kombination mit Modellen und/oder Extrapolationen). Die physikalischen Parameter sind hinterlegt, ebenso die S-Werte. Letztere können (und sollten) patientenindividuell angepasst werden, wenn z.B. die Organgrößen deutlich von denen der Referenzphantome abweichen. Die individuelle Bestimmung von Organgrößen ist allerdings aufwändig. Als Software-Standard für die Umsetzung des MIRD Verfahrens kann OLINDA/EXM [20] angesehen werden. Das Programm erwartet die Auswahl des Nuklids und die Eingabe von Residenzzeiten oder Parametern für einfache Exponentialmodelle für die interessierenden Organe. Organgrößen können angegeben werden, andernfalls werden die hinterlegten Standard-Werte verwendet. Die Ausgabe der Organdosen (in mGy) und der effektiven Dosis (in mSv) erfolgt pro MBq verabreichter Aktivität oder auch für eine vorgegebene verabreichte Aktivität. Gemessene Residenzzeiten für ein Nuklid können unter Verwendung der physikalischen Halbwertzeiten umgerechnet werden, so dass sich hieraus Organdosen für andere Nuklide als das prä-therapeutisch verwendete vorhersagen lassen.

5. Zusammenfassung

Inkorporierte Aktivitäten und auftretende Dosen können um mehr als sieben Größenordnungen zwischen der beruflich bedingten Inkorporation und der medizinisch begründeten Verabreichung variieren. Das rechnerische Vorgehen zur Ermittlung von Organdosen und der effektiven Dosis ist trotzdem in beiden Fällen ähnlich; allerdings gehen unterschiedliche Daten in die Rechnung ein.

Zur Bestimmung der Dosis aus einer beruflich bedingten Inkorporation oder einer Inkorporation durch Einzelpersonen der Bevölkerung wird eine Kinetik gemäß dem nuklidbezogenen Modell der ICRP für eine Referenzperson unterstellt, und unter Verwendung hierfür hinterlegter Dosisfaktoren werden daraus die inkorporierte Aktivität sowie Organ- und effektive Dosis errechnet. Zur Bestimmung der Dosis aus einer medizinisch (therapeutisch) begründeten Inkorporation wird versucht, die Kinetik patientenindividuell zu bestimmen und darüber die Zahl der Zerfälle in den interessierenden Quellenregionen im Körper zu ermitteln. Diese Zahl der Zerfälle (bzw. die damit direkt korrelierte sogenannte Residenzzeit des MIRD Schemas) wird dann mit den physikalischen Eigenschaften des Nuklids und den daraus abgeleiteten S-Werten zu Dosiskoeffizienten (typisch mGy/MBq) verrechnet. Hieraus lässt sich dann z.B. auch ermitteln, welche Aktivität maximal verabreicht werden darf, um eine vorgegebene Dosis in einem kritischen Organ nicht zu überschreiten. Für höhere effektive Dosen durch beruflich bedingte Inkorporation (also im Bereich einiger Millisievert) sieht auch die RiPhyKo [4] im Individualverfahren eine aus diesen Methoden kombinierte Vorgehensweise vor.
Da die Entwicklung der Verfahren bei ICRP und MIRD über viele Jahre parallel und unabhängig verliefen, haben sich unterschiedliche Terminologien für eigentlich gleiche Rechenverfahren etabliert. Es wird eine der zukünftigen Aufgaben im „Arbeitskreis Inkorporationsüberwachung“ AKI sein, zu einer Vereinheitlichung dieser Terminologie beizutragen, die bereits durch MIRD und ICRP begonnen wurde [3]. Eine weitere Aufgabe im AKI wird es sein, Hinweise zur Handhabung der immer komplexer werdenden Modelle der ICRP zu geben. Das Akronym AKI kann insofern allgemeiner als bisher als „Arbeitskreis Interne Dosimetrie“ verstanden werden.

6. Literaturverzeichnis

[1] Loevinger R, Budinger TF, Watson EE. MIRD Primer for Absorbed Dose Calculations. Revised ed. New York, NY: The Society of Nuclear Medicine; 1991.

[2] International Commission on Radiological Protection ICRP. The 2007 Recommendations the International Radiological of Commission Protection, ICRP Publication 103, Ann. ICRP 37 (2-4), 2007

[3] Bolch, WE, Eckerman, KF, Sgouros, G. and Thomas SR. MIRD Pamphlet No. 21: A Generalized Schema for Radiopharmaceutical Dosimetry—Standardization of Nomenclature. Journal of Nuclear Medicine Vol. 50 No. 3 477-484 (2009).

[4] Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit, Richtlinie für die physikalische Strahlenschutzkontrolle zur Ermittlung der Körperdosen, Teil 2: Ermittlung der Kör-perdosis bei innerer Strahlenexposition (Inkorporationsüberwachung) (§§ 40, 41 und 42 StrlSchV), GMBl Nr. 31/32, 623ff, 2007.

[5] Schicha, H., Schober, O. (Hrsg.): Nuklearmedizin – Basiswissen und klinische Anwendung. 7. Auflage. Stuttgart: Schattauer 2012.

[6] International Commission on Radiological Protection ICRP, 1979. Limits for Intakes of Radionuclides by Workers. ICRP Publication 30 (Part 1). Ann. ICRP 2 (3-4), 1979.

[7] International Commission on Radiological Protection ICRP, Age-dependent Doses to Members of the Public from Intake of Radionuclides - Part 1. ICRP Publication 56. Ann. ICRP 20 (2), 1990.

[8] International Commission on Radiological Protection ICRP, Age-dependent Doses to Members of the Public from Intake of Radionuclides - Part 2 Ingestion Dose Coefficients. ICRP Publication 67. Ann. ICRP 22 (3-4), 1992.

[9] International Commission on Radiological Protection ICRP. Age-dependent Doses to Members of the Public from Intake of Radionuclides - Part 3 Ingestion Dose Coefficients. ICRP Publication 69. Ann. ICRP 25 (1). 1995.

[10] International Commission on Radiological Protection ICRP, Individual Monitoring for Internal Exposure of Workers, ICRP Publication 78, Pergamon Press, Ann. ICRP 27 (3-4), 1997.

[11] International Commission on Radiological Protection ICRP, Human alimentary tract model for radiological protection, ICRP Publication 100, Ann. ICRP 36 (1-2)., 2006.

[12] International Commission on Radiological Protection ICRP. 1990 Recommendations of the International Commission on Radiological Protection. ICRP Publication 60. Ann. ICRP 21 (1-3), 1991.

[13] International Commission on Radiological Protection ICRP. Human Respiratory Tract Model for Radiological Protection. ICRP Publication 66. Ann. ICRP 24 (1-3), 1994.

[14] Eschner W, Kobe C, Schicha H. Follow-up on thyroidal uptake after radioiodine therapy: how robust is the peri-therapeutic dosimetry? Z Med Phys. 2011;21(4):258-65. doi:10.1016/j.zemedi.2011.04.006. Epub 2011 Jun 29.

[15] Snyder, W.S., Ford, M.S., Warner, G.G., Fisher, H.L. Jr. MIRD Pamphlet #5 Revised: Esti-mates of Absorbed Fractions for Monoenergetic Photon Sources Uniformly Distributed in Various Organs of a Heterogeneous Phantom; August 1969; J Nucl Med Suppl Number 3.

[16] Xu GX, Eckerman KF (eds), Handbook of Anatomical Models for Radiation Dosimetry (Series in Medical Physics and Biomedical Engineering), Taylor and Francis Group LLC, Boca Raton, FL, USA, 2009.

[17] International Commission on Radiological Protection ICRP, Basic Anatomical and Physiological Data for Use in Radiological Protection Reference Values. ICRP Publication 89. Ann. ICRP 32 (3-4), 2002.

[18] International Commission on Radiological Protection ICRP. Adult Reference Computational Phantoms. ICRP Publication 110. Ann. ICRP 39 (2), 2009.

[19] International Commission on Radiological Protection ICRP. Radiation Dose to Patients from Radiopharmaceuticals - Addendum 3 to ICRP Publication 53. ICRP Publication 106. Ann. ICRP 38 (1-2), 2008.

[20] Stabin MG, Sparks RB, Crowe E. OLINDA/EXM: the second-generation personal computer software for internal dose assessment in nuclear medicine. J Nucl Med. 2005 Jun;46(6):1023-7, 2005.

WIE KÖNNEN WIR MIT UNSICHERHEITEN LEBEN?

HOW TO LIVE WITH UNCERTAINTIES?

R. Michel

Institut für Radioökologie und Strahlenschutz, Leibniz Universität Hannover, Deutschland

Zusammenfassung *— In einer kurzen Einführung wird die Problematik von Unsicherheit als genereller Konsequenz unvollständiger Information und ihrer Quantifizierung in der Metrologie angesprochen. Nach einer Darstellung der mehr als 30-jährigen Geschichte des AK SIGMA folgt eine Bestandsaufnahme des bisher geleisteten und es wird ein Blick in die mögliche Zukunft des AK SIGMA anhand aktuell bevorstehender Aufgaben sowie offener Fragen und zukünftiger Themen gewagt.*

Summary *— In a short introduction, the problem of uncertainty as a general consequence of incomplete information as well as the approach to quantify uncertainty in metrology are addressed. A little history of the more than 30 years of the working group AK SIGMA is followed by an appraisal of its up-to-now achievements. Then, the potential future of the AK SIGMA is discussed based on its actual tasks and on open scientific questions and future topics.*

Schlüsselwörter *— Messunsicherheiten, charakteristische Grenzen, Bayes Statistik, Normung*
Keywords *— uncertainty in measurement, characteristic limits, Bayes Statistics, standardization*

1. Einleitung

Die Antwort lautet: Offensichtlich mehr oder weniger gut. Denn Unsicherheit ist eine charakteristische Eigenschaft der menschlichen Existenz, mit der der Mensch seit Anbeginn mehr oder weniger gut lebt. Doch: Was ist Unsicherheit? Woher rührt Unsicherheit?

Unsicherheit ist, dass ich nicht weiß,

- wie die Würfel fallen werden,
- ob es ein Junge oder ein Mädchen wird,
- ob der Flügelschlag eines Schmetterlings für das heutige Wetter verantwortlich ist,
- wann ein Kern zerfallen wird,
- was die Zukunft bringen wird,
- was die Wahrheit ist oder was der wahre Wert einer Größe ist,
- welche Einflussgrößen mein experimentelles Ergebnis beeinflussen,
- ob zwei Größen ursächlich miteinander verbunden sind,
- ob ein System sich deterministisch, stochastisch oder chaotisch verhält,
- ob der Zufall die Welt regiert, …

Letztlich beruhen Unsicherheiten, die ein wesentliches Charakteristikum menschlicher Erkenntnis und menschlichen Handelns sind, auf Mangel an Information. Wir schließen und entscheiden immer unter Unsicherheit, d.h. auf der Grundlage unvollständiger Information.

Unsicherheiten können durch Wahrscheinlichkeiten quantifiziert werden. Wenn alles unsicher ist, muss man sich auf Wahrscheinlichkeiten verlassen. So sagte James Clerk Maxwell im Jahr 1850 „The true logic for this world is the calculus of probabilities, which takes account of the magnitude of the probability which is, or ought to be, in a reasonable man‘s mind“ [1]. Erfolg entscheidet über die Wahrheit.

Die Wahrscheinlichkeitstheorie oder Wahrscheinlichkeitsrechnung stellt das Handwerkszeug zur Verfügung, um Wahrscheinlichkeiten zu quantifizieren, fortzupflanzen und fortzuschreiben. Das mathematische Regelwerk ist relativ überschaubar und wenige Prinzipien reichen aus, aus der verfügbaren Information die für die jeweilige Fragestellung gesuchte Wahrscheinlichkeitsdichte (PDF; probability density function) zu bestimmen. Grundlegend ist das Indifferenzprinzip der Wahrscheinlichkeitstheorie, das auch Prinzip vom unzureichenden Grund genannt wird [2]. Es besagt: „Existieren $n > 1$ unterscheidbare und sich gegenseitig ausschließende Ereignismöglichkeiten, dann ist ohne Vorliegen weiterer Informationen die Eintrittswahrscheinlichkeit jedes Ereignisses $p = 1/n$.“ Es wird auch als Bernoulli Prinzip zitiert [3]. Das Indifferenzprinzip ist eng verbunden mit dem Prinzip der maximalen Informationsentropie (PME) [4] und dem Bayes Theorem [5].

Die genannten Prinzipien werden in der Metrologie genutzt, um Messunsicherheiten zu quantifizieren. In den 1990er Jahren wurde die Ermittlung von Messunsicherheiten im ISO Guide for the Expression of Uncertainty in Measurement (GUM) [6] und der Normenreihe DIN 1319 [7, 8] standardisiert. Die Methodik des GUM wurde auch in andere Regelwerke übernommen [9-13]. Die Grundlage des GUM bildet eine Bayes’sche Theorie der Messunsicherheiten [14], die das PME und den Multiplikationssatz zur Aufstellung der benötigten PDFs nutzt. Nach anfänglichen Akzeptanzproblemen und vielfältigen Diskussionen um die statistischen Grundlagen des GUM, wurde der GUM im Jahr 2008 erneut publiziert [15-17] und erweitert [18, 19]. Heute stellt der GUM ein international akzeptiertes Regelwerk zu Ermittlung von Messunsicherheiten dar.

Die Metrologie beschreibt, indem sie zu einem Messergebnis die zugehörige Unsicherheit quantifiziert, aber sie entscheidet nicht. Sie entscheidet zum Beispiel nicht, wann zwei Messergebnisse unter Berücksichtigung ihrer Unsicherheiten als gleich, d.h. miteinander konform, anzusehen sind [20]. Sie entscheidet auch nicht, ob bei einer Messung ein Beitrag der Probe gegenüber einem Blindwert oder einer Untergrundstrahlung erkannt wird.

Derartige Entscheidungen sind aber im praktischen Strahlenschutz und in vielen anderen Anwendungsbereichen essentiell. Der AK SIGMA des FS stellt sich seit den 1980er Jahren derartigen Fragestellungen. Es waren drei praktisch wichtige Fragen zu beantworten:

- Ist unter den gemessenen Kernstrahlungsereignissen ein Beitrag der Probe?
- Wie groß ist der kleinste Probenbeitrag, der zuverlässig nachgewiesen werden kann?
- Falls ein Probenbeitrag erkannt wurde, wie groß ist der Wertebereich der Messgröße, der mit großer Sicherheit den wahren Wert der Messgröße enthält?

Die drei Fragen werden mit dem Konzept der charakteristischen Grenzen (Erkennungsgrenze, Nachweisgrenze und Grenzen des Vertrauens- oder Überdeckungsbereichs) beantwortet:

- Die Erkennungsgrenze entscheidet die Frage, ob unter den gemessenen Signalen ein Beitrag der Probe ist.
- Die Nachweisgrenze nennt den kleinsten wahren Wert des Probenbeitrages, der zuverlässig gemessen werden kann.

– Die Grenzen des Vertrauens- oder Überdeckungsbereichs geben ein Intervall an, das den wahren Wert der Messgröße mit einer vorgegebenen Wahrscheinlichkeit enthält.

In diesem Beitrag wird die 30jährige Geschichte des AK SIGMA und der in ihm entwickelten Normenreihen DIN 25482 und ISO 11929 kurz nachgezeichnet. Es folgt eine Bestandsaufnahme der derzeitigen Situation und der aktuellen Aufgaben. Abschließend werden mögliche zukünftige Aufgaben des AK SIGMA und offene Fragestellungen diskutiert.

2. Geschichte des AK SIGMA und der Normen DIN 25482 und ISO 11929

Der AKSIGMA wurde Ende 1981 gegründet. Erster Sekretär war Prof. Dr. Heinrich Schultz von der Universität Hannover bis zu einer Pensionierung im Jahre 1984. Nächster Sekretär wurde Prof. Dr. Klaus Kirchhoff, Niedersächsisches Landesamt für Ökologie, Hannover bis zu seinem Tode im Jahr 2000. Seitdem ist Prof. Dr. Rolf Michel, Zentrum für Strahlenschutz und Radioökologie der Universität Hannover, der Sekretär des AK SIGMA. Der AK SIGMA war gleichzeitig der von BMU/BfS geförderte DIN Normenausschuss NMP 722 "Radioaktivitätsmessung in der Umwelt und Nachweisgrenzen" und diente als solcher als Spiegelgremium zu ISO/TC85/SC2/WG17 „Radioactivity Measurements“.

Seit April 2002 erhielt das DIN keine Förderung mehr durch BMU/BfS für die Vorhaben des NMP 722. Daher wurden die Arbeiten des NMP 722 seitens des DIN eingestellt. Seit dem Jahr 2003 arbeitete der AK SIGMA ohne ein Mandat des DIN an der Weiterentwicklung der Normen DIN 25482 und ISO 11929. Die Tätigkeit in ISO TC85/SC2/WG17 wurden mit Duldung des DIN weitergeführt. Von 1997 bis 2005 war der Sekretär des AK SIGMA Convenor von WG 17; er wurde dann von Dr. Dominique Calmet (CEA) abgelöst, da sich auch kein erneutes Engagement des DIN abzeichnete.

Die Deutsche Kommission Elektrotechnik, Elektronik, Informationstechnik (DKE) im DIN und VDE und der Normenausschuss Radiologie (NAR) im DIN fanden schließlich eine Lösung für diesen unbefriedigenden Zustand. Im Jahr 2006 einigte man sich auf eine Arbeitsteilung, die die Vertretung Deutschlands in ISO/TC85/SC2 „Radiological Protection“ für die Zukunft sicherstellt. Es wurde die Gründung eines gemeinschaftlichen Arbeitskreises GAK 967.2.1 „Nachweis- und Erkennungsgrenzen bei Kernstrahlungsmessungen“ beschlossen. Der AK SIGMA des FS nimmt die Aufgaben dieses GAK wahr. Als Leiter des AK wurde der Sekretär des AK SIGMA berufen. Damit besteht in Zukunft die Möglichkeit der Mitarbeit sowohl an ISO als auch an IEC Normen.

Zehn Jahre nach seiner Gründung stellte der AK SIGMA mit DIN 25482-1 [21] seine erste Norm zur Ermittlung von Erkennungs-, Nachweis- und Vertrauensgrenzen fertig. Diese und die folgenden Teile 2 bis 7 der Normenreihe 25482 [22-27] wurden auf der Grundlage der konventionellen oder frequentistischen Statistik entwickelt. Dazu war teilweise die Durchführung aufwendiger Forschungsvorhaben erforderlich, die vom BMU gefördert wurden [28-31]. Auch eine Reihe von Beiblättern wurde zu DIN 25482 erstellt [32-35]. Die ersten sieben Teile von DIN 25482 fanden ihre internationale Entsprechung in ISO 11929 Teile 1 – 4 [36-39]. In diesen Normen konnten auf der Grundlage der konventionellen Statistik lediglich die zählstatistischen Unsicherheiten und die Unsicherheiten, die sich bei wiederholten Messungen zufällig verhalten, bei der Festlegung der charakteristischen Grenzen berücksichtigt werden. Eine historische Übersicht zu den verwendeten Methoden von DIN 25482 1 – 7 und die Ursprünge

der Festlegung charakteristischer Grenzen in den 1960er Jahren sind bei Michel und Kirchhoff [40] zu finden.

Seit Ende der 1990er Jahre wurde die Berechnung der charakteristischen Grenzen auf eine neue, tragfähigere Grundlage gestellt [41-44]. Der neue, allgemeinere Ansatz auf der Grundlage der Bayes-Statistik, z.B. [45-52], erlaubte die Berücksichtigung vollständiger Messunsicherheiten nach den Normen DIN 1319-3 [7] und DIN 1319-4 [8] bzw. dem GUM [6]. Mit DIN 25482-10 [53] wurde das Problem der Bestimmung der charakteristischen Grenzen im Jahr 2000 allgemein gelöst. Dabei war die Anwendbarkeit von DIN 25482-10 nicht nur auf Kernstrahlungsmessungen beschränkt. Die Norm ist auf alle Messverfahren anwendbar, für die Messunsicherheiten nach DIN oder ISO ermittelt werden können. In den Teilen 11 bis 13 [54-56] von DIN 25482 wurde DIN 25482-10 auf Messungen mit Albedo-Dosimetern, die Entfaltung von Spektren und auf zählende Messungen an bewegten Objekten angewandt. DIN 25482-10 fand seine Entsprechung in ISO 11929-7 [57]; auch die Teile 5, 6 und 8 von ISO 11929 [58-60] benutzten den neuen Ansatz.

Es ergab sich der unbefriedigende Zustand, dass in beiden Normenreihen nicht miteinander verträgliche statistische Ansätze benutzt wurden. Also war eine Revision der ersten sieben Teile von DIN 25482 und der ersten vier Teile von ISO 11929 erforderlich, um diese an DIN 25482-10 bzw. ISO 11929-7 anzupassen. Dazu wurde 2004 ein Vorschlag für eine Norm, die Teile 1 – 7 von DIN 25482 mit DIN 25482-10 konsistent machte, als FS Publikation veröffentlicht: zuerst in Deutsch [61], dann in Englisch [62] als Grundlage für ISO 11929.

3. Bestandsaufnahme

Mit der Publikation von ISO 11929 im März 2010 hat das Interesse an charakteristischen Grenzen massiv zugenommen. In Deutschland erschien DIN ISO 11929 im Januar 2011. Dies hat anscheinend für Überraschung und für massiven Änderungsbedarf bei den Nutzern der früheren und nun zurückgezogenen DIN 25482 gesorgt. Grund ist, dass im Regelwerk vielfach auf geforderte Nachweisgrenzen Bezug genommen wird. Dabei ist das Neue nicht ISO 11929; dies stand alles schon in ISO 11929-7 bzw. DIN 25482-10 und es war nichts anderes als die konsequente Umsetzung des GUM. Auf den GUM war aber bisher im Regelwerk nicht Bezug genommen worden und man war vielfach zufrieden mit der ausschließlichen Berücksichtigung der Unsicherheiten, die sich aus dem Poisson-Prozess des radioaktiven Zerfalls ergaben. Es wäre wünschenswert, dass das Regelwerk explizit Bezug auf den GUM und seine Supplements nähme. Aber das ist in Deutschland in der Vergangenheit nicht geschehen.

Der GUM fordert die Berücksichtigung aller Quellen der Unsicherheit und kommt dabei zu einer realistischeren Einschätzung der tatsächlichen Unsicherheiten. Dabei ist der GUM minimalistisch, indem er das Ergebnis einer nach dem ersten Glied abgebrochenen Taylorreihen-Entwicklung ist und nur für linearisierbare Modelle der Auswertung gilt. Erst im Jahr 2008 wurde mit dem Supplement 1 [18] zum GUM ein allgemein anwendbares Verfahren auf der Grundlage von Monte Carlo Rechnungen empfohlen.

Was ist nun das Neue und über den GUM Hinausgehende in ISO 11929? Der GUM sagt, wie Unsicherheiten zu bestimmen sind und sagt auch, wie einige charakteristische Grenzen, nämlich die Grenzen des Vertrauens- oder Überdeckungsbereichs, zu berechnen sind. Aber der GUM entscheidet nicht. Das Wesentliche in ISO 11929 ist die Einführung der Erkennungsgrenze, anhand derer entschieden wird, ob ein Probenbeitrag vorliegt. Dies ist nicht Gegen-

stand einer Theorie oder Anwendung der Messunsicherheiten, dies ist eine Frage der Entscheidungstheorie. Entscheiden kann man nur, wenn man Gewinn und Verlust gegeneinander abwägt. Dies geschieht in der Entscheidungstheorie auf der Grundlage von Verlustfunktionen, die beides – Gewinn und Verlust - quantifizieren. Welche Verlustfunktion man annimmt, liegt in der Wahl des Anwenders, da diese Wahl eine Bewertung darstellt. ISO 11929 liegt eine quadratische Verlustfunktion zugrunde.

Der AK SIGMA hat nach Entwicklung der Normenvorschläge [61, 62] für ISO 11929 die Grundlagen zur Bestimmung der charakteristischen Grenzen auch in der wissenschaftlichen Literatur publiziert [63]. Mit einer weiteren Publikation [64] hat er sich auf eine mögliche Erweiterung von ISO 11929 auf Monte Carlo Verfahren im Rahmen des GUM Supplement 1 [18] vorbereitet. Dies dient auch der Vorbereitung auf die routinemäßige Revision von ISO 11929, die fünf Jahre nach Erscheinen anstehen wird.

Der Schwerpunkt der Vorbereitung der zukünftigen Revision ist, die Norm „kundenfreundlicher“ zu gestalten. Das heißt mehr explizite Darstellungen der Berechnung der charakteristischen Grenzen für die verschiedenen Anwendungen und – vor allem – explizite numerische Beispiele. Es ist in geplant, zuerst eine Beispielsammlung als Beiblatt zu DIN ISO 11929 zu publizieren. Eine Diplomarbeit [65] am Institut für Radioökologie und Strahlenschutz der Leibniz Universität Hannover ist dazu ein erster Schritt.

Daneben arbeitet der AK SIGMA unter Federführung durch Prof. Klaus Weise, einem Mitglied der ersten Stunde des AK SIGMA, an einer weiteren grundlegenden Publikation. Nachdem nach einer Diskussion von mehr als zwei Jahrzehnten geklärt ist, dass das GUM Regelwerk nur auf der Grundlage der Bayes Statistik begründbar ist, gibt es vielfache Diskussion – um nicht zu sagen Streit -, wie die „wahre“ Bayes’sche Herangehensweise ist. Der Streit konzentriert sich um die Frage, ob die GUM Methodik der Anwendung des PME in Verbindung mit dem Multiplikationssatz oder die alleinige Anwendung des Bayes Theorems der „richtige“ Weg ist. Ein weiteres Thema ist die Begründung der in ISO 11929 benutzten quadratischen Verlustfunktion, die eng verbunden mit der Begründung des Prinzips der kleinsten Quadrate nach Gauß zusammenhängt. Außerdem sollen noch einige offene Fragen zur Behandlung von Mehrfachmessungen und zu Entfaltungsverfahren abgehandelt werden.

Ein andauerndes Problem des AK SIGMA ist die geringe Anzahl der Mitarbeiter. Von maximal 20 Mitgliedern kann man knapp die Hälfte als „harten Kern“ des Arbeitskreises bezeichnen. Angesichts der Komplexität der behandelten Aufgabenstellungen wird aber Arbeitseinsatz und Kontinuität der Arbeit benötigt. Derzeit ist die Nachfrage wegen der Aktualität von DIN ISO 11929 gut. Aber, ob AK SIGMA längerfristig überleben wird, ist offen. Es kommt auf den Bedarf an. Die Existenz des AK SIGMA steht und fällt mit denen, die sich zu engagieren bereit sind. Darum werden in den beiden folgenden Abschnitten dieses Beitrages möglich weitere Zukunftsthemen des AK SIGMA behandelt.

4. Zukunft des AK SIGMAS

Wenn man von Zukunft spricht, sind die nächsten fünf Jahre eine halbwegs überschaubare und planbare Zukunft. Darüber hinaus sind sicher keine Vorhersagen möglich.

Der AK SIGMA hat als gemeinsamer Arbeitskreis GAK 967.2.1 „Nachweis- und erkennungsgrenzen bei Kernstrahlungsmessungen“ des DKE und des NAR im DIN Zukunftsaufga-

ben übernommen. Diese umfassen die die Pflege von DIN ISO 11929 und die Arbeit als Spiegelgremium beim DKE für ISO/TC85/SC2/WG17 „Radioactivity Measurements“.

Darüber hinaus hat der AK SIGMA sich bereit erklärt, an der Aktualisierung der Messanleitungen des Bundes und des AKU mitzuwirken. Der AK SIGMA hat auch seine Bereitschaft erklärt, als Anlaufstelle für die Anwender zu fungieren, die mit ihren Fragestellungen alleine nicht fertig werden. Dabei stellt sich heraus, dass für die Anwender die fortdauernde Erklärung der Grundlagen sowie theoretische und praktische Ausbildung unabdingbar sind. Aus dem AK SIGMA heraus wurden und werden vielfältige Informations- und Weiterbildungsveranstaltungen durchgeführt; am FTU des KIT werden seit Jahren regelmäßig Schulungskurse veranstaltet.

Problematisch für die Anwender sind nicht nur das Grundlagenverständnis zum GUM und ISO 11929 sondern auch ganz praktische Aspekte. So werden Erkennungsgrenze und Nachweisgrenze immer wieder falsch angewandt und man stolpert in einem Wirrwarr der Nomenklaturen, mit denen in Deutschland die verschiedenen Normungsgremien die charakteristischen Grenzen belegen.

Eine weiter derzeit offene Frage ist: Wie entwickeln sich die mathematischen Hilfsmittel und welche EDV-Lösungen können und sollen angeboten werden? Für die Anwendung des GUM werden bereits kommerzielle Lösungen, z.B. GUM Workbenchs, angeboten. Für die Anwendung von ISO 11929 ist die Entwicklung noch nicht abzusehen. Für viele Einzelanwendungen können einfache EXCEL-Spreadsheets als Lösung angeboten werden. Monte Carlo Add-ons für EXCEL erlauben auch die Behandlung von Problemen nach dem GUM Supplement 1 und nach Weise et al. [64]. Aus dem Kreis der Leitstellen für die Überwachung der Umweltradioaktivität wurde durch G. Kanisch ein dediziertes Programmsystem „UncertRadio“ [66] entwickelt, mit dem auch komplexe Probleme behandelt werden können. Nicht zuletzt wird aber auch die Industrie gefragt sein, Produkte anzubieten, die konform mit dem GUM und ISO 11929 sind.

Diese Entwicklung zu begleiten und aktiv voranzutreiben, ist dies alles sicher Arbeit genug für die nächsten 5 Jahre. Bleibt die Frage, wohin geht es wissenschaftlich? Dies soll abschließend behandelt werden.

5. Offene Fragen und zukünftige Themen

Bisher konzentrierte sich die Arbeit des AK SIGMA auf die statistischen Grundlagen der Unsicherheit in der Metrologie und die Entscheidungsfindung bei der Messung von Radioaktivität in Testobjekten oder bei dosimetrischen Fragestellungen. Aber Unsicherheiten sind auch in anderen Bereichen des Strahlenschutzes relevant.

So ist eine nicht abschließend beantwortete Frage, wann ist ein Messwert konform mit einem Grenz- oder Richtwert? Auch dies ist eine Frage, auf die reine Metrologie keine Antwort gibt, der Mensch muss eine Entscheidungsregel festlegen. Dies ist Sache der Regulatoren, aber geeignetes statistisches Rüstzeug muss von der Wissenschaft empfohlen werden.

Aber nicht für alle Fragestellungen des Strahlenschutzes benötigt man Entscheidungen. Es gibt z.B. Anforderungen zur Bilanzierung von Ableitungen radioaktiver Stoffe, die auch ohne Entscheidungsregeln sinnvoll durchführbar sind. Dies könnte eine Abkehr vom bisherigen

System der Überdeckungsintervalle und die Anwendung kürzester Überdeckungsintervall, die auch die „Null“ enthalten können, bedeuten. Anforderungen an die Empfindlichkeit des Nachweises könnten auch anders als über geforderte Nachweisgrenzen gestellt werden; z.B. über geforderte relative Unsicherheiten bei der Bestimmung eines geforderten wahren Wertes einer Messgröße. .

Auch in der Epidemiologie ist die Behandlung von Unsicherheiten fundamental. Leider sprechen Metrologie und Epidemiologie derzeit nicht dieselbe Sprache. Während die Metrologie inzwischen durch die Bayes Statistik dominiert wird, werden in der Epidemiologie vielfach die konventionelle und die Bayes Statistik nebeneinander verwendet, bisweilen sogar unkritische Mischungen beider Ansätze. Hier wird die Frage nach der Äquivalenz der beiden Statistiken wichtig.

Zwischen Metrologie und Epidemiologie gibt es außerdem eine gravierende Konfusion der Nomenklatur von Unsicherheiten. Der GUM unterscheidet sog. Typ A und Typ B Unsicherheiten, wobei dies keine unterschiedlichen Arten von Unsicherheiten sind, sondern eine Unterscheidung der Methodik, wie diese Unsicherheiten gewonnen werden. In der Epidemiologie werden mit Typ A und Typ B unterschiedliche Arten von Unsicherheiten unterschieden, nämlich epistemische bzw. aleatorische Unsicherheiten.

Epistemische Unsicherheiten (Typ A) beinhalten Messunsicherheiten, Modellunsicherheiten oder prinzipielle physikalische Eigenschaften (fehlende Vorhersagbarkeit), also Unwissen, während aleatorische Unsicherheiten (Typ B) aufgrund von Variabilität von Einflussgrößen zustande kommen. Im Allgemeinen treten sowohl in der Metrologie als auch in der Epidemiologie Kombinationen aleatorischer und epistemischer Unsicherheiten auf. Daher werden diese in der Metrologie meist nicht unterschieden. The Unterscheidung von TYP A und Typ B Unsicherheiten nach dem GUM ist allerdings für die Wahl des statistischen Handwerkszeuges essentiell. Die Typ B Unsicherheiten des GUM können nicht mit der konventionellen Statistik sondern nur mit der Bayes Statistik behandelt werden. Die Auflösung dieser Inkonsistenzen zwischen Metrologie und Epidemiologie wird noch lange ein Thema sein.

Noch längst werden nicht alle Quellen der Unsicherheit bei Fragen des Strahlenschutzes berücksichtigt. Man arbeitet immer wieder mit Größen, für die feste Werte im Regelwert vorgeschrieben sind, die aber in der Realität der Dosimetrie und der Risikoabschätzung unsicher sind. Als Beispiel seien nur die ICRP Dosiskoeffizienten genannt. Hier öffnet sich ein weites Feld zukünftiger statistischer Überlegungen.

Auch die internationalen Organisationen haben die Bedeutung der Berücksichtigung von Unsicherheiten erkannt. So arbeitet UNSCEAR derzeit an Papieren über Unsicherheiten bei Schätzungen des Krebsrisikos als Folge von Strahlenexpositionen mit ionisierender Strahlung sowie zur Fähigkeit gesundheitliche Effekte Expositionen durch ionisierende Strahlung zuzuschreiben.

Auch in ihrer grundlegenden Empfehlung 103 hat die ICRP im Zusammenhang mit den Überlegungen zur Optimierung die Bedeutung von Verteilungen von Strahlenexpositionen in existierenden und Notfall-Expositionssituationen hervorgehoben. Die Umsetzung von ICRP 103 wird erfordern, dass Punktschätzwerte der Strahlenexpositionen in der Zukunft durch Verteilungen der Expositionen ersetzt werden müssen. Dies kann nur durch probabilistische Verfahren erreicht werden.

Ein weiteres Zukunftsthema werden Modellrechnungen für die Endlagerung radioaktiver Abfälle sein. Langzeitsicherheitsnachweise sind ohne probabilistische Verfahren auf der Grundlage der Bayes Statistik nicht zu führen. Dabei sei auf einen vorteilhaften Aspekt der Analyse von Unsicherheiten hingewiesen. Sie erfordert, sich darüber klar zu werden, was man wirklich weiß. Unsinnigen Annahmen und vermeintliches Wissen kann zu gravierenden Fehlern führen. Die Analyse von Unsicherheiten eröffnet auch die Möglichkeit herauszufinden, welch Information zu beschaffen essentiell ist.

Der Begriff Unsicherheit ist schließlich eng mit dem Begriff Risiko verbunden, da Risiko nichts anderes ist als Eintrittswahrscheinlichkeit mal Schadensumfang. Die Gesellschaft fordert vielfach „Nullemissionen“ oder „Nullrisiko“; Forderungen, die grundsätzlich unsinnig sind. Angesichts der Unsicherheit jeder Erkenntnis, ist die Null nie nachweisbar? Und damit sind wir wieder bei ISO 11929 – dem Thema des AK SIGMA.

6. Ausblick

Um zu einem rationalen Umgang mit Risiken zu kommen, benötigt die Gesellschaft die Auseinandersetzung mit Unsicherheiten. Das wird ein langer Weg sein. Aber wir sollten daran arbeiten. Der AK SIGMA kann dazu einen kleinen Beitrag leisten.

7. Danksagung

Ich möchte mich persönlich sehr herzlich bei alle Kolleginnen und Kollegen, die seit 1987 im AK SIGMA und seinem Umfeld mitgewirkt haben, für die interessante Zusammenarbeit bedanken. Im Namen des AK SIGMA danke ich dem Deutsch-Schweizerischen Fachverband für Strahlenschutz e.V. sowie BMU, BfS, DKE und ISO für Förderung und Unterstützung. Ein besonderer Dank des AK SIGMA gilt Prof. Dr. K. Becker und W. Erdtmann vom DIN und G. Vogel vom DKE für die jahrelange Betreuung bei der Normungsarbeit bei DIN, DKE und ISO.

8. Literaturverzeichnis

[1] Maxwell, J. C. , Harman, P. M. (Hrsg.), The Scientific Letters and Papers of James Clerk Maxwell, Vol. 1, 1846 – 1862 (1990) 197.

[2] Laplace, P.S., Théorie Analytique des Probabilités (1812).

[3] Weise, K., Wöger, W. A Bayesian theory of measurement uncertainty. Meas. Sci. Technol. 4 (1993) 1 – 11.

[4] Jaynes, E.T. Papers on probability, statistics and statistical physics. ed. R.D. Rosenkrantz, (Boston, New York, Dordrecht: Kluwe Publ.) (1989).

[5] Bayes, Th., Essay towards solving a problem in the doctrine of chances, The Philosophical Transactions 53 (1763) 370 – 418; nachgedruckt durch G.A. Barnard; Thomas Bayes, Biometrika 45, No.3/4 (Dec. 1958) 293 – 315.

[6] ISO Guide to the Expression of Uncertainty in Measurement. ISO, Genf (1993), korrigierter Neudruck (1995).

[7] DIN 1319-3:1996-05 Grundlagen der Meßtechnik - Teil 3: Auswertung von Messungen einer einzelnen Meßgröße, Meßunsicherheit, Beuth Verlag, Berlin (1996).

[8] DIN 1319-4: 1999-02, Behandlung von Unsicherheiten bei der Auswertung von Messungen, Beuth Verlag, Berlin (1999).

[9] ANSI/NCSL Z540.2-1997 (R2007) U.S. Guide to the Expression of Uncertainty in Measurement, National Conference of Standards Laboratories International (1997).

[10] EURACHEM/CITAC, Guide CG 4, Quantifying uncertainty in analytical measurement. 2nd edition. (2000), http://www.eurachem.ul.pt/guides/QUAM2000-1.pdf.

[11] IAEA, Quantifying uncertainty in nuclear analytical measurements, IAEA Tecdoc 1401, IAEA, Vienna (2004).

[12] DIN VDE 0493 Beiblatt 2: Strahlenschutzinstrumentierung, Bestimmung der Unsicherheit beim Messen, Beuth Verlag, Berlin (2007).

[13] DIN V ENV 13005:1999-06, Leitfaden zur Angabe der Unsicherheit beim Messen, Deutsche Fassung ENV 13005:1999, Beuth Verlag, Berlin (1999).

[14] Weise, K. and Wöger, W. Meßunsicherheit und Meßdatenauswertung. Wiley-VCH, Berlin (1999).

[15] JCGM, International vocabulary of metrology - Basic and general concepts and associated terms (VIM) (2008), http://www.bipm.org/en/publications/guides/.

[16] JCGM, Evaluation of measurement data - Guide to the expression of uncertainty in measurement (GUM) (2008), http://www.bipm.org/en/publications/guides/.

[17] JCGM, An Introduction to the „Guide to the expression of uncertainty in measurement“ and related documents (2008), http://www.bipm.org/en/publications/guides/.

[18] JCGM, Evaluation of measurement data – Supplement 1 to the "Guide to the expression of uncertainty in measurement” – Propagation of distributions using a Monte Carlo Methods (2008), http://www.bipm.org/en/publications/guides/.

[19] JCGM, Evaluation of measurement data - Supplement 2 to the "Guide to the expression of uncertainty in measurement" - Extension to any number of output quantities (2011), http://www.bipm.org/en/publications/guides/.

[20] Weise, K., W. Wöger, Comparison of two measurement results using the Bayesian theory of measurement uncertainty .Meas. Sci. Technol. 5 (1994) 879 – 882.

[21] DIN 25482-1: 1989-04, Nachweisgrenze und Erkennungsgrenze bei Kernstrahlungsmessungen, Zählende Messungen ohne Berücksichtigung des Probenbehandlungseinflusses, Beuth Verlag, Berlin (1989).

[22] DIN 25482-2: 1992-09, Nachweisgrenze und Erkennungsgrenze bei Kernstrahlungsmessungen, Zählende spektrometrische Messungen ohne Berücksichtigung des Probenbehandlungseinflusses, Beuth Verlag, Berlin (1992).

[23] DIN 25482-3: 1993-02, Nachweisgrenze und Erkennungsgrenze bei Kernstrahlungsmessungen, Messungen mit linearen, analog arbeitenden Ratemetern, Beuth Verlag, Berlin (1993).

[24] DIN 25482-4: 1995-12, Nachweisgrenze und Erkennungsgrenze bei Kernstrahlungsmessungen, Zählende alphaspektrometrische Messungen ohne Berücksichtigung von Probenbehandlungs- und Geräteeinflüssen, Beuth Verlag, Berlin (1995).

[25] DIN 25482-5: 1993-06, Nachweisgrenze und Erkennungsgrenze bei Kernstrahlungsmessungen, Zählende hochauflösende gamma-spektrometrische Messungen ohne Berücksichtigung des Probenbehandlungseinflusses, Beuth Verlag, Berlin (1993).

[26] DIN 25482-6:1993-02, Nachweisgrenze und Erkennungsgrenze bei Kernstrahlungsmessungen, Zählende Messungen mit Berücksichtigung des Probenbehandlungs- und Geräteeinflusses, Beuth Verlag, Berlin (1993).

[27] DIN 25482-7: 1997-09, Nachweisgrenze und Erkennungsgrenze bei Kernstrahlungsmessungen, Zählende Messungen an Filtern während der Anreicherung radioaktiver Stoffe, Beuth Verlag, Berlin (1997).

[28] Baringhaus, L., O. Mende, R. Michel, C.D. Wüneke, H. Zimmermann, Untersuchung stochastischer Verfahren zur Festlegung von Nachweisgrenzen bei Kernstrahlungsmessungen, Abschlußbericht zum Forschungsvorhaben St.Sch. 1084 des Bundesministers für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (1989).

[29] Baringhaus, L., O. Mende, R. Michel, C.D. Wüneke, H. Zimmermann, Nachweis- und Erkennungsgrenzen bei spektroskopischen Kernstrahlungsmessungen, Abschlußbericht zum Forschungsvorhaben St.Sch. 1106 des Bundesministers für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (1991), INIS-mf-14019, TIB Hannover: FR 5057.

[30] L. Baringhaus, O. Mende, R. Michel, C.D. Wüneke, H. Zimmermann, Nachweis- und Erkennungsgrenzen bei spektrometrischen Kernstrahlungsmessungen, Jubiläumstagung "Strahlenschutz für Mensch und Umwelt" 30. Sept. - 3. Okt. 1991, Aachen, in: H. Jacobs und H. Bonka (Hrsg.) Strahlenschutz für Mensch und Umwelt, Verlag TÜV Rheinland, Köln (1991) 1070 - 1075.

[31] Baringhaus, L., O. Mende, R. Michel, C.D. Wüneke, H. Zimmermann, Untersuchungen zur Festlegung von Nachweis- und Erkennungsgrenzen bei Kernstrahlungsmessungen mit Berücksichtigung der Probenbehandlung, Jubiläumstagung "Strahlenschutz für Mensch und Umwelt" 30. Sept. - 3. Okt. 1991, Aachen, in: H. Jacobs und H. Bonka (Hrsg.) Strahlenschutz für Mensch und Umwelt, Verlag TÜV Rheinland, Köln (1991) 1082 - 1087.

[32] DIN, Beiblatt zu DIN 25482 Teil 1, Anwendungsbeispiele, Beuth Verlag, Berlin (1992).

[33] DIN, Beiblatt zu DIN 25482 Teil 2, Anwendungsbeispiele, Beuth Verlag, Berlin (2000).

[34] DIN, Beiblatt zu DIN 25482 Teil 5, Anwendungsbeispiele, Beuth Verlag, Berlin (1997).

[35] DIN, Beiblatt zu DIN 25482 Teil 6, Anwendungsbeispiele, Beuth Verlag, Berlin (1998).

[36] ISO 11929-1 Determination of the detection limit and decision threshold for ionizing radiation measurements – Part 1: Fundamentals and application to counting measurements without the influence of sample treatment. ISO, Genf (2000).

[37] ISO 11929-2 Determination of the detection limit and decision threshold for ionizing radiation measurements – Part 2: Fundamentals and applications to counting measurements with the influence of sample treatment. ISO, Genf (2000).

[38] ISO 11929-3 Determination of the detection limit and decision threshold for ionizing radiation measurements – Part 3: Fundamentals and application to counting measurements by high resolution gamma spectrometry without the influence of sample treatment. ISO, Genf (2000).

[39] ISO 11929-4 Determination of the detection limit and decision threshold for ionizing radiation measurements – Part 4: Fundamentals and application to measurements by use of linear-scale analogue ratemeters, without the influence of sample treatment. ISO, Genf (2001).

[40] Michel, R., K. Kirchhoff, Nachweis-, Erkennungs- und Vertrauensgrenzen bei Kernstrahlungsmessungen, Publikationsreihe FORTSCHRITTE IM STRAHLENSCHUTZ des Fachverbandes für Strahlenschutz, FS-99-108-AKSIGMA, ISSN 1013-4506, TÜV-Rheinland Verlag, Köln (1999) 167 Seiten.

[41] Weise, K. Bayesian-statistical decision threshold, detection limit, and confidence interval in nuclear radiation measurement. Kerntechnik 63 (1997) 214 – 224.

[42] Weise, K., Michel, R. Erkennungsgrenze, Nachweisgrenze und Vertrauensbereich in der allgemeinen Kernstrahlungs-Spektrometrie, Kerntechnik 60 No. 4 (1995) 189 – 196.

[43] Michel, R., Quality assurance of nuclear analytical techniques based on Bayesian characteristic limits. J. Radioanal. Chem. 245 (2000) 137 – 144.

[44] Weise, K. The Bayesian count rate probability distribution in measurement of ionizing radiation by use of a ratemeter. PTB Report Ra-44. Physikalisch-Technische Bundesanstalt, Braunschweig (2004).

[45] Bernardo, J. M. und Smith, A.F.M.: Bayesian Theory. Wiley, Chichester, UK (1994).

[46] Bernardo, J.M.: Bayesian Statistics, in: Probability and Statistics (R.Viertl, ed.) of the Encyclopedia of Life Support Systems (EOLSS). UNESCO, Oxford, UK (2003).

[47] Gregory, P.C.: Bayesian logical data analysis for the physical sciences. Cambridge University Press, Cambridge (2005).

[48] Jaynes, E.T.: Probability Theory - The Logic of Science, edited by G.L. Bretthorst. Cambridge University Press, Cambridge (2003).

[49] Lee, P.M.: Bayesian Statistics: An Introduction. Oxford University Press, New York (1989).

[50] Robert, Ch.P.: The Bayesian Choice (2nd. ed.). Springer, New York (2001).

[51] Gelman, A., Carlin, J. B., Stern, H. and Rubin, D.B.: Bayesian Data Analysis (2nd edition). Chapman, London (2003).

[52] Berger, J. O., Statistical Decision Theory and Bayesian Analysis. Springer, New York 1985.

[53] DIN 25482-10: 2000-05, Nachweisgrenze und Erkennungsgrenze bei Kernstrahlungsmessungen, Allgemeine Anwendungen, Beuth Verlag, Berlin (2000).

[54] DIN 25482-11: 2003-02, Nachweisgrenze und Erkennungsgrenze bei Kernstrahlungsmessungen, Messungen mit Albedo-Dosimetern, Beuth Verlag, Berlin (2003).

[55] DIN 25482-12: 2003-02, Nachweisgrenze und Erkennungsgrenze bei Kernstrahlungsmessungen, Entfaltung von Spektren, Beuth Verlag, Berlin (2003).

[56] DIN 25482-13: 2003-02, Nachweisgrenze und Erkennungsgrenze bei Kernstrahlungsmessungen, Zählende Messungen an bewegten Objekten, Beuth Verlag, Berlin (2003).

[57] ISO 11929-7 Determination of the detection limit and decision threshold for ionizing radiation measurements – Part 7: Fundamentals and general applications. ISO, Genf (2005).

[58] ISO 11929-5 Determination of the detection limit and decision threshold for ionizing radiation measurements – Part 5: Fundamentals and applications to counting measurements on filters during accumulation of radioactive material. ISO, Genf (2005).

[59] ISO 11929-6 Determination of the detection limit and decision threshold for ionizing radiation measurements – Part 6: Fundamentals and applications to measurements by use of transient mode. ISO, Genf (2005).

[60] ISO 11929-8 Determination of the detection limit and decision threshold for ionizing radiation measurements – Part 8: Fundamentals and application to unfolding of spectrometric measurements without the influence of sample treatment. ISO, Genf (2005).

[61] Weise, K., K. Hübel, R. Michel, E. Rose, M. Schläger, D. Schrammel, M. Täschner, Nachweisgrenzen und Erkennungsgrenzen bei Kernstrahlungsmessungen: Spezielle Anwendungen, ISSN 1013-4506, ISBN 3-8249-0904-9, FS-04-127-AKSIGMA, TÜV Verlag Rheinland, Köln (2004).

[62] Weise, K., Hübel, K., Michel, R., Rose, E., Schläger, M., Schrammel, D. and Täschner, M. Determination of the detection limit and decision threshold for ionizing-radiation measurements: fundamentals and particular applications. ISBN 3-8249-0945-6 TÜV Verlag Rheinland, Köln (2005).

[63] Weise, K., Hübel, K., Rose, E., Schläger, M., Schrammel, D., Täschner, M., and Michel R. Bayesian decision threshold, detection limit and confidence limits in ionising-radiation measurement, Radiat. Prot. Dosimetry 121(1) (2006) 52 – 63; doi:10.1093/rpd/ncl095.

[64] Weise, K., G. Kanisch, R. Michel, M. Schläger, D. Schrammel, M. Täschner, Monte Carlo determination of the characteristic limits in measurement of ionising radiation: Fundamentals and numerics, Radiation Protection Dosimetry 135 No. 3 (2009) 169 – 196; doi:10.1093/rpd/ncp105.

[65] Peters, L., Charakteristische Grenzen nach DIN ISO 11929; Diplomarbeit, IRS, Leibniz Universität Hannover (2012) http://www.irs.uni-hannover.de/3.html (14.4.2012).

[66] Kanisch, G., Programm UncertRadio zur Berechnung von Messunsicherheit, Erkennungsgrenze und Nachweisgrenze für Verfahren aus den „Messanleitungen für die Überwachung radioaktiver Stoffe in der Umwelt und externer Strahlung“, download: http://www.vti.bund.de/de/startseite/institute/foe/forschungsbereiche/leitstelle-umweltradioaktivitaet/uncertradio.html.

NUTZEN DER UMWELTÜBERWACHUNG FÜR DEN STRAHLENSCHUTZ

SOME CONSIDERATIONS ON THE FUTURE OF ENVIRONMENTAL RADIOACTIVITY MONITORING

H. Völkle, Physikdepartement der Universität Freiburg – Schweiz (hansruedi.voelkle@unifr.ch)

Zusammenfassung *– Einige europäische Länder – darunter auch Deutschland und die Schweiz – wollen mittelfristig aus der Kernenergie aussteigen. Für den Arbeitskreis Umweltüberwachung (AKU) des Fachverband für Strahlenschutz (FS), der sich bisher in seiner Haupttätigkeit bei der Erstellung einer Loseblattsammlung zur Umgebungsüberwachung vor allem auf jene kerntechnischer Anlagen konzentriert hatte, stellt sich die grundsätzliche Frage, womit er sich in einer weiteren Zukunft befassen soll und wie es mit der Überwachung der Umweltradioaktivität weiter gehen könnte. Der Artikel stellt, ausgehend von der Analyse der bisherigen Tätigkeit, einige mögliche Zukunftsperspektiven zur Diskussion.*

Summary *– Some European countries – among them Germany and Switzerland – have decided to abandon nuclear power in the near future. The working group on environmental surveillance (AKU) of the German-Swiss Fachverband für Strahlenschutz (FS) has therefore started a fundamental discussion on what will be his future and what should be the goals and the purposes of the environmental radioactivity monitoring programs in the next decades. The following paper presents, on the basis of the past activities, some ideas for the future.*

Schlüsselwörter *– Umweltüberwachung, Radioaktivität, Strahlendosen*
Keywords *– Environmental Monitoring, Radioactivity, Radiation Doses*

1. Ausgangslage

1.1. Die Loseblattsammlung des AKU

Seit seiner Gründung im Jahr 1973 in Bonn befasst sich der Arbeitskreis Umweltüberwachung (AKU) des Fachverbandes für Strahlenschutz (FS) mit der Erarbeitung von Empfehlungen zur Überwachung der Umweltradioaktivität. Dabei konzentrierte er sich bisher – entsprechend der Vorgabe der deutschen REI (*Richtlinie zur Emissions- und Immissionsüberwachung kerntechnischer Anlagen*[1]) – vor allem auf die Umgebung solcher Einrichtungen. In bisher 87 Sitzungen wurde in erster Linie an einer *Loseblattsammlung* mit dem Titel *Empfehlungen zur Überwachung der Umweltradioaktivität* gearbeitet. Es wurden aber auch Berichte zu weiteren aktuellen Themen erarbeitet, wie etwa zu den Auswirkungen der Reaktorunfälle in Tschernobyl [5] und Fukushima, zu Schnellmethoden für die Strontium-Bestimmung sowie eine Zusammenstellung von Grenz- und Richtwerten im Strahlenschutz im internationalen Vergleich. Die heute über 60 Einzelbeträge umfassende Loseblattsammlung wurde in mehrere Teilchen veröffentlicht, umfasst sowohl die Überwachung bei bestimmungsgemässen Betrieb als auch jene bei Unfällen und ist vollumfänglich auf der Web-Seite des Fachverbandes verfügbar[2]. Für die einzelnen Blätter wurde eine einheitliche Struktur gewählt: *1. Zweck der Überwachungsmassnahme, 2. Messgrösse, Masseinheit und zu fordernde Nach-*

[1] http://www.bmu.de/strahlenschutz/downloads/doc/37105.php
[2] http://osiris22.pi-consult.de/view.php3?show=5100014302056).

weisgrenze, 3. Messverfahren (Probenentnahme – Probenaufarbeitung inkl. Probenvorbereitung – Messung inkl. Kalibrierung – Wartung und Auswertung – Messunsicherheit und erreichbare Nachweisgrenze), 4. Bewertung des Verfahrens, 5. Dokumentation, 6. Besonderheiten, Bemerkungen, 7. Literaturhinweise. Ältere Blätter wurden in den letzten Jahren überarbeitet und aktualisiert. Damit ist im Laufe der Jahre eine vollständige Sammlung von Probenentnahme- und Messanleitungen für die Radioaktivitätsüberwachung für alle relevanten Expositionspfade, Radionuklide und Probenmaterialien entstanden, die dem aktuellen Stand der Wissenschaft entspricht und auch einem internationalen Vergleich standhält.

1.2. Richtungswechsel als Folge des bevorstehenden Ausstiegs aus der Kernenergie ?

Während in den 60er-Jahren die friedliche Nutzung der Kernenergie noch von weiten Teilen der Bevölkerung befürwortet wurde, haben in den letzten Jahren kritische Stimmen und ausgeprägte Kernenergiegegner in mehreren Ländern die Oberhand gewonnen. Dieser Trend hat sich seit den Reaktorkatastrophen von Tschernobyl im Jahr 1986 und jener in Fukushima von 2011 noch verstärkt und in weiteren Ländern, worunter auch in Deutschland und der Schweiz, zum Beschluss des Ausstiegs aus der Kernenergie in näherer Zukunft geführt. Für die einen bedeutet dieser Ausstieg ein Paradigmenwechsel, der Angesichts der globalen Probleme der Menschheit wie Klimawandel und Rohstoffverknappung dringend nötig erscheint, für die andern – aus ähnlichen Beweggründen – der Verzicht auf eine aus ihrer Sicht nötige und beherrschbare Technologie. Was die einen als einen Aufbruch in eine neue Zukunft sehen, in der die Kernenergie als – wie sie es glauben – Grundübel unserer Zeit, keine Daseinsberechtigung habe, führt bei den andern zu einer Endzeitstimmung bei der es nur noch um Rückbau, Entsorgung, Schadensbegrenzung und Katastrophenszenarien geht und das Wort „Strahlenschutz“ zu „Strahlenschutt“ degradiert wird.

1.3. Das Prêtre'sche Gesellschaftsmodell

Serge Prêtre, der frühere Leiter der Schweizer Aufsichtsbehörde für Kernanlagen (die damalige HSK), hat 2002 die ambivalente Haltung der Menschheit zur Kernenergie in einer Schrift *«Das zweite Feuer, Tschernobyl und die Angst»*[3] anhand eines dreistufigen Gesellschaftsmodelles dargelegt. Nach einer Zeit der *Pioniere*, die als pragmatische Individualisten von Optimismus, Machtlust, Risiko- und Innovationsfreudigkeit geprägt sind, folgt die Zeit der *Ordnenden*, wo Methode, Struktur, Regeln, Gesetze, Ordnung und Sicherheitsnormen im Vordergrund stehen. Dieser Phase folgt die Zeit der *Reinen* oder *Moralisten*, deren Maximen Gesundheit, Sauberkeit, Reinheit, Schutz, Moral und Ökologie sind, was zu sektiererischem Fanatismus und Angst vor dem Tod ausarten kann. Zweifellos sind wir heute in der dritten Periode angelangt und es gibt wohl kein zurück mehr in die Zeit der Pioniere. Dass sich der AKU (und nicht nur er) angesichts dieser Sachlage Gedanken über seine zukünftigen Aufgaben und Tätigkeiten macht und insbesondere, was die Rolle der Umweltüberwachung in Zukunft sein könnte, ist nachvollziehbar. Im Folgenden sollen dazu einige Denkansätze und Thesen zur Diskussion gestellt werden, aufgelockert durch einige Beispiele.

2. Ziel und Nutzen der Umweltüberwachung auf Radioaktivität

Radioaktivität und ionisierende Strahlung sind bekanntlich mit unseren Sinnen nicht wahrnehmbar, sind jedoch unsere ständigen Begleiter.

[3] http://www.second-fire.ch/

Aerosole (Höhenluft 8-15km)	Oberflächen-gewässer	Milch	Ganzkörpermessung (^{40}K, ^{137}Cs)
Aerosole / Jod (+) (Bodenluft)	Grundwasser	Getreide	Milchzähne (^{90}Sr)
Gase etc. (^{14}C, ^{85}Kr, ...)	Trinkwasser Mineralwässer	weitere Lebensmittel	menschliche Wirbelknochen (^{90}Sr)
Dosis und Dosisleistung (*)	Fische	Pilze & Importwaren (seit Tschernobyl)	
Niederschläge	Wasserpflanzen		
Gras (Bewuchs)	Sedimente (Flüsse, Seen)	Bei dem meisten Proben: Gamma-Spektrometrie, Tritium (Wasser), Alpha-Strahler, ^{90}Sr	
Erdboden (i. d. R.: 0 - 5 cm)	Abwässer aus Industrien & KKW	(+) Aerosol/Jod-Warnnetz (RADAIR) und Aerosolammler (kleine sowie Hochvolumensammler)	
Abluft KKW	Kläranlagen	(*) Nationales Dosiswarnnetz (NADAM) und in der Umgebung der KKW (MADUK)	

Abb. 1: *Die im Routinebetrieb überwachten Expositionspfade gemäss dem Schweizer Überwachungsprogramm für die Umweltradioaktivität [2]*

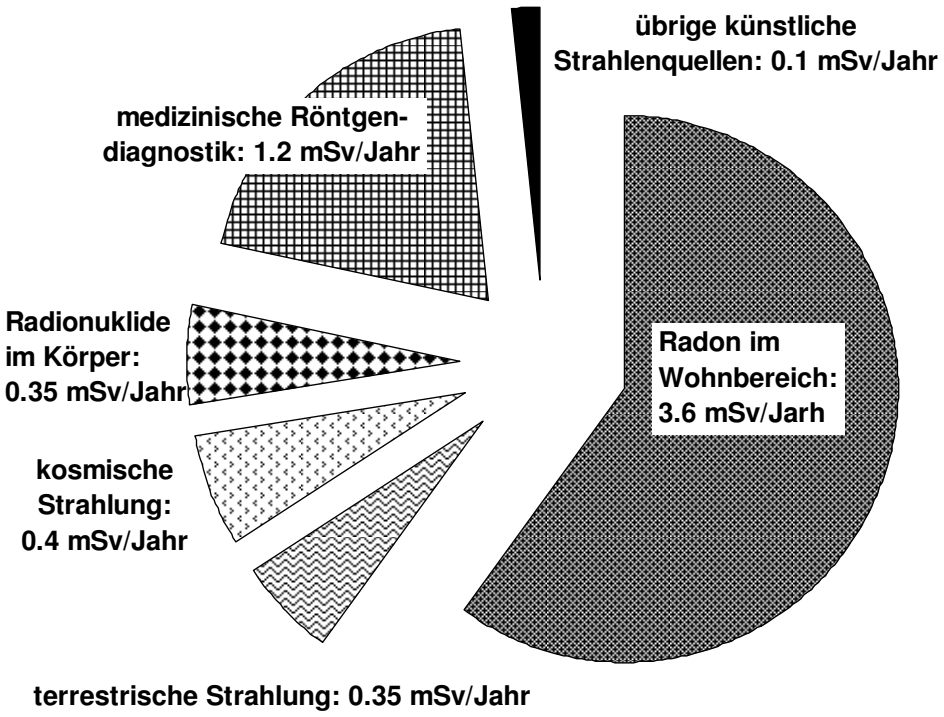


Abb. 2: *Durchschnittliche jährliche Strahlendosen der Schweizer Bevölkerung aus den verschiedenen natürlichen und künstlichen Strahlenquellen 2010 [2]*

Sie können für Lebewesen ein Risiko darstellen, da sie – gemäss dem konservativen LNT-Modell bereits ab kleinen Dosen – durch Mutationen der Erbsubstanz das Krebs-Rikiso oder dasjenige genetisch bedingter Missbildungen bei den Nachkommen des bestrahlten Individuums erhöhen. Hohe Dosen führen zu nicht reversiblen Gewebe- und Organschäden oder gar zum Tod. Seit der Mensch Kernenergie, Radioaktivität und Strahlung in vielfältiger Weise in Medizin, Forschung, der Industrie sowie bei Kernwaffen und der Energieerzeugung anwendet, muss daher der Schutz des Menschen – und möglicherweise auch derjenige von Fauna und Flora [11] – vor hohen Dosen sichergestellt werden, einerseits durch gesetzliche Massnahmen und andererseits durch eine dauernde und umfassende Überwachung. Beim Menschen sollen deterministische Schäden bei einzelnen Individuen vermieden werden, stochastische Schäden bei einzelnen Individuen begrenzt und solche bei ganzen Populationen minimiert. Dabei gelten die ICRP-Grundsätze von *Rechtfertigung*, *Optimierung* und *Begrenzung* der Dosen, letztere auf 20 mSv/Jahr bei beruflich strahlenexponierten Personen und 1 mSv/Jahr bei der übrigen Bevölkerung. Da so kleine Dosen nicht im Einzelnen messbar sind, müssen Umwelt und Lebensmittel umfassend überwacht werden. In den 50er- und 60er-Jahren führten die Kernwaffentest der Grossmächte vor allem in der Nordhemisphäre zu einer deutlichen Erhöhung der Umweltradioaktivität, weshalb eine solche Überwachung in den meisten Ländern zur Notwendigkeit wurde. Überwacht wird die ganze Kette, d.h. von den Strahlendosen, über Radioaktivität von Luft, Niederschlägen, Boden, Pflanzen bis hin zu jener in Lebensmittel und im menschlichen Körper, s. [1] bis [4]. Abb. 1 zeigt die wichtigsten Umweltmedien und Expositionspfade, die in der Schweiz routinemässig überwacht werden. Um eine grösstmögliche Sicherheit zu erreichen – sodass nichts unbemerkt bleibt – wird bewusst auf Redundanz geachtet, gemäss den Empfehlungen der EU durch ein dichtes Warnnetz («*dens*e»: viele Messpunkte, geringere Messempfindlichkeit), ergänzt durch ein Netzwerk mit wenigen Messpunkten («*sparce*») aber hoher Empfindlichkeit. Es liegt auf der Hand, dass bei der Überwachung vor allem jene Expositionspfade besonders intensiv überwacht werden sollten, die zu den grössten Dosisbeiträgen führen, etwa ^{14}C, s. [14].

Seit dem Rückgang der Falloutaktivität hat sich die Überwachung mehr auf Kernanlagen (Energieproduktion und Forschung in der Kern- und Teilchenphysik) [6] sowie die immer zahlreicher werdenden Anwendungen von Radioaktivität und Strahlung in Industrie, Forschung und Medizin verlagert. Dabei werden auch natürliche radioaktive Stoffe in die Programme einbezogen, wie etwa Radon in Wohnräumen, natürliche Radionuklide im Trinkwasser, Gebiete mit erhöhter natürlicher Radioaktivität oder Altlasten aus dem Bergbau und ähnlichen Aktivitäten[4]. Diese Daten werden von den einzelnen Ländern regelmässige veröffentlicht und in den Berichten von UNSCEAR und andern Organisationen zusammengefasst. Daraus lassen sich die Strahlendosen der Bevölkerung ermitteln und es kann sichergestellt werden, dass das Strahlenrisiko immer deutlich tiefer ist, als andere Risiken unseres täglichen Lebens. Genügen die Messdaten auch höheren wissenschaftlichen Anforderungen, können sie auch dazu benutzt werden, radioökologische und Dosis-Modelle aufzustellen, zu verifizieren und die entsprechenden Transferfaktoren zu bestimmen.

3. Ergebnisse der Überwachung und deren Interpretation

Bei den durchschnittlichen Strahlendosen der Bevölkerung (s. Abb. 2 für die Schweizer Bevölkerung) dominieren bei weitem die natürlichen Dosisbeiträge aus kosmischer Strahlung, terrestrische Radioaktivität und den Radionukliden im Körper. Der grösste Beitrag kommt

[4] Schweizer Probenahmeplan für die Überwachung der Umweltradioaktivität : http://www.bag.admin.ch/themen/strahlung/12128/12247/12295/index.html?lang=de

vom Radon und seinen Folgeprodukten im Wohnbereich. Dessen mittlere Dosis beträgt bei der Schweizer Bevölkerung (mit dem neuen ICRP–Dosis-Umrechnungsfaktor) 3.6 mSv/Jahr, wobei die höchsten Werte bis 100 Mal über dem Mittelwert liegen. Das Schweizer Bundesamt für Gesundheit nimmt an, dass in der Schweiz 200–300 Personen pro Jahr an Lungenkrebs durch Radon sterben[5]. Das nationale Radonprogramm sensibilisiert und informiert Bevölkerung und Baugewerbe und hat zum Ziel, Gebäude mit hohen Werten zu identifizieren und zu sanieren. Im weiteren läuft z. Z. ein nationalen Programm zur Bestimmung von Uran in Schweizer Trinkwässern (BAG-Bulletin 12/2012 [6]). Dabei steht weniger die radio- als chemotoxische Wirkung (Verursachen von Nierenschäden) im Vordergrund.

Dass die natürlichen Dosisbeiträge bei weitem dominieren, gilt ohne Einschränkung auch für die Zeit der grössten Falloutaktivität sowie – in Westeuropa – jene nach der Reaktorkatastrophe von Tschernobyl oder für die Nahumgebung von Kernanlagen, und dies auch unter den konservativsten Annahmen bezüglich Aufenthalt von Personen sowie Herkunft von Trinkwasser und Lebensmitteln. In der Umgebung von Kernanlagen kommt 4/5 der Dosis vom über Abluft freigesetzt ^{14}C, (s. [14] und Abb. 4 am Beispiel des Schweizer Kernkraftwerkes Gösgen). Dessen Überwachung anhand von Baumblättern gehört daher in der Schweiz zum Routineprogramm. Der ^{14}C-Pegel in lebenden Pflanzen liegt in der Nahumgebung von Kernanlagen (teilweise auch von Kehrichtverbrennungsanlagen) bis 15% über dem weltweiten ^{14}C-Pegel. In den 60er-Jahren war er als Folge der Kernwaffenversuche auf fast auf das Doppelte angestiegen. Seither hat er laufend abgenommen und liegt heute nur noch knapp über den natürlichen Wert von 226 Bq ^{14}C/kg Kohlenstoff. Beispiele solcher ^{14}C-Messungen an Baumblättern aus der Nahumgebung des Schweizer Kernkraftwerkes Leibstadt sind auf Abb. 5 dargestellt.

Die Emissionen radioaktiver Stoffe an die Umwelt aus Schweizer Kernanlagen werden durch die Behörde so begrenzt, dass die Dosen in der Umgebung, auch unter ungünstigsten Annahmen unter dem Richtwert von 0.3 mSv/Jahr bleiben. In Deutschland gelten ähnliche Grundsätze. Auch bei vollständigem Ausschöpfen der Emissionslimiten würde die Dosis nur 1/10 hiervon betragen. Die Dosen durch reelle Emissionen liegen einen Faktor 100 bis 1000 unter dem obigen Richtwert [14] (Abb. 4). Bei realistischen Annahmen bezüglich Aufenthalt von Personen und der Herkunft der Lebensmittel dürfte die Dosis um mindestens noch eine weiter Grössenordnung tiefer sein. Auch in der Umgebung anderer Betriebe, die radioaktive Stoffe verwenden (Medizin, Industrie und Forschung), sind die Dosen ähnlich tief und Immissionen meist kaum nachweisbar.

Zusammenfassend kann festgestellt werden, dass dank der von Anfang an lückenlosen Überwachung die durch Kernanlagen und andere Betriebe verursachten Immissionen sowie die daraus resultierenden Dosen immer unbedeutend klein gehalten werden konnten und das daraus resultierende Strahlenrisiko im Vergleich zu andern Risiken des täglichen Lebens unbedeutend blieb, s. [8], [10], [12], [13]. Kein anderer Bereich der anthropogenen Umweltbelastung wurde von Anfang an so systematisch reglementiert, überwacht und dokumentiert. Die dauernde Veröffentlichung der Messdaten hat die Betreiber zudem motiviert, in einem kontinuierlichen Optimierungsprozess die Rückhaltevorrichtungen (etwa bei Kernkraftwerken durch Aerosol- und Jod-Filter, durch die Behandlung der Abwässer, aber auch bei der Qualität der Brennstoffhüllen) laufend zu verbessern und zu optimieren. Ähnliche Optimierungen in den Werken führten auch bei den Strahlendosen der Mitarbeiter im Verlauf der letzten 30

[5] http://www.bag.admin.ch/themen/strahlung/00046/index.html?lang=de
[6] http://www.bag.admin.ch/dokumentation/publikationen/01435/11505/12789/index.html?lang=de

Jahre zu einer deutlichen Abnahme der Kollektivdosen, wie in den Berichten der Aufsichtsbehörden dokumentiert wird.

4. Sinn und Nutzen der Umweltüberwachung

Eine systematische Überwachung der Umwelt auf Radioaktivität und Strahlung sollte aus folgenden Gründen auch in Zukunft – mit oder ohne Kernkraftwerke – weitergeführt werden:

Länder, die auch in Zukunft Kernkraftwerke betreiben: Auch wenn einzelne Länder in Zukunft auf die Nutzung der Kernenergie verzichten wollen, wird es (auch in Europa oder beispielsweise die BRICS-Staaten[7]) Länder geben, die weiterhin Kernkraftwerke betreiben werden und daher – nicht nur in ihrem eigenen Interesse – eine umfassende Umgebungsüberwachung dieser Anlagen durchführen werden und auch müssen. Auch wenn die Strahlenexposition der Bevölkerung beim Normalbetrieb verschwindet klein ist, wird man darauf nicht verzichten können, geht es doch darum, nachzuweisen, dass deren radiologische Auswirkungen auf Mensch und Umwelt kein unzulässiges Ausmass erreichen. Eine besondere Bedeutung bekommt die Überwachung bei Störfällen und Unfällen, ist sie doch wichtigste Voraussetzung für die Durchführung von wirksamen Schutzmassnahmen für die betroffene Bevölkerung. Länder mit KKW habe zudem auch eine moralische Verpflichtung ihre Nachbarstaaten über die Ergebnisse ihrer Überwachung laufend und vorbehaltlos zu informieren.

Länder, die keine Kernkraftwerke betreiben: Bei Ländern ohne Kernenergie, deren Nachbarländer jedoch weiterhin KKW betreiben, besteht ein nachvollziehbares Interesse an einer entsprechenden Umweltüberwachung, zum mindestens entlang der Grenze zum betreffenden Nachbarland. Hier spielen automatische Warnnetze sowie eine enge und unbürokratische grenzüberschreitende Vernetzung der Laboratorien (wie etwa durch den Ring of Fife «RO5»[8]) eine immer wichtigere Rolle. Die Nützlichkeit solcher Labornetzwerke hat sich in den letzten Jahren bei Ereignissen wie etwa der ^{137}Cs-Freisetzung im spanischen Stahlwerk von Algeciras im Frühling 1998 erwiesen [9], ebenso nach Tschernobyl und Fukushima (s. Abb. 6).

Endlager für radioaktive Abfälle: Länder die Kernkraftwerke betreiben oder betrieben haben, müssen die radioaktiven Abfälle aus diesen Betrieben und andern Anwendungen so endlagern, dass diese über eine genügend lange Zeit (≈ 100'000 Jahre), nicht mit der Biosphäre in Kontakt kommen. Hier ist somit ebenfall eine Umgebungsüberwachung, nicht nur aus politischen Gründen, durchzuführen. Bei einem Endlager, das sachgerecht und dicht verschlossen ist und somit vollständig von der Biosphäre isoliert ist, wird wohl nichts entweicht und damit auch mit den allerempfindlichsten Messverfahren nichts gemessen werden können. Denn wenn etwas gemessen wird, würde dies auf eine Undichtheit des Lagers hindeuten und der Schaden wäre somit bereits unwiderruflich angerichtet. Ist das Lager entsprechend dem aktuellen Stand von Wissenschaft und Technik sicher verschlossen, wird es somit kaum bereits in den ersten Jahrzehnten oder Jahrhunderten undicht werden, es sei denn, es trete ein unvorhergesehenes Ereignis ein. Das Ergebnis „nichts messbar“ ist somit auch ein wichtiges Resultat, denn es belegt die Unversehrtheit des Endlagers. Die Frage, wie lange eine solche Überwachung denn auch durchgeführt werden soll, müssen wir wohl künftigen Generationen überlassen. Wahrscheinlich werden solche Kontrollen auch nicht-radiologische Parameter erfassen müssen (u.a. Geologie, Tektonik, Hydrogeologie, Temperatur, Druck, etc.).

---

[7] BRICS = Brasilien, Russland, Indien, China und Südafrika

[8] «Ring of 5» : Europaweites Netzwerk von Laboratorien (gegen 20 Ländern; über 70 Teilnehmer): ro5@foi.se

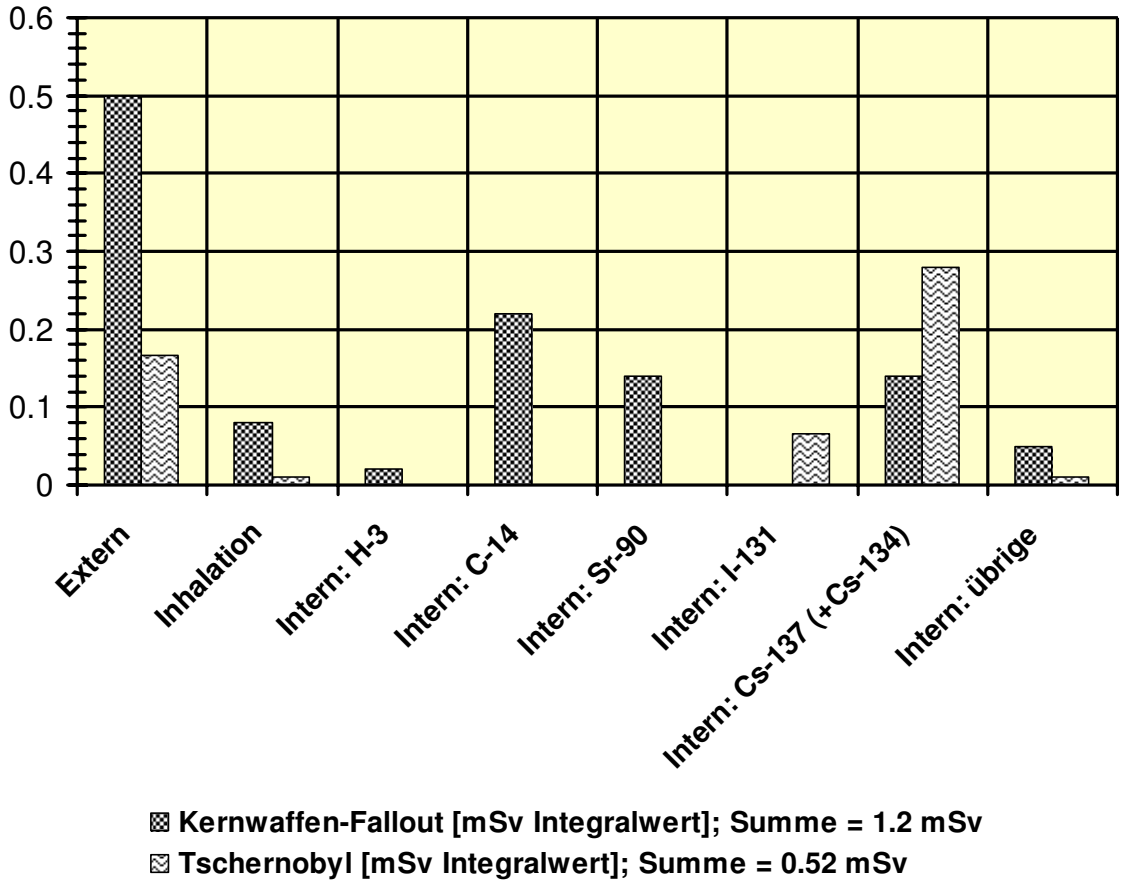


Abb. 3: *Dosisvergleich (Integralwerte in mSv) für die Schweizer Bevölkerung: Auswirkungen des Kernwaffen-Fallout bzw. der Reaktorkatastrophe von Tschernobyl (Durchschnittswerte in mSv), s. [4] und [7]*

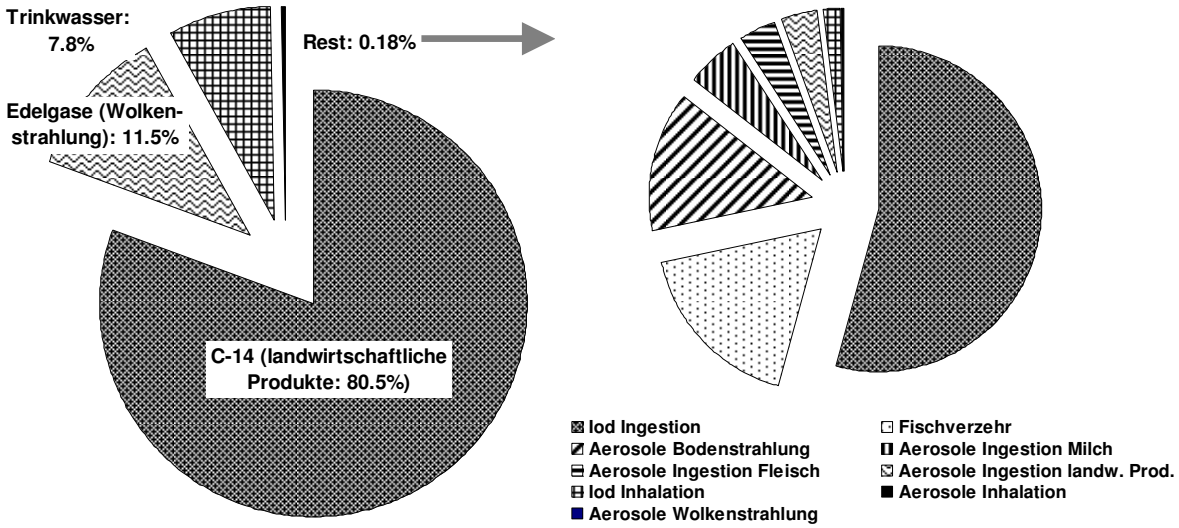


Abb. 4: *Berechnete Dosisverteilung [%] für die Bevölkerung in der Umgebung des Schweizer Kernkraftwerkes Gösgen aus den verschiedenen Emissionspfaden: Links: alle Beiträge; Rechts: Aufschlüsselung des Rests von 0.18 % (Die Gesamtdosis durch die reelle Emissionen im Jahr 2007 lag unter 1 micro-Sv/Jahr), s. [14]*

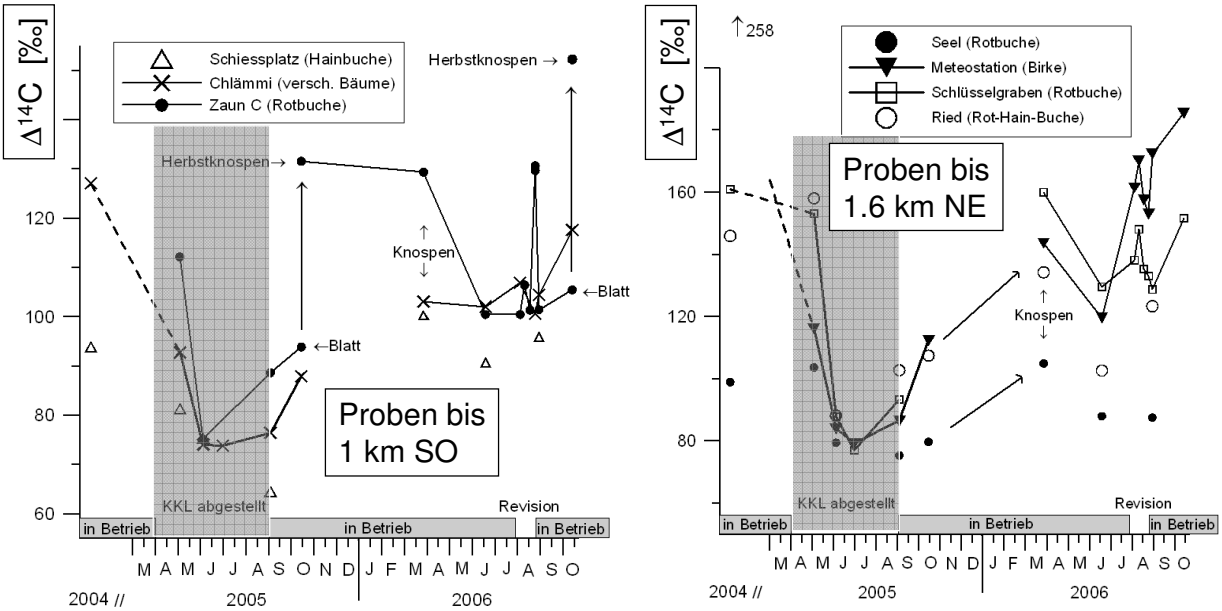


Abb. 5: *Messung von ^{14}C in Baumblättern (Buche) aus der Umgebung des Schweizer Kernkraftwerks Leibstadt während Betrieb und Stillstand des Reaktors in 2004-2006. Als Folge eines Generatorschadens war das Kernkraftwerk Leibstadt vom 28.4.05 bis 30.8.05 abgeschaltet (graue Flächen). Dies ist bei ^{14}C-Messungen an Baumblättern deutlich sichtbar: Links in Richtung SW (bis 1 km) – Rechts in Richtung NE (bis 1.6 km), s. [2]*

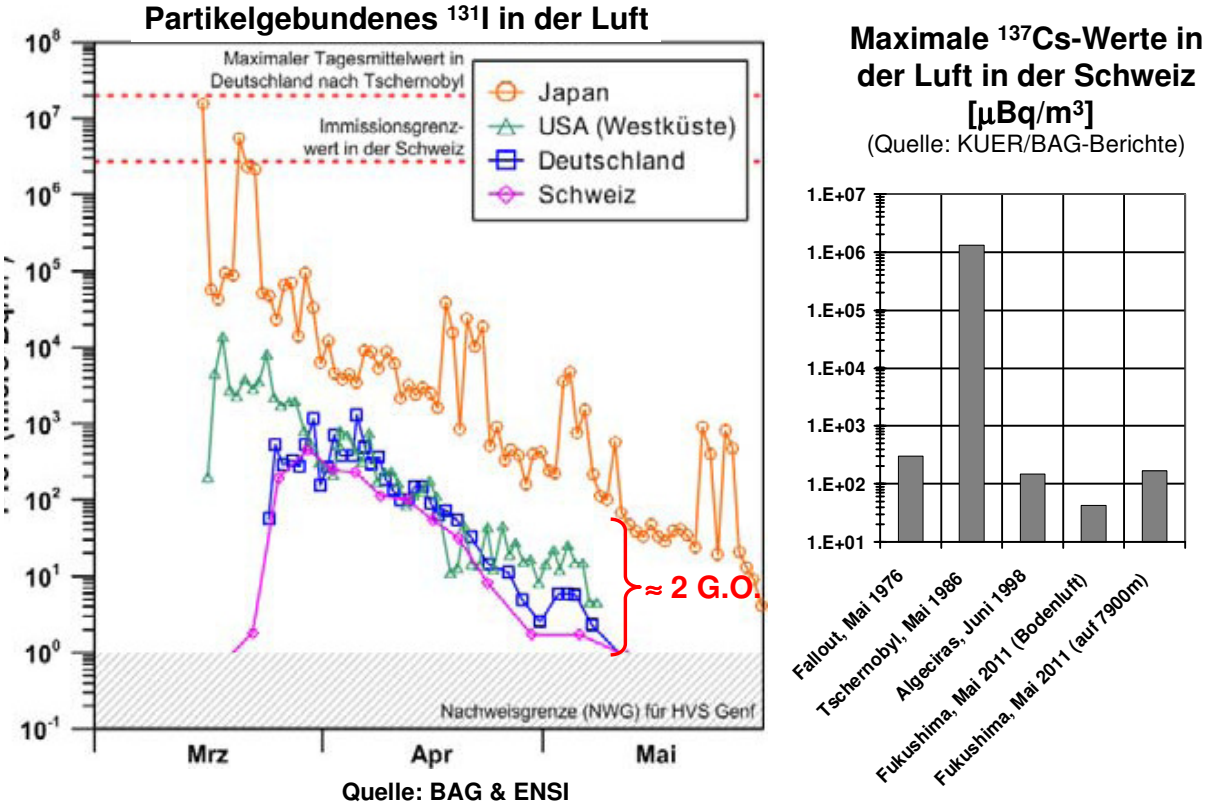


Abb. 6: *Partikelgebundenen ^{131}I in der Luft nach den Ereignissen von Fukushima: Messungen aus Japan, den USA, Deutschland und der Schweiz im Frühling 2011 (Links) und Vergleich von maximalen ^{137}Cs-Messungwerten aus der Schweiz nach verschiedenen Radioaktivitätsfreisetzungen (Rechts); Quellen: BAG- & ENSI-Berichte.*

Die Überwachung anderer anthropogener und natürlicher Quellen: Eine Überwachung ist generell für alle Strahlenquellen, seien sie natürlich oder anthropogen, sinnvoll. Etwa bei der Nutzung von Radionukliden in nicht kerntechnischen Anlagen (Medizin, Industrie und Forschung), natürlich in der Umwelt vorhandenen oder durch menschliche Aktivität in erhöhter Konzentration vorliegenden Radionukliden, beispielsweise Radon in Wohnräumen oder Uran im Trinkwasser, im weiteren Altlasten aus dem Bergbau und aus der «Radium-Euphorie» der ersten Hälfte des 20. Jahrhunderts, Kehrichtverbrennungsanlagen, Sondermülldeponien, etc. Nur mit einer umfassenden Überwachung lassen sich die Strahlendosen der Bevölkerung aus allen verschiedenen Quellen mit genügender Sicherheit und Vollständigkeit ermitteln. Jede nationale Gesundheits- oder Strahlenschutzbehörde muss in der Lage sein, hierzu fundiert Auskunft geben zu können.

Der Informationsbedarf der Öffentlichkeit zu Umweltfragen: Ein verstärktes Umweltbewusstsein hat dazu geführt, dass bei Behörden, Medien und Bevölkerung ein immer stärkerer Bedarf besteht nach rascher und umfassender Information bezüglich aller Arten von Schadstoffen in Umwelt und Nahrung, insbesondere der Wunsch nach Online-Zugang zu entsprechenden Umweltdatenbanken. Das setzt voraus, dass die Messprogramme umfassend sind, die Probenentahme- und Messverfahren dem aktuellen Stand von Wissenschaft und Technik entsprechen und von ausgewiesenen Fachleuten durchgeführt werden. Eine vollständige Information beschränkt sich aber nicht nur auf die Publikation der Messdaten, ebenso wichtig sind die Interpretation der Resultate und des daraus resultierenden radiologischen Risikos, und dies vor allem für die Aufklärung von Nicht-Fachleuten. Epidemiologische Studien – auch wenn deren Interpretation nicht immer trivial ist – bekommen immer mehr Bedeutung und sind auf zuverlässige Umweltdaten angewiesen.

Der wissenschaftliche Nutzen: Ein weiterer Bedarf besteht aus wissenschaftlichem Interesse bei der Modellierung des Verhaltens von natürlichen oder künstlichen Radionukliden in der Umwelt, bei der Validierung radioökologischer Modelle und bei der Bestimmung von Transferfaktoren. Solche Untersuchungen stellen allerdings höhere Anforderungen an die Qualität der Messungen. Von weiterem Interesse sind exotische, langlebige künstliche Radionuklide, etwa aus Endlagern oder der Wiederaufarbeitung von Kernbrennstoff, die sich u. U. über längere Zeitintervalle in gewissen Medien der Umwelt akkumulierten aber – wenn überhaupt – erst längerfristig radiologisch relevant werden können.

5. Wie könnte es weitergehen und welchen Beitrag könnte der AKU erbringen?

Es liegt auf der Hand, dass solche Messungen von entsprechend ausgebildeten Fachleuten und mit den besten Messverfahren nach dem aktuellen Stand von Wissenschaft und Technik durchgeführt werden sollten, dies um die bestmögliche Qualität und Zuverlässigkeit der Daten zu erzielen. Im Fall von Unfällen und Ereignissen mit Freisetzung von Radioaktivität, sei dies im eigenen Land oder im nahen oder fernen Ausland, ist eine rasche und umfassende und grenzüberschreitende Information unabdingbar, wie das die Ereignisse von Tschernobyl und Fukushima deutlich gemacht haben. Gerade in solchen Fällen ist eine seriöse, kompetente und umgehende Berichterstattung erforderlich, die sich von politischen Einfärbungen abgrenzen lassen muss. Dies betrifft insbesondere die Interpretation der Messdaten, der daraus resultierenden Strahlendosen und des damit verbundenen Strahlenrisikos. In diesem Sinne erscheint die weitere Bearbeitung der Loseblattsammlung und deren laufende Anpassung an den Stand von Wissenschaft und Technik eine lohnenswerte Aufgabe.

Eine Englische Version der Loseblattsammlung: Eine solche könnte als *Best Practice Handbook* empfehlen, was und wie es gemacht werden sollte. Dies bedingt dass die Sammlung gepflegt, validiert und dem Stand von Wissenschaft und Technik laufend angepasst wird.

Eine Vereinheitlichung von Probenentnahme und Messverfahren: Damit die Ergebnisse von Überwachungsprogramme auch über die Landesgrenzen hinweg verglichen werden können, ist eine Vereinheitlichung von Probenentnahme- und Messverfahren erforderlich. Als Beispiel sei erwähnt, dass sowohl nach Tschernobyl wie auch erneut nach Fukushima festgestellt wurde, dass zwar viele Bodenproben erhoben wurden, dass aber viele dieser Ergebnisse nicht brauchbar waren, weil die Probenentnahme unprofessionell vorgenommen wurde. Als Beispiel sei deshalb im Anhang das in der Schweiz für die Labor empfohlen Verfahren für Erde und Gras vorgestellt. Eine solche Vereinheitlichung verbunden mit einem kontinuierlichen internationalen Datenaustausch (wie er in der EU und teilweise auch bei den UNSCEAR-Berichten schon realisiert ist) dient auch der grossräumigen Spurenanalyse und bei der Erfassung langfristiger Trends und schleichender Veränderungen, s. [9].

Die Qualitätssicherung: Ein zunehmend wichtiger Punkt ist die Qualität der Messergebnisse. Auch hier gilt der Grundsatz: wenig Messungen von hoher Qualität sind besser als viele Messungen von schlechter Qualität. Dies bedingt eine laufende Optimierung der Messverfahren unter Berücksichtung der Entwicklung von Wissenschaft und Technik und setzt voraus, dass die Laboratorien akkreditiert sind, d. h. über ein den ISO-Normen entsprechendes Qualitätsmanagement-System verfügen, regelmässig an Ringversuchen und Vergleichsmessungen teilnehmen und ihre Messdaten uneingeschränkt – auch international – austauschen. Wie sinnvoll dies ist, hat sich nach dem Unfall Tschernobyl (und auch bei Fukushima) erwiesen, als man in vielen Ländern feststellen musste, dass, wie bereits erwähnt, viele Messwerte von Bodenproben unbrauchbar waren.

Die Interpretation der Daten: Das Erstellen einer umfassenden Datenbank zur Umweltradioaktivität ist jedoch nur die halbe Arbeit. Ebenso wichtig ist es, daraus die Strahlendosen der Bevölkerung zu ermitteln – sprich zu berechnen – und zwar für verschiedene Bevölkerungsgruppen mit unterschiedlichen Lebens- und Ernährungsgewohnheiten sowie auch für verschieden Altersklassen, und dies im Ereignisfall für konservative und im Normalfall für möglichst realistische Annnahmen. Die Interpretation dieser Daten und der daraus resultierenden radiologischen Konsequenzen für die Gesundheit gegenüber Behörden, Medien und der Bevölkerung verständlich darzulegen, ist eine anspruchsvolle Aufgabe, die nicht selbsternannten „Fachleuten“ oder den Medien überlassen werden darf.

Die Wisssensvermittlung: Der AKU könnte als Pool von Fachleuten beim Wissenstransfer und bei der Aus- und Weiterbildung von Fachkollegen in andern Ländern, beispielsweise im Rahmen der Ausbildungsprogramme der IAEA, eine wichtige Rolle spielen.

6. Schlussfolgerungen

Der AKU darf zwar auf eine ergiebige und langjährige Tätigkeit zurückblicken, das erarbeitet Wissen und Know-how sollte jedoch nicht – wie man in der Schweiz sagt – „schubladisiert“ werden sondern aktiv gepflegt und weitergegeben werden. Dies ist zu ergänzen durch eine gute Ausbildung des Nachwuchses im Strahlenschutz, eine kontinuierliche Weiterbildung und einen regelmässigen internationaler Daten- und Erfahrungsaustausch.

7. Literaturhinweise

[1] O. Huber, J. Halter, H. Völkle und B. Michaud: *18. bis 30. Bericht der Eidg. Kommission zur Überwachung der Radioaktivität zuhanden des Bundesrates*. (KUER-Jahresberichte ab 1974 bis 1988). Beilage zum Bulletin des Bundesamtes für Gesundheit, Bern.

[2] Zusammen mit andern Autoren: Jahresberichte des Bundesamtes für Gesundheit (BAG) zu *Umweltradioaktivität und Strahlendosen in der Schweiz*: ab 1989; Bundesamt für Gesundheit, Bern. http://www.bag.admin.ch/themen/strahlung/12128/12242/index.html?lang=de

[3] O. Huber, J. Halter, H. Loosli und H. Völkle: *25 Jahre Radioaktivitätsüberwachung in der Schweiz*. Bundesamt für Gesundheitswesen, Bern. November 1982. http://www.unifr.ch/sfsn/pdf/25jahre.pdf

[4] H. Völkle: *Zur Strahlenexposition der Bevölkerung durch den radioaktiven Ausfall der Kernwaffenversuche der 50er- und 60er-Jahre*. 18. Jahrestagung des Fachverband für Strahlenschutz an Bord der FINNJET (Travemünde-Helsinki), 8.-10. Oktober 1985. Proceedings p. 617-632. http://www.unifr.ch/sfsn/pdf/voelklefallout-Finjet.pdf

[5] M. Winter, H. Völkle, J. Narrog, P. Meyer und K. Kirchhoff: *Die Radioaktivität in der Bundesrepublik Deutschland und in der Schweiz nach dem Reaktorunfall in Tschernobyl*. Jahrestagung des Fachverband für Strahlenschutz im Oktober 1986 in Salzburg. Proceedings p. 729-734.

[6] C. Murith und H. Völkle: *Environmental Monitoring around Swiss Nuclear Power Stations*. Environmental Impact of Nuclear Installations, Joint FS-SFRP-Seminary at the University of Fribourg 15.-18.9.1992, RADIOPROTECTION Special Issue February 1993, p. 21-25.

[7] O. Huber, W. Jeschki, S. Prêtre and H. Völkle*: Effects in Switzerland of the Chernobyl Reactor accident.* Kerntechnik 61 (1996), pp. 271-277, Carl Hanser Verlag München. http://www.unifr.ch/sfsn/pdf/hubertschernobyl-KT.pdf

[8] H. Völkle: *40 Jahre Überwachung der Umweltradioaktivität in der Schweiz*. Strahlenschutzpraxis 4/96 p. 8-16, Verlag TÜV Media Köln.

[9] H. Völkle: *Arbeitsweise und Erkenntnisse der Spurenanalyse: Freisetzung von ^{137}Cs in einem spanischen Stahlwerk im Mai 1998.* Strahlenschutzpraxis 3/99 p. 13-15. Verlag TÜV Media Köln.

[10] H. Völkle: *„50 Jahre Radioaktivitätsüberwachung in der Schweiz“*, Vortrag am Symposium «50 Jahre Deutscher Wetterdienst» am 9.6.2005 in Langen bei Frankfurt; Veröffentlicht in den Annalen der Meteorolgie Nr 42, Offenbach am Main 2006. Festschrift zu 50 Jahre Überwachung der Radioaktiviät in der Atmosphäre durch den Deutschen Wetterdienst. http://www.unifr.ch/sfsn/pdf/voelkleradioaktivitaetsueberwachung-DWD.pdf

[11] H. Völkle: *Radiation Protection of the Environment under the Light of the New Concept of Radiation Protection of Non-Human Species.* Refresher Course RC9. Proceedings of the Second European IRPA Congress on Radiation Protection, 15-19 May 2006 Paris. http://www.unifr.ch/sfsn/pdf/voelklenonhuman-IRPA.pdf

[12] H. Völkle: *50 Years of radiation protection and nuclear power in Switzerland: A brief history*. Atoms for Peace: An International Journal, Vol 1, Nos. 0/3, 2006, pp. 239-244. http://www.unifr.ch/sfsn/pdf/50years-AFP.pdf

[13] H. Völkle: *50 Jahre Radioaktivitätsüberwachung in der Schweiz*; StrahlenschutzPraxis Heft 2/2007, pp. 52 – 58, Verlag TÜV Media Köln.

[14] A. Beutmann, B. Bucher, E. Kümmerle, W. Kukla, E. Pomplun, H. Völkle, A. Wicke: *Zur Dosisrelevanz der einzelnen Expositionspfade bei Emissionen aus Kernkraftwerken*: Vortrag an der gemeinsamen Tagung ÖSV und FS in Alpbach am 21.-25.9.09. Proceedings-Band. pp. 143-148.

8. Anhang: Beispiel für eine Vereinheitlichung von Probenentnahme-Verfahren: Schweizer Empfehlungen zur Probenentahme und Erde und Gras

Erdboden-Proben

Probenahme auf ebener (nicht landwirtschaftlich bearbeiteter) Wiese, nicht in Hanglage oder Mulde und möglichst immer an derselben Stelle (aber nicht im Loch der Entnahme des Vorjahres). – Entnahme mit Zwiebelstecher Ø 6cm (s. Bild; der ausgestochene Erdzylinder kann durch Zusammendrücken des Griff herausgelöst werden) an 6 Punkten an den Ecken und in der Mitte der längeren Seite eines Rechteckes von 4 x 2 m. Zwiebelstecher beim Einstossen in den Boden etwas drehen. – Nur die obersten 5 cm verwenden und in Plastiksack einfüllen. Frischgewicht (vor Ort) bestimmen. – Bei 60° – 80° im Ofen trocknen und Trockengewicht bestimmen. – Steine, Wurzeln und Gras entfernen; mit Sieb von 2 mm Maschenweite sieben und homogenisieren. – Aus der Gesamtmenge die zur Messung benötigte Probenmenge in ein Messgefäss füllen und Gewicht bestimmen. – Beim Resultat auch ^{40}K und Verhältnis trocken/frisch angeben. Probe hernach archivieren.

Mögliche Probleme: Wenn die Probenahme immer an exakt derselben Stelle erfolgt, kann es vorkommen, dass man die Probe im «Loch» von der letztjährigen Probenahme entnimmt, was u. U. einen unbrauchbaren Messwert ergibt. – Ein verändertes Messresultat kann sich auch ergeben, wenn die Wiese zwischen zwei Probenahme gepflügt, gedüngt, mit neuer Erde überdeckt oder überschwemmt wurde.

Gras-Proben (Bewuchs)

Es wird ein Frischgewicht von ca. 4 kg benötigt. – Die abgemähte Fläche ist angeben. – Gras darf nicht mit Erde verschmutzt sein. – Frischgewicht zum Zeitpunkt der Probenahme (vor Ort) bestimmen. – Probe im Ofen bei 60° trocknen und Trockengewicht ist bestimmen. – Gras mahlen. – Beim Resultat auch ^{40}K und Verhältnis trocken/frisch angeben. – Probe hernach archivieren. – Wird die (frische) Grasprobe zu Behandlung/Messung per Post an ein anderes Labor versandt, sollte dieser Versand per Express und **nicht an einem Freitag** erfolgen, weil das Gras sonst während des Wochenendes (auf dem Versandweg) zu faulen beginnt.

WAS BRINGT DIE ÄNDERUNG DER RÖNTGENVERORDNUNG NEUES?

WHAT COMES NEW WITH THE MODIFIED X-RAY-ACT?

R. Giessing

Magdeburg

Zusammenfassung *—Am 1. November 2011 ist die Verordnung zur Änderung strahlenschutzrechtlicher Verordnungen (BGBl I, S. 2000) in Kraft getreten. Neben einer ausstehenden Regelung für nicht gerechtfertigte Anwendungen von Röntgenstrahlung an Menschen hatte sich aus dem Vollzug der Bedarf nach klärenden und präzisierenden Formulierungen ergeben. Diese werden getrennt für medizinische und technische Anwender erläutert.*

Schlüsselwörter —Röntgenverordnung, nicht gerechtfertigte Anwendung, medizinische Forschung, E-Government

1. Einleitung

Anlass für die Änderungsverordnung war eine ausstehende Regelung für nicht gerechtfertigte Anwendungen von Röntgenstrahlung. Aber auch der Vollzug der 2002 umfänglich geänderten Röntgenverordnung hatte den Bedarf nach klärenden und präzisierenden Formulierungen offenbart.
Beiden Anliegen wurde mit der Änderungsverordnung entsprochen. Nachfolgend sollen den Strahlenanwendern die jeweiligen Änderungen erläutert werden: Dabei wird vor allem von den Formulierungen der Bundesratsdrucksachen 266/11 und 266/1/11 Gebrauch gemacht, die die Begründungen für die jeweiligen Änderungen bzw. Umformulierungen enthalten.

2. Nicht gerechtfertigte Anwendung von Röntgenstrahlung

Während bisher die nicht gerechtfertigten Anwendungen von Röntgenstrahlung in einer besonderen Rechtsverordnung geregelt werden sollten, werden diese nunmehr in der neuen Anlage 5 der Röntgenverordnung aufgeführt. Dazu wird in § 2a (Strahlenschutzgrundsätze) der Absatz 3 neu formuliert: „Nicht gerechtfertigt sind nach Anlage 5 Teil A die Anwendung intraoraler Röntgenstrahler für die Anfertigung eines Zahnstatus und die Anwendung von Röntgenstrahlung am Menschen zur Pneumenzephalografie (Darstellung der Hirnventrikel). Nach Anlage 5 Teil B sind folgende Anwendungen außerhalb der Medizin nicht gerechtfertigt: Die Anwendung von Röntgenstrahlung am Menschen zum Zwecke der Zutrittskontrolle oder der Suche von Gegenständen, die eine Person versteckt am Körper tragen könnte, soweit die Anwendung nicht aufgrund eines Gesetzes erfolgt oder im Geschäftsbereich des Bundesministeriums der Verteidigung zum Zweck der Verteidigung zwingend erforderlich ist. Außerdem zählt die Anwendung von Röntgenstrahlung am Menschen zur Ermittlung der Passfähigkeit von Kleidungsstücken (z.B. von Schuhen) zu den nicht gerechtfertigten Anwendungen.

3. Änderungen für medizinische Anwender

3.1 Regelungen für medizinische Anwendungen in der Heilkunde und Zahnheilkunde

In § 3, der die Genehmigungsbedürftigkeit des Betriebes einer Röntgeneinrichtung regelt, wird mit einem Abs. 4a für den Betrieb einer Röntgeneinrichtung zur Untersuchung von Menschen im Rahmen freiwilliger Röntgenreihenuntersuchungen die Genehmigungspflicht eingeführt. Für die entsprechenden Erläuterungen s. Abschnitt 3.2.

In § 4, der die Möglichkeit des befugten Betriebes einer Röntgeneinrichtung nach einer Anzeige regelt, wird in Abs. 5 mit einer neuen Formulierung präziser geregelt, dass für medizinische Röntgeneinrichtungen, die nach einer Anzeige an die Behörde befugt betrieben werden, wesentliche Änderungen vorher anzuzeigen sind. Wesentliche Änderungen wären z.B. der Einbau einer leistungsstärkeren Röntgenröhre, der Übergang zu einem anderen Bildgebungsprinzip oder die Hinzuziehung eines zweiten oder weiteren Arztes in einer Gemeinschaftspraxis. Das gilt definitiv auch für Röntgeneinrichtungen, die mit einem bauartzugelassenen Strahler nach der vor dem 1. Juli 2002 gültigen Fassung der Röntgenverordnung nach einer Anzeige befugt betrieben werden.

Die textlichen Änderungen im § 15 (Pflichten des Strahlenschutzverantwortlichen und des Strahlenschutzbeauftragten) ändern keine Zuständigkeiten oder Verantwortlichkeiten, sondern sind den Änderungen in den Fundstellen der aufgezählten Verantwortlichkeiten geschuldet.

Dem § 16 Abs. 1 RöV wird ein Satz angefügt, nach dem die den Prüfungen der ärztlichen Stelle nach § 17a Abs. 1 zugrunde liegenden Daten als Grundlage für die Erstellung der diagnostischen Referenzwerte dienen können. Damit soll erreicht werden, dass das Bundesamt für Strahlenschutz in Zusammenarbeit mit den obersten Landesbehörden und den ärztlichen Stellen der Realität angepasste diagnostische Referenzwerte festlegen kann.

In § 16 Abs. 2 Satz ist bisher geregelt, dass auch nach Änderungen der Röntgeneinrichtung oder ihres Betriebes eine Abnahmeprüfung erforderlich ist. Nunmehr wird die Einschränkung aufgehoben, dass nur nach **nachteiliger** Beeinflussung der Bildqualität oder der Strahlenexposition durch die Änderung eine Abnahmeprüfung erforderlich sei. Eine Abnahmeprüfung ist nunmehr in jedem Fall erforderlich, mit der erst festgestellt werden kann, ob ggf. eine nachteilige Beeinflussung vorliegt.

In § 17a Abs. 1 (Qualitätssicherung durch ärztliche und zahn ärztliche Stelle) wird mit einem an Abs. 1 angefügten Satz den ärztlichen und zahn ärztlichen Stellen erlaubt, dass sie die Ergebnisse der Prüfungen mit Ausnahme von personenbezogenen Daten an die nach SGB V für die Qualitätsprüfungen zuständigen Stellen weitergeben dürfen. Damit sollen für die Ärzte, Zahnärzte und Krankenhäuser Doppelprüfungen vermieden werden.

Nach der geänderten Fassung des § 18 Abs. 3 Satz 2 können nunmehr alle aus der Röntgenverordnung erwachsenden Aufzeichnungspflichten auch ohne vorherige Zustimmung durch die zuständige Behörde – die bisher nach § 43 notwendig war - in elektronischer Form erfolgen. Alle Details dazu werden mit einer neuen Formulierung das § 43 geregelt.
So heißt es in Abs. 1 „*Aufzeichnungs-, Buchführungs- und Aufbewahrungspflichten nach dieser Verordnung können elektronisch erfüllt werden. § 28 Abs. 4 bis 6 bleibt unberührt*“. Im § 28 Abs. 4 bis 6 sind die Anforderungen an die elektronische Aufbewahrung von Aufzeichnungen (z.B. Patientendaten) und Röntgenbildern aufgeführt. Danach müssen die

elektronischen Daten und die Aufnahmen jederzeit lesbar gemacht werden können, ohne dass dabei Informationsverluste auftreten.

In § 18 a wird der den Erwerb und die Aktualisierung von Fachkunde und von Kenntnissen im Strahlenschutz geregelt. Bisher wurde der Erwerb der Fachkunde und der Kenntnisse im Strahlenschutz von der zuständigen Behörde jeweils im Einzelfall geprüft und bescheinigt. Nunmehr wird für medizinisches Personal, das über Kenntnisse im Strahlenschutz verfügen muss, mit zwei, an Abs. 3 angefügten Sätzen geregelt, dass die Kenntnisse auch mit dem erfolgreichen Abschluss eines anerkannten Kurses als geprüft und bescheinigt gelten, wenn die zuständige Behörde auf Antrag eines Kursveranstalters zuvor festgestellt hat, dass die erforderlichen Kenntnisse im Strahlenschutz mit dem Bestehen der Abschlussprüfung dieses Kurses erworben werden. Diese Regelung gilt auch für den Arzt vor Ort bei der Teleradiologie und für den Tierarzt ohne Fachkunde im Strahlenschutz, der unter Aufsicht röntgt.

Im § 21 Abs. 1, der die erforderlichen Schutzvorkehrungen für die beruflich strahlenexponierten Personen enthält, erhält der Satz 2 folgende Fassung: „Bei Personen, die sich im Kontrollbereich aufhalten, ist sicherzustellen, dass sie die erforderliche Schutzkleidung tragen *und die erforderlichen Schutzausrüstungen verwenden*.“ Diese Präzisierung trifft wohl vor allem für die Ärzte in Krankenhäusern zu, die interventionelle Radiologie betreiben und verlangt, dass sie neben Schutzbrillen ggf. passende Bleiglasabschirmungen verwenden, um vor allem Kataraktbildung zu verhindern. Nach neueren Erkenntnissen tritt diese bereits bei niedrigeren Dosen auf als bisher angenommen.

Zu § 22, der den Zutritt zu Strahlenschutzbereichen regelt, ist für die u.a. aufgeführte helfende Person anzumerken, dass für diese in § 2 (Begriffsbestimmung) eine neue Definition aufgenommen wurde. Danach ist eine helfende Person *eine einwilligungsfähige oder mit Einwilligung ihres gesetzlichen Vertreters handelnde Person, die außerhalb ihrer beruflichen Tätigkeit freiwillig* Personen unterstützt oder betreut, an denen in Ausübung der Heilkunde Röntgenstrahlung angewendet wird.

Eine Präzisierung erfährt auch der Abs. 2 in § 23 RöV (Rechtfertigende Indikation), der nunmehr lautet: „Der die rechtfertigende Indikation stellende Arzt hat vor der Anwendung, erforderlichenfalls in Zusammenarbeit mit dem überweisenden Arzt, die verfügbaren Informationen über bisherige medizinische Erkenntnisse heranzuziehen, um jede unnötige Strahlenexposition zu vermeiden. Patienten sind über frühere medizinische Anwendungen von ionisierender Strahlung *und weiteren bildgebenden Verfahren*, die für die vorgesehene Anwendung von Bedeutung sind, zu befragen.“

In § 24 (Berechtigte Personen) wird im Abs. 2 Nr. 1 die gegenwärtig aktuelle Fassung des MTA-Gesetzes angeführt und eine Nummer 5 angefügt, nach der die technische Durchführung der Anwendung von Röntgenstrahlung in der Heilkunde auch einem Medizinphysik-Experten erlaubt ist, wenn er unter ständiger Aufsicht und Verantwortung eines fachkundigen Arztes tätig wird.

In den § 25 Abs. 1, der die Anwendungsgrundsätze für die Anwendung von Röntgenstrahlung am Menschen regelt, werden solche Fälle aufgenommen, in denen die Aufenthalts- oder die Einwanderungsbestimmungen eines anderen Staates eine Röntgenaufnahme fordern. Außerdem wird ein zusätzlicher Abs. 1a eingefügt:

(1a) Bei jeder Anwendung von Röntgenstrahlung am Menschen muss die ordnungsgemäße Funktion der Röntgeneinrichtung gewährleistet sein.

Durch eine Änderung in § 27 Abs. 2 Nr. 1 (Röntgenbehandlung) wird durch die Einfügung der Worte „*soweit es die Art der Behandlung erfordert*“ die Überprüfung der Einhaltung aller im Bestrahlungsplan festgelegten Bedingungen zusätzlich durch einen Medizinphysik-Experten bei Standardverfahren entbehrlich.

In § 28 (Aufzeichnungspflichten) wird durch eine Ergänzung in Abs. 3 Satz 3 die Aufbewahrungspflicht der Aufzeichnungen von Personen unter 18 Jahren natürlicherweise auf die Röntgenbilder solcher Untersuchungen ausgedehnt. Das erfolgte sicher bisher schon, nun steht es definitiv in der Verordnung.
Als personenbezogene Patientendaten ist nunmehr neben dem Familiennamen, dem Vornamen, dem Geburtsdatum und dem Geschlecht zusätzlich der *Geburtsort* aufzuzeichnen

3.2 Regelungen für Röntgenreihenuntersuchungen

Bisher konnten solche Untersuchungen (im speziellen Fall das Mammografiescreening) auch mit Röntgeneinrichtungen durchgeführt werden, die nach einer Anzeige nach § 4 (Anzeigebedürftiger Betrieb von Röntgeneinrichtungen) befugt betrieben wurden. Voraussetzung war allerdings nach § 25 Abs. 1 Satz 2 eine entsprechende Zulassung der obersten Landesgesundheitsbehörde zur Durchführung freiwilliger Röntgenreihenuntersuchungen im betroffenen Bundesland. Es hatte sich herausgestellt, dass die Bundesländer bei diesen Zulassungen unterschiedlich vorgingen.
Nunmehr wurde in § 4 Absatz 5 Satz 2 eine Ausnahme von der Möglichkeit, für Röntgenreihenuntersuchungen genutzte Röntgeneinrichtungen mit einer Anzeige nach § 4 Abs. 1 zu betreiben, aufgenommen. Damit bedarf nunmehr der Betrieb einer Röntgeneinrichtung zur Durchführung freiwilliger Röntgenreihenuntersuchungen einer behördlichen Genehmigung.
Damit die Behörde alle Anforderungen an den Betrieb solcher für das Mammografiescreening genutzten Röntgeneinrichtungen prüfen kann, erhält der § 3, der die Genehmigungsbedürftigkeit des Betriebes von Röntgeneinrichtungen regelt, einen zusätzlichen Absatz 4a, in dem die Anforderungen für eine Genehmigung zum Betrieb einer Röntgeneinrichtung zur Untersuchung von Menschen im Rahmen einer freiwilligen Röntgenreihenuntersuchung aufgeführt werden. Eine derartige Genehmigung wird längstens auf fünf Jahre befristet. Für einen Weiterbetrieb ist eine erneute Genehmigung erforderlich. Damit soll insbesondere einem möglichen technischen Fortschritt Rechnung getragen werden – Stichwort digitale Aufnahmetechniken.
An das Personal, das bei Röntgenreihenuntersuchungen tätig wird, werden ebenfalls zusätzliche Anforderungen gestellt. So darf eine entsprechende Aufnahme nur von einem fachkundigen Arzt oder einer Medizinisch-technischen Radiologie-Assistentin (MTRA) angefertigt werden. Die Forderung nach einer MTRA begründet sich vor allem aus der Tatsache, dass für die Anfertigung einer Röntgenaufnahme zum Zwecke des Mammografiescreenings keine rechtfertigende Indikation erforderlich ist, daher evtl. kein fachkundiger Arzt vor Ort ist, die erforderliche Aufnahmequalität jedoch gewährleistet werden muss.

In § 17a (Qualitätssicherung durch ärztliche und zahnärztliche Stelle) wird in Abs. 1 durch Streichung der Worte „in der Heilkunde und Zahnheilkunde“ die Zuständigkeit der ärztlichen

Stellen auf die Kontrolle der Aufnahmen und Aufnahmebedingungen von bei Röntgenreihenuntersuchungen eingesetzten Röntgengeräten ausgedehnt.
Durch die Streichung der Worte „in der Heilkunde und Zahnheilkunde“ in § 17a Abs. 4 Satz 1 werden die Betreiber von Röntgeneinrichtungen für Röntgenreihenuntersuchungen verpflichtet, sich bei der zuständigen ärztlichen Stelle anzumelden.

Wer bisher ein Röntgengerät nach einer Anzeige nach § 4 RöV befugt betrieb und es zum Mammografiescreening einsetzt, darf den Betrieb zunächst bis zum 31. Oktober 2012 fortsetzen. Wenn er vor Ablauf dieser Frist den Antrag auf Genehmigung stellt, darf er das Gerät bis zur behördlichen Entscheidung über den Antrag weiter betreiben. Ansonsten endet der befugte Betrieb zum Mammografiescreening.
Wer bisher schon ein Röntgengerät mit einer Genehmigung nach § 3 RöV befugt betreibt und es zum Mammografiescreening einsetzt, darf den Betrieb fünf Jahre lang, d.h., bis zum 31. Oktober 2016 fortsetzen, es sei denn, die Genehmigung ist bereits befristet worden. Auch hier ist vor Ablauf dieser Frist eine erneute Genehmigung zu beantragen.

3. 3 Regelungen für die medizinische Forschung

Für den Bereich der **medizinischen Forschung** sind in der Röntgenverordnung für die so genannte Begleitdiagnostik vereinfachte Genehmigungsverfahren eingeführt worden. Sie sollen zu einer deutlichen Reduzierung der Antragsunterlagen und damit zu deutlich kürzeren Prüffristen beim Bundesamt für Strahlenschutz führen, ohne das Schutzniveau für die Probanden abzusenken.
Dazu wird § 28b (medizinische Forschung) neu formuliert, wobei die Unterscheidung von gesunden Probanden und solchen, die durch die Teilnahme an der medizinischen Forschung einen Nutzen erfahren, berücksichtigt wird. Auch die weiteren Änderungen in den §§ 28 d und e gehen auf die Unterscheidung zwischen gesunden und anderen Probanden zurück
Die Änderung von § 28 g definiert die Aufgaben der zu beteiligenden Ethikkommission präziser.

3.4 Regelungen für die Tierheilkunde

Zunächst wird in § 2 (Begriffsbestimmungen) mit Nr. 12a eine neue Definition für die sog Tierbegleitperson eingefügt. Mit Nr. 12a wird der in § 22 verwendete Begriff des Tierhalters durch die ein Tier bei einer Untersuchung betreuende Person ersetzt, um sie von der rechtlichen Funktion des Tierhalters zu unterscheiden. Einer solchen *einwilligungsfähigen Person, die das 18. Lebensjahr überschritten haben muss, die freiwillig außerhalb ihrer beruflichen Tätigkeit ein Tier begleitet,* an dem in Ausübung der Tierheilkunde Röntgenstrahlung angewendet wird, darf nach § 22 RöV vom fachkundigen Tierarzt der Zutritt zu einem Überwachungsbereich oder einem Kontrollbereich gestattet werden, um das zu untersuchende Tier zu betreuen. Davon ausgenommen sind schwangere Frauen.

4. Regelungen für technische Anwender

Der technischen Entwicklung folgend, wird der § 2 (Begriffsbestimmungen) um die Definition von sog. Basisschutzgeräten ergänzt. Basisschutzgeräte sind im Grunde Hochschutzgeräte, die jedoch Öffnungen zum Ein- und Ausbringen von zu untersuchenden oder zu behandelnden Gegenständen und eine geeignete Transportvorrichtung besitzen. Die Öffnungen sind zwar mit Bleigummischürzen versehen, trotzdem ist der Schutzgrad von

Basisschutzgeräten niedriger. Sie dienen der Untersuchung von Gepäckstücken, Paketen oder auch von Lebensmitteln. Für derartige Geräte wird zugleich in Anlage 2, die die Vorschriften über die Bauart von Röntgeneinrichtungen für nichtmedizinische Zwecke enthält, eine neue Nummer 6 eingefügt, in der die Vorschriften für die Bauart solcher Geräte angegeben sind.

Die Regelungen in § 4 Abs. 3 und 4 werden auf die Basisschutzgeräte ausgedehnt. Das bedeutet, dass sie nach einer Anzeige an die Behörde befugt betrieben werden dürfen, wenn sie eine Bauartzulassung besitzen.

In § 4 Abs. 3, in dem die Ausnahmen von der Möglichkeit des befugten Betriebes einer Röntgeneinrichtung nach einer Anzeige aufgezählt werden, wird mit der neuen Nummer 4 das Betreiben einer Röntgeneinrichtung außerhalb eines Röntgenraumes genehmigungspflichtig gemacht, es sei denn, es handelt sich um die Fälle des §20 Abs. 2 (medizinische oder tiermedizinische Untersuchung, wenn der Zustand des menschlichen Patienten oder die Größe des Tieres es zwingend erfordert) oder um die Fälle des § 20 Abs. 3 Nr. 1, 2 oder 4 (Hoch- oder Vollschutzgeräte, Schulröntgengeräte, oder wenn die Behörde den Betrieb außerhalb eines Röntgenraumes gestattet hat). Damit wird klargestellt, dass der Betrieb einer Röntgeneinrichtung außerhalb eines Röntgenraumes genehmigungspflichtig ist, ansonsten liefen die Regelungen des § 20 Abs. 3 Nummer 3 ins Leere. Die Regelung entspricht der bisherigen Praxis und betrifft in erster Linie die Werkstoffprüfung.

In § 6 RöV, mit dem die Schutzmaßnahmen bei der Prüfung, Erprobung, Wartung und Instandsetzung von Röntgeneinrichtungen geregelt werden, werden in Abs. 2 zwei Sätze 3 und 4 angefügt, mit denen geklärt wird, dass für die Einhaltung aller Schutzmaßnahmen und der ggf. von der Behörde erlassenen Anordnungen der Betriebsinhaber oder der evtl. erforderliche Strahlenschutzbeauftragte verantwortlich sind. Gleiches gilt infolge einer analogen Ergänzung in § 6 Abs. 3 für die Tätigkeiten im Zusammenhang mit fremden Röntgeneinrichtungen. Diese Regelung entspricht denen des § 15 Strahlenschutzverordnung (Tätigkeit in fremden Einrichtngen).
Außerdem wird durch an den Abs. 1 angefügte Sätze explizit geklärt, dass Personen, die sonstige Arbeiten an technischen und medizinischen Röntgeneinrichtungen, Zusatzgeräten, Zubehör, der erforderlichen Software sowie an Vorrichtungen zur medizinischen Befundung ausüben, ohne dabei die Röntgenstrahlung einzuschalten, nicht über Fachkunde im Strahlenschutz verfügen müssen.

In § 8 (Bauartzulassung) werden die Basisschutzgeräte ergänzt, deren Bauart nach Vorliegen der in Anlage 2 geregelten Anforderungen zugelassen werden kann.
Gleiche Ergänzung um die Basisschutzgeräte erfahren § 10 (Zulassungsschein) und § 20 (Röntgenräume).

In § 30 wird durch einen zusätzlichen Satz klargestellt, dass es für den Betrieb eines Vollschutzgerätes weder einer Fachkunde im Strahlenschutz noch besonderer Kenntnisse bedarf.

5. Regelungen für alle Röntgenstrahlenanwender

Für alle Anwender von Bedeutung sind die Änderungen in § 34 „Messung von Ortsdosis, Ortsdosisleistung *und Personendosis*“. Dort werden zwei Absätze angefügt, mit denen in Analogie zur Strahlenschutzverordnung sichergestellt werden soll, dass die notwendigen Messgeräte vorhanden und jederzeit funktionstüchtig sind. Sie lauten:

(3) Zur Messung der Personendosis, der Ortsdosis und der Ortsdosisleistung sind, sofern geeichte Strahlungsmessgeräte nicht vorgeschrieben sind, andere geeignete Strahlungsmessgeräte zu verwenden. Die Strahlungsmessgeräte müssen

1. den Anforderungen des Messzweckes genügen,
2. in ausreichender Zahl vorhanden sein und
3. regelmäßig auf ihre Funktionstüchtigkeit geprüft und gewartet werden.

(4) Der Zeitpunkt und das Ergebnis der Funktionsprüfung und Wartung nach Absatz 3 Satz 2 Nummer 3 sind aufzuzeichnen. Die Aufzeichnungen sind zehn Jahre ab dem Zeitpunkt der Funktionsprüfung oder Wartung aufzubewahren und der zuständigen Behörde auf Verlangen vorzulegen oder bei einer von ihr bestimmten Stelle zu hinterlegen.

Mit einer Änderung in § 35 Abs. 4 dürfen neben den von einer Messstelle anzufordenden Personendosimetern auch Personendosimeter benutzt werden, die in der Einrichtung der zu überwachenden Person (Universität, Forschungseinrichtung etc.) ausgewertet werden und dessen Verwendung nach Zustimmung der Messstelle von der zuständigen Behörde gestattet wurde. Die Messwerte sind der Messstelle zur Prüfung und Feststellung bereitzustellen.
Die Änderung im Abs. 7, der die Fristen zur Einreichung von Personendosimetern an die Messstelle regelt, sollte die Strahlenschutzverantwortlichen über die Möglichkeit nachdenken lassen, dass die zuständige Behörde die Frist verlängern kann. Es heißt jetzt: *Die zuständige Behörde kann gestatten, dass Dosimeter in Zeitabständen bis zu drei Monaten der Messstelle einzureichen sind.* Insbesondere bei Personal, das monatlich nur eine vernachlässigbare Dosis erhält, sollte die Behörde einer Verlängerung des Tragezeitraumes zustimmen können. Gleichzeitig sollte der Strahlenschutzverantwortliche bedenken, dass die Messstelle die Dosisermittlungen nur noch *fünf* Jahre (statt bisher 30) aufbewahren muss.

Schließlich sind die Änderungen bei der Pflicht zur arbeitsmedizinischen Überwachung zu beachten.
In § 37 ist geregelt, dass beruflich strahlenexponierte Personen arbeitsmedizinisch zu untersuchen sind. Durch einen an Abs. 2 angefügten Satz wird klargestellt, dass eine beruflich strahlenexponierte Person mindestens alle zwei Jahre arbeitsmedizinisch untersucht werden muss, während jährlich eine Beurteilung durch einen ermächtigten Arzt erforderlich ist, mit der der Arzt bescheinigt, dass gegen eine weitere Beschäftigung als beruflich strahlenexponierter Person keine gesundheitlichen Bedenken bestehen.
Neu ist mit einem eingefügten Abs. 5a das Erfordernis, nach Beendigung der Tätigkeit als beruflich strahlenexponierte Person die arbeitsmedizinische Vorsorge mit Einwilligung der betroffenen Person solange fortzusetzen, wie es der ermächtigte Arzt für erforderlich erachtet. Diese Verpflichtung entfällt, wenn der zuständige gesetzliche Unfallversicherungsträger diese nachgehenden Untersuchungen mit Einwilligung des Betroffenen übernimmt.

Mit einer neuen Formulierung des § 43 Abs. 1 (Elektronische Kommunikation) wird geregelt, dass alle Aufzeichnungs-, Buchführungs- und Aufbewahrungspflichten nach der Röntgenverordnung elektronisch erfüllt werden können. Damit entfällt die bisher erforderliche Zustimmung der zuständigen Behörde. Die Art und Weise der jeweiligen Nachweise ist in § 28 Abs. 4 bis 6 geregelt.

Die Übergangsregelungen des § 45 werden von den abgelaufenen Fristen befreit mit Ausnahme der Übergangsfrist für die Anwendung der neuen Messgrößen für die Ortsdosis und Ortsdosisleistung. Hier hat der Bundesrat eine Verlängerung der eigentlich bereits

abgelaufenen Frist bis zum 1. August 2016 bewirkt mit der Begründung, dass es insbesondere für den Energiebereich der Röntgenstrahlung der Industrie bisher nicht gelungen ist, entsprechende Messgeräte auf den Markt zu bringen. Dies betrifft im medizinischen Bereich Messungen an Mammografiegeräten, im technischen Bereich Röntgenfluoreszenzgeräte und Feinstrukturgeräte. Auch die Messung an modernen digitalen Röntgeneinrichtungen mit sehr kurzen Schaltzeiten ist derzeit nicht verlässlich möglich. Dies betrifft vor allem die Sachverständigen, die weitere fünf Jahre in den alten Messgrößen messen und die Werte dann umrechnen dürfen.

STRAHLENSCHUTZAUSBILDUNG IN EUROPA

RADIATION PROTECTION EDUCATION IN EUROPE

J.-W. Vahlbruch[1], S.-G. Jahn[2]

[1]Institut für Radioökologie und Strahlenschutz, Leibniz Universität Hannover,
Herrenhäuser Str. 2, 40419 Hannover, Deutschland
[2]Eidgenössisches Nuklearsicherheitsinspektorat, Industriestr. 19, 5200 Brugg, Schweiz

Zusammenfassung *—Auch im Strahlenschutz steigt in einem zusammenwachsenden Europa und dem damit verbundenen Austausch von Fachpersonal über Ländergrenzen hinweg die Notwendigkeit, berufliche Abschlüsse und Qualifikationen unterschiedlicher Länder zu vergleichen, zu bewerten und anzuerkennen. Maßgeblich für die Festlegung von Standards im Strahlenschutz ist auf europäischer Ebene die Richtlinie 96/29/EURATOM (EURATOM-Grundnormen), die den Mitgliedsländern weitreichende Freiheiten bei der Umsetzung der nationalen Organisation des Strahlenschutzes lässt. Durch die Novellierung der EURATOM-Grundnormen und der damit verbundenen Konkretisierung der Struktur in der Strahlenschutzorganisation kann es zu gravierenden Veränderungen in diesem System kommen, die insbesondere Deutschland betreffen könnten. Diese Veränderungen werden vorgestellt und diskutiert sowie bilaterale Ansätze zur zukünftigen Vereinfachung der Freizügigkeit von Fachpersonal präsentiert. Die Schweiz unterstützt ebenfalls die freie Arbeitsplatzwahl innerhalb Europas und beschäftigt schon heute einige tausend EU-Bürger mit Verantwortung im Strahlenschutz. Deshalb wird auch in der Eidgenossenschaft eine Harmonisierung der schweizerischen Anforderungen an die Strahlenschutz-Ausbildung mit denen der EU angestrebt. Und dies, obwohl die Schweiz als Nicht-EU-Mitglied nicht verpflichtet ist, die EURATOM-Grundnormen umzusetzen.*

Summary *—Education in Radiation Protection varies considerably in the different European Countries. As there is free movement of staff and services in between these European Countries one of the main objectives of the European Union is to compare the different implementations and to identify similarities. Therefore, in this paper the German and Swiss Radiation Protection Systems are explained and the relevant topics of the Revision of the European Basic Safety Standard are presented. Additionally a bilateral pilot project is described which compares the lowest level radiation protection courses in Germany and The Netherlands and possible future developments are outlined.*

Schlüsselwörter *—Strahlenschutzausbildung, Europa, RPE, RPO*
Keywords *—education and training in radiation protection, Europe, RPE, RPO*

Einleitung

Aufbauend auf dem Atomgesetz [1] wird in Deutschland der Strahlenschutz beim Umgang mit radioaktiven Stoffen, beim Betrieb sowie der Wartung, Instandsetzung, Prüfung und Erprobung von Beschleunigeranlagen und Röntgengeräten sowie Störstrahlern in zwei Rechtsverordnungen verbindlich geregelt, nämlich in der Strahlenschutzverordnung (StrlSchV) [2] und der Röntgenverordnung (RöV) [3].

In der Schweiz wird der Strahlenschutz in erster Linie durch das Strahlenschutzgesetz [4] und den nachgeordneten bundesrätlichen und departementarischen Verordnungen sowie behördlichen Richtlinien geregelt.

Darüber hinaus regelt der EURATOM-Vertrag [5] auf europäischer Ebene verbindlich den Strahlenschutz im Zusammenhang mit ionisierender Strahlung. Auf Grundlage dieses EURATOM-Vertrags verabschiedet die EU-Kommission Richtlinien zum Strahlenschutz, die dann in nationales Recht umgesetzt werden müssen. Als wesentliche Richtlinien regelt die Richtlinie 96/29/EURATOM [6], auch EURATOM-Grundnormen genannt, den Strahlenschutz für beruflich strahlenexponierte Personen in Europa. Diese Richtlinie wird zurzeit überarbeitet; der Richtlinienvorschlag wird im Rat der EU-Kommission diskutiert und dort nach Anhörung der Gruppe für Atomfragen verabschiedet werden.

Durch diese Überarbeitung können sich für Deutschland Konsequenzen ergeben, die die Strahlenschutzausbildung hierzulande erheblich beeinflussen können. Aber auch für die Schweiz wird es schwierig, die Strahlenschutzausbildung kompatibel zu den Vorgaben der EURATOM-Grundnormen zu gestalten.

1. Die Strahlenschutzorganisation in Deutschland

Um die Hürden einer europaweiten Anerkennung von deutschen Abschlüssen im System der Strahlenschutzausbildung erkennen zu können, soll zunächst das deutsche System kurz vorgestellt werden.

Sowohl in der StrlSchV als auch in der RöV werden als handelnde Personen im Strahlenschutz Strahlenschutzverantwortliche (SSV) und Strahlenschutzbeauftragte (SSB) definiert (§ 31 StrlSchV bzw. § 13 RöV). Beide Personen (es kann sich beim SSV sowohl um eine juristische als auch um eine natürliche Person handeln) bekommen in den Verordnungen Aufgaben und Pflichten übertragen, für deren Erfüllung sie Verantwortung übernehmen (§ 33 StrlSchV bzw. § 15 RöV). Die Bestellung des SSB muss schriftlich unter Angabe des Entscheidungsbereiches erfolgen und der zuständigen Behörde mitgeteilt werden, wobei die Behörde den SSB nur als solchen akzeptiert, wenn dieser die Fachkunde im Strahlenschutz im Sinne der Verordnung nachweisen kann (§§ 31 (4) StrlSchV bzw. §§ 13 (3) RöV). Die Fachkunde im Strahlenschutz wiederum ist eine in beiden Verordnungen identisch formulierte Anforderung und besteht grundsätzlich aus drei Teilen. So muss zum Nachweis der Fachkunde im Strahlenschutz in der Regel eine geeignete Berufsausbildung, genügend praktische Erfahrung (auch „Sachkunde“ genannt) und der erfolgreiche Besuch eines behördlich anerkannten Strahlenschutzkurses nachgewiesen werden (§ 30 (1) StrlSchV bzw. § 18a (1) RöV). Die Fachkunde muss in Deutschland alle 5 Jahre durch den erfolgreichen Besuch einen anerkannten Aktualisierungskurses aufgefrischt werden (§ 30 (2) StrlSchV bzw. § 18a (2) RöV). Die genauen Details der Verordnungen diesbezüglich sowie weitere Ausgestaltungsmöglichkeiten, wie z.B. die Bestellung von Strahlenschutzbevollmächtigten,

sind in der Literatur (z.B. in [7]) hinreichend beschrieben und sollen an dieser Stelle nicht weiter ausgeführt werden.

Die Existenz von zwei Verordnungen, die sich mit dem Strahlenschutz im Zusammenhang mit ionisierender Strahlung beschäftigen, hat historische Gründe und kann sowohl als vorteilhaft als auch als nachteilig angesehen werden. Da viele europäische Länder nur eine Verordnung oder ein Gesetz verabschiedet haben, das sich mit dem Strahlenschutz auf diesen Gebieten befasst, beginnen hier die ersten Schwierigkeiten beim intraeuropäischen Vergleich. Dieser wird dadurch erschwert, dass die Regelungen in der StrlSchV und der RöV zwar auf vielen Gebieten vergleichbar oder sogar identisch sind (z.B. in der Strahlenschutzorganisation, s.o.), aber insbesondere im administrativen Strahlenschutz (z. B. bzgl. Anzeige- oder Genehmigungsverfahren) erhebliche Unterschiede bestehen und wohl noch weiterhin bestehen bleiben werden.

Wichtig für den europäischen Vergleich ist vor allem aber die Philosophie der Strahlenschutzorganisation in Deutschland. Diese besteht darin, die Strahlenschutzbeauftragten, die in aller Regel Angestellte des unter das Strahlenschutzrecht fallenden Betriebes sind, durch die Fachkunde so zu qualifizieren, dass sie den Strahlenschutz für Ihren Bereich zuverlässig und sicher gewährleisten können. Dabei richten sich die notwendigen Kenntnisse und Fertigkeiten nach dem jeweiligen Risiko und der Anwendungsart der Strahlenquelle und der damit verbundenen Verantwortung des SSB. Nur in vergleichsweise seltenen Fällen (Tätigkeiten in Kernkraftwerken, an großen Beschleunigeranlagen oder in großen Forschungseinrichtungen) bildet der Strahlenschutz die Hauptaufgabe des Strahlenschutzbeauftragten. In den meisten Fällen nimmt der Strahlenschutz nur einen kleinen Teil der beruflichen Tätigkeit des SSBs ein und ist als Teil des Arbeitsschutzes anzusehen.

Vereinfachend könnte man formulieren, dass der SSB im deutschen System ein Experte nur für seinen, unter Umständen sehr eingeschränkten, Anwendungsbereich sein kann - allerdings mit dem großen Vorteil der Zugehörigkeit zum Betrieb, der daraus sich ergebenden detaillierten Kenntnisse über den aktuellen Betriebszustand der Strahlenquelle und dessen Umgebung sowie der ständigen Verfügbarkeit vor Ort. Dadurch, dass sowohl die StrlSchV als auch die RöV implizieren, dass der SSB vor Ort erreichbar sein muss, ist der SSB als der kompetenter Strahlenschützer vor Ort anwesend und kann im notwendigen Fall zügig die richtigen Maßnahmen veranlassen und deren Umsetzung durch seine genau definierte Stellung innerhalb des Unternehmens in Einklang mit seinen Befugnissen auch kontrollieren.

Dieses System kann nur dann sinnvoll funktionieren, wenn eine differenzierte Ausbildung der SSBs in den bereits oben erwähnten Strahlenschutzkursen sichergestellt wird. Darüber hinaus wird in Deutschland eine detaillierte Festlegung der notwendigen praktischen Erfahrung in Abhängigkeit von der erfolgten Berufsausbildung als notwendig angesehen. Gleichzeitig muss sichergestellt werden, dass im föderalen System der Bundesrepublik die zuständigen Behörden die sich unvermeidbar ergebenden juristischen Interpretationsspielräume einheitlich auslegen. Um dies zu gewährleisten, existiert eine Reihe an Fachkunde-Richtlinien [8-20], die detaillierte Bestimmungen zum Erwerb und Erhalt der Fachkunde definieren. In diesen Fachkunde-Richtlinien werden über 60 verschiedene Fachkundegruppen definiert, was dazu führt, dass das System der Fachkunde als sehr komplex und umständlich wahrgenommen wird. Dieser Umstand ist schon mehrfach (z.T. auch zu Recht) kritisiert worden (siehe z.B. [21]). Details dieser Diskussion sollen an dieser Stelle nicht vertieft werden. Es sollte aber in der Diskussion auch berücksichtigt werden, dass die Idee dieser differenzierten

Fachkundegruppen den Wunsch widerspiegelt, Kurse möglichst zugeschnitten auf die Kompetenz und das Vorwissen der Teilnehmer anbieten zu können. Eine Vereinfachung des Systems würde zwangsläufig bedeuten, dass die Teilnehmer in den Kursen vermehrt Inhalte verarbeiten müssten, die für ihre Tätigkeit als Strahlenschutzbeauftragter ohne jede Relevanz sind. Ob eine solche Veränderung für den Teilnehmer (und für den Arbeitgeber, der seinen Mitarbeiter zum Kursbesuch freistellen muss) von Vorteil ist oder eher nicht, soll hier nicht diskutiert werden. Zweifelsohne allerdings stellt das sehr differenzierte Kurssystem eine Barriere im intraeuropäischen Austausch von Strahlenschutzfachleuten dar, denn kein anderes europäisches Land besitzt ein derart aufgegliedertes System, so dass die gegenseitige Anerkennung im Bereich der Abschlüsse in der Strahlenschutzausbildung schwierig erscheint. Durch die Zunahme des grenzüberschreitenden Verkehrs von Arbeitskräften innerhalb der EU, aber auch durch die Novellierung der EURATOM-Grundnormen wächst allerdings die Notwendigkeit genau nach dieser gegenseitigen Anerkennung.

2. Verantwortungsstruktur und Ausbildung im Strahlenschutz in der Schweiz

Recht ähnlich zum deutschen System ist auch die Verantwortungsstruktur in der Schweiz aufgebaut, wobei durch die unterschiedlichen Definitionen der rechtlich verwendeten Begriffe ein direkter Vergleich Schweiz-Deutschland leicht zu Missverständnissen führen kann. Um nicht zu viel Verwirrung zu stiften, werden im Folgenden mit deutschen Begriffen das schweizerische Strahlenschutzsystem erklärt (*mit der jeweiligen Übersetzung in die schweizerische Begriffswelt in Klammern*).

Fast identisch zum deutschen Recht sind im schweizerischen Strahlenschutzgesetz [4] der SSV (*Bewilligungsinhaber*) und der SSB (*Sachverständige im Strahlenschutz*) genannt. Der SSV muss, um eine Genehmigung (*Bewilligung*) zu erhalten, eine ausreichende Anzahl an SSB bestellen (*einsetzen*). Diese SSB werden in der Genehmigung namentlich genannt. Die SSB übernehmen Aufgaben und Pflichten im Strahlenschutz und benötigen hierfür eine behördlich anerkannte Ausbildung. Die Anforderungen an diese Ausbildungen z.B. die Ausbildungsinhalte sowie die Kursdauer, sind in der Strahlenschutzausbildungsverordnung [22] festgelegt. Die Ausbildung sowie die damit erlaubten Tätigkeiten im Strahlenschutz richten sich ebenfalls nach dem Risiko und Anwendungsart der Strahlenquelle sowie dem Verantwortungsbereich des SSB. In der Strahlenschutzausbildungsverordnung sind die Anforderungen für 48 unterschiedliche Fachkundegruppen (*Sachkundegruppen*) in den drei Bereichen Medizin, Industrie und Forschung sowie Kernanlagen unterteilt.

Im Unterschied zum deutschen Recht sind in der schweizerischen Strahlenschutzverordnung [23] zusätzlich neben den SSB anerkannte Strahlenschutzausbildungen für weitere Personengruppen vorgeschrieben, z. B. für Personen, die Strahlenschutzaufgaben gegenüber Dritten übernehmen (beispielsweise Strahlenschutz-Fachkräfte in Kernkraftwerken). Diese Besonderheit hat sich zwar sehr gut bewährt, stellt aber im grenzüberschreitenden Verkehr von Arbeitskräften für schweizerische Behörden einige Herausforderungen dar.

3. Die Novellierung der EURATOM-Grundnormen

Nach der letzten Novellierung der EURATOM-Grundnormen 1996 wird zurzeit (2012) an einer neuen Überarbeitung gearbeitet. Ziele der Novellierung sind zum einen die Anpassung der EURATOM-Grundnormen an den aktuellen Stand von Wissenschaft und Technik und zum anderen die Vereinfachung existierender EURATOM Gesetzgebung im Strahlenschutz durch Zusammenführung relevanter Richtlinien wie der Richtlinie 97/43/Euratom

(Medizinische Exposition), der Richtlinie 89/618/Euratom (Unterrichtung der Bevölkerung), der Richtlinie 90/641/Euratom (Schutz externer Arbeitskräfte), der Richtlinie 2003/122/Euratom (Kontrolle hochradioaktiver umschlossener Strahlenquellen und herrenloser Strahlenquellen) und der Empfehlung der Kommission 90/143/Euratom (Radon).

Neben vielen, z.T. potentiell gravierenden Änderungsvorschlägen (Vereinheitlichung von Tätigkeiten und Arbeiten im Sinne der StrlSchV, Radongesetz) werden in der novellierten Fassung der EURATOM-Grundnormen auch Aussagen zur Strahlenschutzorganisation getroffen, die für Deutschland und die Schweiz Einfluss auf die oben beschriebenen etablierte Struktur haben könnten. Zwar wurde bereits in der zurzeit noch gültigen Richtlinie 96/29/EURATOM ein so genannter „qualified expert“ definiert. Allerdings wurden sowohl die Anforderungen an die Qualifikation dieser Person als auch die Anforderungen an deren Aufgaben sehr allgemein formuliert, so dass eine Gleichsetzung mit dem deutschen SSB zwanglos möglich war. Im Gegenzug wurde allerdings eine echte Harmonisierung innerhalb Europas durch den Verzicht auf eine bindende Ausgestaltung des qualified experts auch nicht unterstützt. Dies soll sich durch die Novellierung der EURATOM-Grundnomen ändern, so dass drei Personen bzw. Dienste definiert wurden: Der Radiation Protection Officer (RPO), der Radiation Protection Expert (RPE) und der Medical physics expert (MPE).

Während sich letzterer relativ gut in die deutsche Gesetzgebung integrieren ließe, passen die Definitionen von RPE und RPO nicht zur bisherigen deutschen Gesetzgebung. Dies träfe ebenfalls für die Schweiz zu. Der RPE ist in Artikel 4 (42) des Entwurfs zur EURATOM-Grundnormen [24] definiert als

„Radiation protection expert means an individual having the knowledge, training and experience needed to give radiation protection advice in order to ensure the effective protection of individuals, and whose capacity to act is recognised by the competent authorities“.

Nach dieser Definition entspricht der RPE eher einem beratenden Sachverständigen nach StrlSchV oder RöV als einem SSB. Auch impliziert diese Definition, dass ein abgeschlossenes technisches oder naturwissenschaftliches Hochschulstudium als Voraussetzung für die Tätigkeit als RPE angenommen werden muss. Viele deutsche SSBs verfügen nicht über ein entsprechendes Hochschulstudium, so dass eine Gleichsetzung von RPE und SSB bereits an den unterschiedlichen Grundvoraussetzungen scheitern muss. Auch legt die Definition nahe, dass ein RPE mit unabhängiger Beratungsfunktion eher außerhalb des Betriebes anzusiedeln ist, was mit der Rolle als SSB ebenfalls nicht vereinbar wäre.

In der Schweiz ist die Funktion des deutschen Sachverständigen, nicht zu verwechseln mit dem schweizerischen Begriff für SSB (*Sachverständige Strahlenschutz*), überhaupt nicht vorgesehen. Andererseits werden die im Entwurf der neuen EU-Grundnorm beschriebenen Aufgaben des RPE teils durch die Behörden teils durch die SSB in den Betrieben übernommen. Beispielsweise sind deshalb die Ausbildungsanforderungen an SSB der Kernkraftwerke quasi identisch zu denjenigen an den RPE.

Derzeit wird eine Revision der schweizerischen Strahlenschutzverordnung erarbeitet. In einem aktuellen Arbeitsentwurf für diese Revision wurde der Begriff „Strahlenschutzexperten“ neu eingeführt. In Anlehnung an die Anforderungen an den RPE soll deren Qualifikation dazu befähigen, Aufgaben zu übernehmen, die nicht von den gewöhnlichen SSB erfüllt werden können. Diese Aufgaben wären z.B. die Koordination

mehrere SSB in einem Betrieb mit hohen Strahlenrisiken (z.B. Kernkraftwerken, Universitätsspitälern, Chemie-Konzernen), die Erstellung bzw. die Begutachtung von Genehmigungsgrundlagen für Neubau von und Änderungen an strahlenschutzrelevanten Anlagen, die Erteilung von Genehmigungen oder die Leitung anerkannter Ausbildungskurse.

Der RPO wird in Artikel 4 (83) des Entwurfs zur EURATOM-Grundnormen definiert als

"Radiation protection officer means an individual who is technically competent in radiation protection matters relevant for a given type of practice and is designated by the undertaking to oversee the implementation of the radiation protection arrangements of the undertaking".

Diese Definition entspricht schon eher dem deutschen und schweizerischen SSB. Allerdings sehen die EURATOM-Grundnormen nicht vor, dass diese RPOs behördlich registriert sein sollen und auch die Übernahme von Verantwortung innerhalb eines festgeschriebenen Entscheidungsbereiches ist nicht vorgesehen. Auch bleibt es den Mitgliedsstaaten überlassen zu entscheiden, ob sie überhaupt RPOs definieren möchten (Artikel 86).

Eine konsequente Einführung von RPOs und RPEs im Sinne der novellierten EURATOM-Grundnormen würde die etablierte Struktur im deutschen und schweizerischen Strahlenschutzregime mit der ausbalancierten Verteilung von Aufgaben und Pflichten inklusive der Übernahme von Verantwortung entscheidend verändern. Erschwerend kommt hinzu, dass der Entwurf der EURATOM-Grundnormen für die Erfüllung von bestimmten Aufgaben und Pflichten die Heranziehung eines RPEs verpflichtend vorschreibt. Zu diesen Aufgaben gehören die regelmäßige Überprüfung und Kontrolle von Schutzeinrichtungen und Messgeräten. Diese Tätigkeiten konnten bis jetzt vom SSB selbst wahrgenommen werden, ohne dass eine weitere Person konsultiert werden musste. Es ist fraglich, ob der Zwang, einen RPE für die Erledigung von bestimmten Aufgaben und Pflichten heranziehen zu müssen, den Strahlenschutz vor Ort tatsächlich verbessert. Es wäre also, wenn das deutsche bzw. schweizerische System der Strahlenschutzorganisation erhalten bleiben soll, dringend notwendig darauf hinzuwirken, dass in den EURATOM-Grundnormen auch die Möglichkeit eingeräumt wird, die oben genannten Aufgaben anstatt von einem RPE durch einen RPO wahrzunehmen. Aufgrund der Ähnlichkeit der Systeme weiterer europäischer Staaten mit demjenigen in Deutschland, ist es verwunderlich, dass diese Möglichkeit nicht generell eingeräumt wird.

Im Fachverband für Strahlenschutz wird diese Problematik seit längerer Zeit diskutiert. So weist ein gemeinsames Papier des Arbeitskreises Ausbildung und des Arbeitskreises Rechtsfragen darauf hin, dass bei einer direkten Umsetzung des Vorschlages der EURATOM-Grundnormen in deutsches Recht davon ausgegangen werden kann, dass dies eine flächendeckende Umstellung der Genehmigungsbescheide und der damit verbundenen Unterlagen nach sich ziehen kann [25]. Zudem wären Konflikte in der Verantwortungsstruktur vorprogrammiert.

Auch der deutsche Bundesrat hat diese Problematik erkannt und in einer Stellungnahme Nachbesserungen im obigen Sinne angemahnt [26].

Zusammenfassend lässt sich, etwas vereinfachend, festhalten, dass im Prinzip das in den novellierten EURATOM-Grundnormen angedachte System die Umkehrung des bewährten deutschen Systems darstellt und damit auch eine Veränderung in der Strahlenschutzkultur einhergehen wird: Anstelle des oben beschriebenen SSBs als Experten nur für seinen, unter

Umständen sehr eingeschränkten, Anwendungsbereich, tritt hier ein umfassend ausgebildeter echter Strahlenschutzfachmann auf (RPE), der kompetent und mit viel Überblick beraten kann, aber im Zweifel nicht vor Ort ist (siehe Abbildung 1). Beide Systeme mögen ihre Vor- und Nachteile haben. Es ist aber nach Meinung der Autoren eine Stärke des deutschen bzw. schweizerischen Systems, durch die Verfügbarkeit des SSBs vor Ort eine besondere Verantwortlichkeit in der Strahlenschutzkultur etabliert zu haben.

Nichtsdestotrotz wäre es eine spannende Frage zu untersuchen, in wie weit die unterschiedlichen Systeme mit den dazugehörenden Ausbildungsstrukturen Einfluss auf die Optimierung im Strahlenschutz haben (z.B. durch den Vergleich der mittleren Strahlenexposition von beruflich strahlenexponierten Personen in vergleichbaren Tätigkeitsbereichen). Dass beide Systeme ganz unterschiedliche Anforderungen an die Ausbildungsformen und Ausbildungsinhalte hervorrufen, ist offensichtlich.

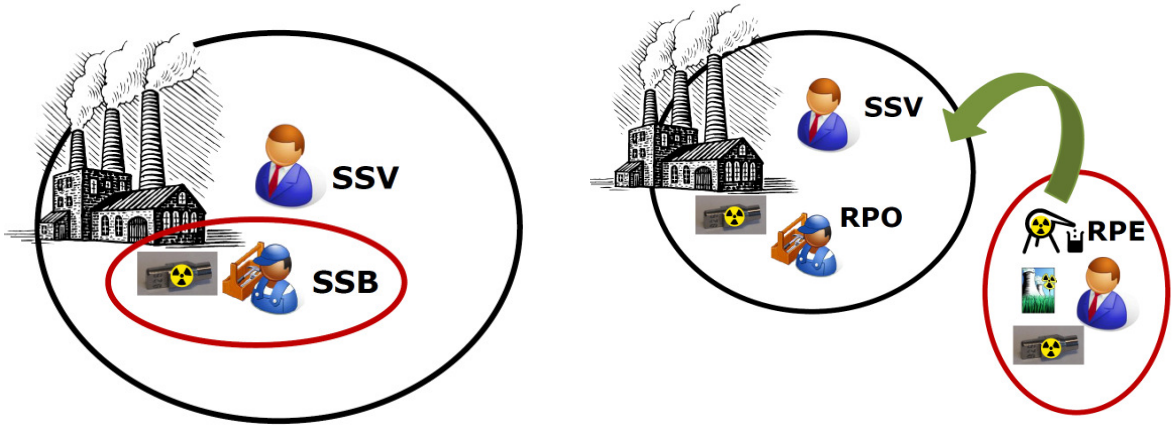


Abb. 1: Schematischer Vergleich der Strahlenschutzorganisation in Deutschland (links) und im Entwurf der EURATOM-Grundnormen (rechts). Während in Deutschland der SSB als Mitarbeiter des Unternehmens für seinen schriftlich festgelegten Entscheidungsbereich weisungsbefugt ist, wird im System des EURATOM-Grundnormenentwurfes die Verantwortung vom Unternehmer getragen, der sich von einem externen Experten, dem RPE, beraten lässt. Die notwendigen Strahlenschutzmaßnahmen vor Ort werden vom RPO umgesetzt, der allerdings keine direkte Verantwortung übertragen bekommt.

4. EUTERP

Um die Novellierung der EURTOM-Grundnormen in Bezug auf die Ausgestaltung der Strahlenschutzorganisation und der damit zusammenhängenden Fragen der Aus- und Weiterbildung im Strahlenschutz zu begleiten, wurde bereits 2006 die Plattform EUTERP (EUropean Training and Education in Radiation Protection) gegründet, die Vorschläge an die Europäische Kommission in Bezug auf die Strahlenschutzausbildung formulieren sollte.

Im Rahmen von EUTERP fanden in den letzten sieben Jahren vier Workshops statt. Dabei wurde versucht, eine vollständige Analyse der unterschiedlichen Organisationen des Strahlenschutzes und der Ausbildungssysteme in den verschiedenen Ländern durchzuführen und daraus Empfehlungen abzuleiten. Insbesondere wurden dabei auch die unterschiedlichen Systeme in der Strahlenschutzorganisation deutlich. So haben im Gegensatz zu Deutschland viele Länder eine Strahlenschutzorganisation, die bereits heute im Wesentlichen auf der

Vorstellung eines RPEs im Sinne des Entwurfs zu den EURATOM-Grundnormen basiert. Großbritannien z.B. verfügt so genannte Radiation Protection Advisor, deren Definition sich weitestgehend mit der des RPEs deckt. Diese Strahlenschutzexperten beraten die Unternehmen in Sachen Strahlenschutz umfänglich und decken dabei die gesamte Bandbreite des Strahlenschutzes ab: vom Umgang mit radioaktiven Stoffen in der Technik und der Medizin, über die Anwendung von Röntgenstrahlung, den Betrieb von kleineren oder größeren Beschleunigeranlagen bis hin zum Betrieb von kerntechnischen Einrichtungen. Es ist dabei Aufgabe des Unternehmers, den für ihn passenden RPE zu finden und die Hinweise dieses Beraters im Rahmen seiner innerbetrieblichen Organisation umzusetzen und diese Umsetzung zu überwachen.

Zwischen der deutschen und der britischen Strahlenschutzorganisation finden sich in Europa viele Abstufungen, so dass ein kompletter Vergleich der verschiedenen Ausbildungs- und Organisationsstrukturen auch nach der notwendigen Klärung der Begrifflichkeiten schwierig zu bewerkstelligen ist.

Zusätzlich wird in ENETRAP II (European Network on Education and Training in RAdiological Protection; Nachfolger des 2007 ausgelaufenen ENETRAP-Programms im 7. EU-Rahmenprogramm) versucht, eine weitere Harmonisierung in der Strahlenschutzausbildung zu erzielen, indem europaweit einheitliche Standards im Strahlenschutz definiert und neue Mitgliedsländer bei der Bildung von Kompetenz bzw. Kompetenzerhalt im Strahlenschutz unterstützt werden. Dies geschieht, indem in insgesamt zehn Arbeitspaketen u. a. Qualitätsanforderungen an den RPO und RPE mit Empfehlungscharakter für die EURATOM-Grundnormen ausgearbeitet werden.

Lösungsmöglichkeiten für die damit schwierige Anerkennung der verschiedenen Strahlenschutzausbildungen eröffnen sich überall dort, wo entweder wirtschaftliche Notwendigkeiten deutlich hervor treten oder wo bilaterale Projekte zunächst die Regelungen zwischen zwei Ländern vergleichen, bewerten und Ansätze zur gegenseitigen Anerkennung von Strahlenschutzabschlüssen aufzeigen.

5. Bilaterales Pilotprojekt Deutschland - Niederlande

Ein solches Projekt wurde 2010 zwischen den Niederlanden und Deutschland von der Universität Groningen unter Beteiligung der Technischen Universität Delft und der Leibniz Universität Hannover mit Unterstützung der Landesanstalt für Personendosimetrie und Strahlenschutzausbildung in Berlin (LPS) initiiert. Ziel war es, die Möglichkeiten der gegenseitigen Anerkennung von Strahlenschutzabschlüssen herauszuarbeiten und Vorschläge zur gegenseitigen Anerkennung für die jeweiligen Behörden zu formulieren. Auch hier bestand die Herausforderung darin, zwei sehr verschiedene Ausbildungssysteme miteinander zu vergleichen, weil in den Niederlanden insgesamt für alle Tätigkeitsbereiche ein Ausbildungssystem mit lediglich sechs verschiedenen Ausbildungsstufen existiert. Aus diesem Grund erfolgte zunächst eine Fokussierung auf Tätigkeiten mit eher geringerem Gefährdungspotential und damit auch geringeren Anforderungen an die Strahlenschutzausbildung. Der 54-seitige Abschlussbericht enthält für diese Tätigkeitsfelder klare Empfehlungen, welche Ausbildungsabschlüsse bilateral anerkannt werden könnten und kann auf der Homepage von EUTERP (www.euterp.eu) heruntergeladen werden kann. In jedem Fall wird bei einer Anerkennung der Qualifikation im Ausland die bestehende Ausbildung um Lehrinhalte bzgl. der jeweiligen nationalen Rechtsvorschriften ergänzt

werden müssen. Es ist daher zu überlegen, ob die Entwicklung von entsprechenden E-Learning Modulen angestrebt werden sollte.

Prinzipiell weist die Methodik dieses bilateralen Pilotprojektes eine Möglichkeit auf, beim Vergleich von europäischen Strahlenschutzausbildungen zu konkreten Ergebnissen zu kommen. Aus diesem Grund wurde der Abschlussbericht im Rahmen von HERCA (Heads of the European Radiological protection Competent Authorities) den Vertretern der Europäischen Strahlenschutzbehörden vorgestellt. Eine Ausweitung des Vergleiches auf Länder wie die Schweiz, Österreich oder auch Belgien wären denkbar und sinnvoll.

Neben den deutlichen Unterschieden in der Kursstruktur (6 Ausbildungsniveaus in den Niederlanden im Vergleich zu ca. 60 Fachkundegruppen in Deutschland) besteht ein weiterer wesentlicher Unterschied in der Strahlenschutzausbildung dieser beiden Länder darin, dass sich das niederländische System ausschließlich am Lernerfolg (learning outcome) orientiert. So werden in beiden Ländern Vorgaben für die zu erreichenden Lernziele im Rahmen von Curricula getroffen. Allerdings existieren anders als in Deutschland, wo in den Fachkunde-Richtlinien zum Teil mit Bruchteilen von 45minütigen Unterrichtseinheiten die vorgesehene Zeit zur Vermittlung von einzelnen Lernzielen festgelegt wird, in den Niederlanden keine Vorschriften über die Dauer eines Strahlenschutzkurses. Das niederländische System eröffnet dadurch relativ zwanglos die Möglichkeit, Vorkenntnisse der Teilnehmer sehr viel besser zu berücksichtigen, wodurch sich die Kursdauer je nach Kenntnisstand der Teilnehmer deutlich verkürzen oder auch verlängern kann, bis die zu erzielenden Lernerfolge erbracht werden können.

6. Deutsch-Schweizerische Harmonisierungsbestrebungen für Strahlenschutzpersonal in Kernanlagen

Eine weitere Initiative zur Harmonisierung der Ausbildungsanforderungen wird durch den Verband der Grosskraftwerksbetreiber seit einigen Jahren versucht durchzuführen. Hierbei geht es um die Anpassung der Anforderungen an die Ausbildung bzw. Prüfung von Strahlenschutz-Werkern (*StS-Assistenten in der Schweiz*), Strahlenschutz-Fachkräften (*StS-Fachkräften*) und Strahlenschutz-Meistern (*StS-Techniker*). Hierfür wurden einige Empfehlungen des VBG sowie Prüfungs-Rechtvorschriften der IHK und die schweizerische Richtlinie des ENSI (eidgenössisches Nuklearsicherheitsinspektorat) er- bzw. bearbeitet. Aufgrund der zahlreichen zuständigen Behörden und Organisationen in Deutschland, die in dem Harmonisierungsprozess involviert werden müssen, gestaltet sich dieser sehr mühsam.

7. Der Europäische Qualifizierungsrahmen (EQF)

Die oben beschriebene Fokussierung ausschließlich auf den Lernerfolg unabhängig von dem Lerninput, also der Dauer und der Form des Lernprozesses, wird in der europäischen Strahlenschutzausbildung an Gewicht gewinnen. Denn um den Prozess des gegenseitigen Vergleiches von Strahlenschutzausbildungen in Europa zu unterstützen, wird von Seiten der Europäischen Kommission in Zukunft darauf geachtet werden, mit einem etablierten Verfahren möglichst objektiv erreichte Kompetenzen zu vergleichen. Ein Werkzeug dazu ist der Europäische Qualifizierungsrahmen (EQF), der anhand von acht Stufen Kenntnisse, Fertigkeiten und Kompetenzen im Bereich der beruflichen Qualifikation bewerten und vergleichbarer gestalten will. Während unter Kenntnissen im wesentlichen Faktenwissen

verstanden wird, zeichnen sich Fertigkeiten durch kognitive oder auch praktische Fähigkeiten aus. Kompetenz wiederum soll die Möglichkeiten beschreiben, diese Fähigkeiten im Alltag anzuwenden und berücksichtigt daher insbesondere Aspekte wie Verantwortung und Selbstständigkeit. Mit jeder erreichten Stufe steigen die Anforderungen an die Kenntnisse, Fertigkeiten und die Kompetenz, von grundlegenden Anforderungen in der Stufe 1 bis hin zu hoch spezialisierten Fähigkeiten in Stufe 8 [27]. Die Vergleichbarkeit von verschiedenen beruflichen Aus-, Weiter- oder Fortbildungsmaßnahmen soll in diesem System, ähnlich dem ECTS-Punkte-System, das an Hochschulen im Zusammenhang mit dem Bologna-Prozess Einzug erhalten hat, durch das so genannte ECVET-Punkte-System erfolgen. Allerdings besteht auch hier der Unterschied, dass anders als im ECTS-System, die Vergabe der Punkte nicht durch den geleisteten Arbeits- und Zeitaufwand (workload) sondern anhand der erreichten Lernergebnisse erfolgen soll. Eine Eingruppierung der deutschen Strahlenschutzausbildungen im Rahmen des EQF und eine Vergabe von ECVET-Punkten sind noch nicht erfolgt und werden eine der zukünftigen Aufgaben darstellen.

8. Zusammenfassung und Ausblick

In Europa besteht eine große Vielfalt an unterschiedlichen Strukturen in der Strahlenschutzorganisation und damit auch in der Strahlenschutzausbildung. Dies erschwert die Vergleichbarkeit von Abschlüssen erheblich, zumal die Novellierung der EURATOM-Grundnormen unter Umständen zu einer Veränderung des Strahlenschutzsystems auch in Deutschland führen kann. Nichtsdestotrotz besteht die Notwendigkeit der intraeuropäischen Anerkennung von verschiedenen Ausbildungen insbesondere bei Tätigkeiten mit geringeren Anforderungen an die Strahlenschutzausbildung. Durch ein Pilotprojekt zwischen Deutschland und den Niederlanden wurde eine Möglichkeit aufgezeigt, wie in Zukunft Abschlüsse bilateral verglichen werden können. Zusätzlich wird zukünftig europaweit eine Bewertung der Abschlüsse im Rahmen des Europäischen Qualifizierungsrahmens EQF und damit anhand von erreichten Lernergebnissen notwendig werden.

9. Literaturverzeichnis

[1] Gesetz über die friedliche Verwendung der Kernenergie und den Schutz gegen ihre Gefahren (Atomgesetz), Neugefasst durch Bek. v. 15.7.1985 I 1565; Zuletzt geändert durch Art. 5 Abs. 6 G v. 24.2.2012 I 212

[2] Strahlenschutzverordnung vom 20. Juli 2001 (BGBl. I S. 1714; 2002 I S. 1459), zuletzt geändert durch Artikel 1 der Verordnung vom 4. Oktober 2011 (BGBl. I S. 2000)

[3] Röntgenverordnung in der Fassung der Bekanntmachung vom 30. April 2003 (BGBl. I S. 604), zuletzt geändert durch Artikel 2 der Verordnung vom 4. Oktober 2011 (BGBl. I S. 2000)

[4] *Schweizerisches* Strahlenschutzgesetz vom 22. März 1991, http://www.admin.ch/ch/d/sr/8/814.50.de.pdf

[5] Konsolidierte Fassung des Vertrages zur Gründung der Europäischen Atomgemeinschaft (2010/C 84/01 - EURATOM-Vertrag), 30.3.2010 Amtsblatt der Europäischen Union C 84/1

[6] Richtlinie 96/29/EURATOM des Rates vom 13. Mai 1996 zur Festlegung der grundlegenden Sicherheitsnormen für den Schutz der Gesundheit der Arbeitskräfte und

der Bevölkerung gegen die Gefahren durch ionisierende Strahlung, Amtsblatt der Europäischen Gemeinschaften, Nr. L 159/1

[7] Empfehlungen des Arbeitskreises Rechtsfragen zur Strahlenschutzorganisation, Fachverband für Strahlenschutz e.V., FS-98-AKR, ISSN 1013-4506

[8] Richtlinie über die im Strahlenschutz erforderliche Fachkunde (Fachkunde-Richtlinie Technik nach Strahlenschutzverordnung) vom 18.06.2004, GMBl. Nr. 38 vom 27.7.2006 S. 735

[9] Richtlinie über die im Strahlenschutz erforderliche Fachkunde und Kenntnisse beim Betrieb von Röntgeneinrichtungen zur technischen Anwendung und genehmigungsbedürftigen Störstrahlern sowie über Anforderungen an die Qualifikation von behördlich bestimmten Sachverständigen (Fachkunde-Richtlinie Technik nach Röntgenverordnung, Bek. d. BMU v. 21.11.2011)

[10] Strahlenschutz in der Medizin - Richtlinie nach der Verordnung über den Schutz vor Schäden durch ionisierende Strahlen (Strahlenschutzverordnung - StrlSchV), BAnz. Nr. 207a vom 7.11. 2002, 24.06.2002

[11] Richtlinie Fachkunde und Kenntnisse im Strahlenschutz bei dem Betrieb von Röntgeneinrichtungen in der Medizin oder Zahnmedizin, GMBl. Nr. 22 vom 07.04.2006 S. 414, 22.12.2005

[12] Strahlenschutz in der Tierheilkunde – Richtlinie zur Strahlenschutzverordnung (StrlSchV) und Röntgenverordnung (RöV), GMBl. Nr. 32 vom 30.03.2005 S. 666, 01.02.2005

[13] Richtlinie für den Fachkundenachweis von Kernkraftwerkspersonal vom 14.4.1993, GMBl. 1993 S. 358

[14] Richtlinie für den Fachkundenachweis von Forschungsreaktorpersonal vom 16.02.1994, GMBl. 1994, S. 366

[15] Richtlinie für die Fachkunde von Strahlenschutzbeauftragten in Kernkraftwerken und sonstigen Anlagen zur Spaltung von Kernbrennstoffen vom 10.12.1990, GMBl. 1991, S. 56

[16] Richtlinie für die Fachkunde von verantwortlichen Personen in Anlagen zur Herstellung von Brennelementen für Kernkraftwerke vom 30.11.1995, GMBl. 1996, S. 29

[17] Richtlinie für Programme zur Erhaltung der Fachkunde des Verantwortlichen Schichtpersonals in Kernkraftwerken, Bek. d. BMU v. 1.9.1993

[18] Richtlinie für den Inhalt der Fachkundeprüfung des Verantwortlichen Schichtpersonals in Kernkraftwerken, Bek. d BMU v. 23. 4. 1995

[19] Richtlinie für den Inhalt der Fachkundeprüfung des verantwortlichen Schichtpersonals in Forschungsreaktoren vom 14. November 1997, GMBl. 1997, Nr. 42

[20] Richtlinie für die Fachkunde von verantwortlichen Personen in Anlagen zur Herstellung von Brennelementen für Kernkraftwerke, Bek. d BMU v. 20.11.1995

[21] Karl-Ludwig Stange: Neue Kurse braucht das Land, Strahlenschutzpraxis 2/99, p. 28-31, 1999, ISSN 0947-434 X

[22] *Schweizerische* Verordnung vom 15. September 1998 über die Ausbildungen und die erlaubten Tätigkeiten im Strahlenschutz (Strahlenschutz-Ausbildungsverordnung), http://www.admin.ch/ch/d/sr/8/814.501.261.de.pdf

[23] *Schweizerische* Strahlenschutzverordnung vom 22. Juni 1994, http://www.admin.ch/ch/d/sr/8/814.501.de.pdf

[24] Draft Euratom Basic Safety Standards Directive, Version 24 February 2010 (final)

[25] Holl, M., Kommentar zum Vorschlag der EU-Kommission vom 29.09.2011 für eine Richtlinie des EU-Rats zur Festlegung grundlegender Sicherheitsnormen für den Schutz vor den Gefahren einer Exposition gegenüber ionisierender Strahlung, Arbeitskreis Rechtsfragen des FS, 21.01.2012

[26] Vorschlag für eine Richtlinie des Rates zur Festlegung grundlegender Sicherheitsnormen für den Schutz vor den Gefahren einer Exposition gegenüber ionisierender Strahlung – Vorlage eines Entwurfs nach Artikel 31 Euratom-Vertrag zur Stellungnahme durch den Europäischen Wirtschafts- und Sozialausschuss, Beschluss des Bundesrates, Drucksache 638/11, 25.11.2011, KOM(2011) 593 endg; Ratsdok. 14450/

[27] The European Qualifications Framework for Lifelong Learning (EQF), ISBN 978-92-79-08472-0, Luxemburg: Amt für amtliche Veröffentlichungen der Europäischen Gemeinschaften, 2008

GEFÄHRDUNGEN DES LUFT-, SCHIENEN- UND STRASSENVERKEHRS DURCH LASERPOINTER

HAZARDS IN AIR-, RAIL -, AND ROAD TRAFFIC ARISING FROM LASERPOINTERS

H.-D. Reidenbach[1, 2]

[1]Fachhochschule Köln, Institut für Angewandte Optik und Elektronik, Forschungsschwerpunkt Medizintechnik und Nichtionisierende Strahlung, Köln, Deutschland
[2]Arbeitskreis Nichtionisierende Strahlung (AKNIR) des deutsch-schweizerischen Fachverbandes für Strahlenschutz e. V.

Zusammenfassung *— Sichtbare Laserstrahlung kann bei ausreichender Leistungs- bzw. Energiedichte zu einer dauernden Schädigung der Augen und hier wiederum insbesondere der Netzhaut führen. Um dies zu verhindern, wurden Expositionsgrenzwerte festgelegt, deren Einhaltung nach heutigem Wissensstand solche Schädigungen sicher verhindern kann. Außerdem kann es durch sichtbare Laserstrahlung bereits bei deutlich geringeren Expositionswerten auch zu Effekten wie vorübergehender Blendung kommen. Hierbei treten Irritationen, Blitzlicht-Blindheit und Nachbilder auf, die wiederum indirekte Gefährdungen ergeben können, deren Ausmaß dasjenige durch direkte Schädigung durchaus übersteigen kann, indem das Sehvermögen bei kritischen Sehaufgaben vorübergehend mehr oder weniger stark beeinträchtigt werden kann.*
Die leichte Zugänglichkeit zu handgehaltenen Lasern (Laserpointern) relativ hoher Leistungen kann zu einer Veränderung der Sicherheitslage insbesondere im Luftverkehr führen, z. B. durch unbedachten und fahrlässigen Einsatz dieser Produkte oder durch terroristische Anschläge. Darüber hinaus ist mit einer zunehmenden Zahl an Zwischenfällen im Schienen- und Straßenverkehr zu rechnen, wobei es nicht nur zu vorübergehender Blendung kommen kann, sondern auch eine dauernde Schädigung der Augen infolge einer Überexposition durch Laserpointerstrahlung nicht mehr auszuschließen ist.
Unter Verwendung von Laserpointern, die im Leistungssegment bis ca. 1 Watt und bei verschiedenen Wellenlängen im sichtbaren Spektralbereich auf dem Markt verfügbar sind, sind somit neue Gefährdungs- bzw. Bedrohungsszenarien mit sehr ernsthaften Folgen denkbar. Hier ist auch der Strahlenschutz gefragt.

Summary *— Visible laser radiation with sufficient irradiance or radiant exposure might result in permanent damage of the eyes especially in the retina. In order to prevent this exposure limit values have been established based on current scientific knowledge. In addition visible laser radiation might result in effects like temporary blinding at even much lower exposure values. In this case irritations, flash-blindness and afterimages appear whose extent might exceed the respective damage level while vision is temporarily compromised in critical visual tasks more or less.*
The easy accessibility of hand-held laser products (laser pointers) with relatively high power might result in a modification of the security situation especially in air traffic via thoughtless and careless use of such products or in terroristic acts. In addition an increasing number of incidents in rail and road traffic where not only temporary blinding might be anticipated but permanent damage of the eyes as a result of overexposure due to laser pointer irradiation cannot be excluded any longer.
Using laser pointers, which are available on the market in the power range up to 1 watt and at different wavelengths new hazard scenarios and threats with serious consequences are possible. Here the radiation protection is in great demand.

Schlüsselwörter *— Laserpointer, Expositionsgrenzwerte, Sicherheitsabstand, Blendung, Luftverkehr*
Keywords *— laser pointer, exposure limit values, ocular hazard distance, dazzle, air traffic*

1. Einleitung

Optische Strahlung (OS) ist neben Elektromagnetischen Feldern (EMF) das Hauptthemengebiet mit dem sich der Arbeitskreis Nichtionisierende Strahlung (AKNIR) des deutsch-schweizerischen Fachverbandes für Strahlenschutz e. V. seit vielen Jahren befasst. Zu diesen physikalischen Einwirkungen hat der AKNIR in der Vergangenheit seine Fachkompetenz in Leitfäden dargelegt und dabei einen Mittelweg zwischen reiner Fachliteratur und populärwissenschaftlicher Berichterstattung gewählt, um einen möglichst großen Leserkreis auf wissenschaftlicher Basis insbesondere über Fragen der Wirkung von und des Schutzes gegen die entsprechenden Einwirkungen sach- und fachgerecht zu informieren [1 – 5]. Diese Leitfäden befinden sich eigentlich in ständiger Überarbeitung, und zwar allein schon deshalb, weil Erkenntnisse hinzukommen und sich Vorschriften und Regelungen immer wieder ändern. So liegen zurzeit zwei aktuelle Fassungen zu sichtbarer und infraroter Strahlung [3] und zu Laserstrahlung [4] vor, während sich die anderen Leitfäden unmittelbar vor dem Abschluss einer Neuausgabe befinden. Mit seinen Darstellungen richtet sich der AKNIR dabei nicht nur an die im Arbeitsschutz tätigen Experten und Expertinnen, sondern möchte gleichzeitig auch der Allgemeinbevölkerung die notwendigen Hilfestellungen geben, um sich über das jeweilige Thema sach-/fachlich zu informieren, eventuell die notwendigen Maßnahmen zu ergreifen, aber auch die mitunter von anderer Seite geschürten Ängste in der Öffentlichkeit vor nichtionisierender Strahlung durch sachlich-fachliche Informationen zu relativieren, und zwar auf der Grundlage des Standes von Wissenschaft und Technik.

Zu den Themen, die heute gerade im Hinblick auf Sicherheit und Gesundheitsschutz von relativ großem Interesse sind, gehören einerseits Fragen zu Magnetfeldern im Niederfrequenzbereich, zu Hochfrequenzstrahlung, insbesondere im Mobilfunk und bei Schnurlostelefonen, sowie andererseits zu ultravioletter Strahlung, wie sie z. B. in Solarien bzw. Sonnenstudios und durch Sonnenstrahlung vorliegen können. Durch diese physikalischen Einwirkungen wird ein sehr großer Teil der Bevölkerung entweder beruflich oder in seiner Freizeit mehr oder weniger stark exponiert.

Laserstrahlung hingegen war lange Zeit eine Strahlenart, mit der Menschen entweder vorrangig nur im Berufsleben in Berührung kamen oder aber diese lediglich bei einer medizinischen Anwendung, wie z. B. in der Augenheilkunde, kennenlernten. Sagte Theodore Harold Maiman, dem es 1960 als erstem gelungen war, einen Laser zu realisieren, noch, dass es sich bei dieser technischen Neuheit um „eine Lösung handelt, die ein Problem sucht“, so hat sich dies inzwischen weitgehend dahin geändert, dass man heute die Frage stellt, mit welchem Laser man das jeweilige Problem lösen kann.

„Laser werden heute insbesondere in der Materialbearbeitung, in der Mess- und Prüftechnik, in der Analytik, im Bauwesen, in der Informations- und Kommunikationstechnik, in der medizinischen Diagnostik und Therapie sowie bei Shows und sonstigen Vorführungen eingesetzt. Die Zahl der an Laser-Einrichtungen Beschäftigten und mit dem Betrieb von Lasern befassten Personen hat in den vergangenen Jahren stetig zugenommen.“ [4] „Laser finden aber auch zunehmend im privaten Bereich Anwendung, z. B. als Laserpointer, Justierlaser, Distanzmessgeräte, Laserwasserwaagen, Laser für Astronomiezwecke, Motivlaser sowie Distanzmess- und Nivelliergeräte und auch für Showzwecke. Dabei werden sie oftmals von Personen ohne ausreichende Kenntnisse über die Gefährdungen durch Laserstrahlung eingesetzt.“ [4, 6]

Nach der technischen Spezifikation [6] dürfen nur Laser, die als bzw. in Verbraucherprodukte(n) in den Verkehr gebracht werden, die nach der DIN EN 60825-1 [7] klassifiziert sind und den Laserklassen 1, 1M, 2 oder 2M entsprechen. Dabei sind an die Klassen für den

Hersteller von Laserprodukten (Lasereinrichtungen nach DIN EN 60825-1) bestimmte Anforderungen geknüpft, so z. B. an die Konstruktion und an die Benutzerinformationen. Darüber hinaus sind jedoch in der DIN EN 60825-1 für die Laserklassen 1, 1M, 2 oder 2M keine sicherheitstechnischen Anforderungen für die Verbraucherprodukte festgelegt. Am Markt ist aber zunehmend festzustellen, dass sich dort gerade Laserpointer auch der Klassen 3R, 3B und 4 finden, also solcher Laserklassen, bei denen nach der Unfallverhütungsvorschrift „Laserstrahlung“ [8] seit langem schon ein Laserschutzbeauftragter bestellt werden muss.

2. Gefährdungen durch Laserpointer

2.1 Laserpointer – Segen oder Fluch?

Jahrzehntelang wurden bei Darstellungen auf Wandtafeln und Karten, bei der Verwendung von Overheadfolien und auch noch bei der Diaprojektion, Zeigestöcke eingesetzt, die dann durch Lichtzeiger auf der Basis modifizierter Taschenlampen ersetzt wurden. Erst später fanden sich die ersten Laserpointer, und zwar zunächst als netzbetriebene „rote“ Helium-Neon-Laser mit einer Wellenlänge von 632,8 nm, denen dann akkubetriebene Geräte folgten. Zumindest in Deutschland waren für diese Zwecke nur Laser der Klasse 2, d. h. mit einer maximalen Ausgangsleistung von 1 mW im Einsatz. Die heutigen kleinen Laserpointer kamen für diesen Zweck erst auf den Plan als erstmals relativ preisgünstige Halbleiterlaser verfügbar wurden und diese fanden dann auch eine rasche Verbreitung, und zwar insbesondere dadurch, dass sie immer billiger wurden.

Schon 1999 konnte aber leider festgestellt werden, dass die Leistungsangaben bei diesen handgehaltenen Geräten nicht dem entsprachen, was aufgrund vorgegebener Sicherheitsfestlegungen zu wünschen gewesen wäre [9]. Hierzu wurde auf der 31. Jahrestagung des Fachverbandes für Strahlenschutz in einem Vortrag zum Thema „Charakteristische Messwerte kommerzieller Laserpointer und Klassifizierung nach DIN EN 60825-1“ berichtet [9]. Schon damals wurde festgestellt, dass es aufgrund praktischer Erfahrungen schwierig ist, den Laserstrahlfleck eines Laserpointers mit einer Wellenlänge um 670 nm unter Einhaltung einer maximalen Leistung von 1 mW bei entsprechend heller Projektionseinrichtung dann zu erkennen, wenn der Fleck über die Projektionsfläche bewegt wird. Zugleich findet sich in [9] schon die Feststellung, dass mit 39 µW für 400 nm $\leq \lambda \leq$ 550 nm ein Laserpointerbetrieb im Prinzip bei der richtigen Wellenlängenwahl auch bereits mit Laser der Klasse 1 (damalige Zeitbasis: 100 s) gefahrlos möglich ist. Unter Zugrundelegung der spektralen Hellempfindlichkeit des menschlichen Auges, welche durch die sogenannte V-Lambda-Kurve repräsentiert wird, wäre es bei einer vernunftgemäßen technologischen Entwicklung nicht notwendig gewesen, die Laserstrahlleistungen immer höher zu treiben, denn es wären für denselben Helligkeits-eindruck wie beim 1 mW-He:Ne-Laser zwar tatsächlich 7,5 mW bei 670 nm erforderlich. Dagegen entsprechen einem Laserpointer mit 1 mW bei 655 nm bei diesen Betrachtungen bereits ca. 0,4 mW bei 635 nm und gar nur ca. 0,1 mW bei 532 nm. Mithin hätte man verglichen mit 1 mW bei 670 nm nur 0,4 mW bei 655 nm, 0,15 mW bei 635 nm und 36 µW bei 532 nm wählen müssen, um zu vergleichbaren Hellempfindungen zu kommen, d. h. es wäre bereits damals eine Klassifizierung nach Klasse 1 möglich gewesen und das obwohl 1999 noch niedrigere Klassengrenzwerte im Vergleich zu heute, insbesondere unterhalb von 500 nm galten.

Bezüglich einer Sicherheitsbetrachtung ging man 1999 noch davon aus, dass der Lidschlussreflex gegen längerdauernde Strahlexposition schützt, aber ein wiederholtes

Hineinschauen in die Laserstrahlung gefährlich werden kann. Es war daher in jedem Falle bei einem Laserpointer anzustreben, dass die maximale Leistung auf solche Werte begrenzt wurde, die für das Auge ungefährlich sind, damit der natürliche Schutzmechanismus ausreichend ist, um bei einem zufälligen, kurzzeitigen Hineinschauen in die Laserstrahlung jede Gefährdung auszuschließen.

Auch die Strahlenschutzkommission (SSK) empfahl im Jahre 2000 „nur Laserpointer zu verwenden, die nach Klasse 2 klassifiziert sind, und deren Leistung damit 1 mW nicht überschreitet“ [10]. Gleichzeitig ging man in dieser SSK-Empfehlung noch davon aus, dass bei einem Laserstrahl, der versehentlich in das Auge trifft, normalerweise durch die Blendung innerhalb von etwa 0,25 Sekunden die natürliche Lidschlussreaktion ausgelöst wird [10]. In einer weiteren SSK-Empfehlung aus dem Jahre 2006, zu der auch der AKNIR genau wie bei der ersten derartigen Empfehlung Zuarbeit geleistet hatte, wies die SSK dann auf die Möglichkeit der weiteren Gefahrenreduzierung hin und empfahl Laserpointer mit grünem Licht der Klasse 1 zu bevorzugen, da hier mit kleinerer Leistung größere Helligkeiten erreicht werden können [11]. Außerdem wurde in dieser zweiten Laserpointer bezogenen Empfehlung darauf hingewiesen, dass „neuere Untersuchungen jedoch gezeigt haben, dass der Schutz durch Pupillen-, Lidschlussreflex und Abwendungsreaktionen bei jeder fünften Person fehlt, weil weder der Lidschlussreflex noch Abwendungsreaktionen innerhalb von 0,25 s auftreten“ [11]. Die Fehlannahme des Auftretens des Lidschlussreflexes und von anderen Abwehrreaktionen wurde letztlich erst durch spätere Untersuchungen widerlegt [12, 13] und dann auch folgerichtig in die Beschreibung der potenziellen Gefährdungen der betroffenen Laserklassen durch die „Anweisung, nicht in den Strahl zu blicken, d. h. aktive Schutzreaktionen auszuführen durch Bewegen des Kopfes oder Schließen der Augen und durch das Vermeiden längeren absichtlichen Blickens in den Strahl“ in der 2. Ausgabe der Norm DIN EN 60825-1 aufgenommen [7].

Durch die Anhebung der Klassengrenzwerte für Laser der Klasse 1 auf 0,39 mW für alle Wellenlängen größer als 500 nm, also z. B. auch für „grüne“ Laserpointer bei 532 nm, ist es seit 2001 eigentlich überhaupt nicht mehr notwendig, Laser einer höheren Klasse als 1 für Pointerzwecke zu benutzen. Damit wäre eine für praktisch alle Fälle ausreichende Pointerhelligkeit, d. h. des entsprechenden Laserstrahlflecks, zu erzielen und gleichzeitig das Risiko eines Augenschadens selbst bei längerem Blick in einen Strahl eines solchen Lasers nach unserem heutigen Wissens- und Kenntnisstand nicht gegeben – vorausgesetzt – , dass die Klassifizierung und Kennzeichnung der Produkte richtig durchgeführt würden. Hiermit ließe sich eine durchaus zweckmäßige, sinnvolle und ungefährliche technische Einrichtung realisieren, die den alten Zeigestock ersetzen könnte. Die technische Realisierung „grüner“ Laserpointer, bei denen durch Frequenzverdopplung in einem nichtlinearen Kristall aus einem infraroten Laserstrahl bei einer Wellenlänge von 1.064 nm ein solcher mit der Wellenlänge 532 nm (grün) erzeugt wird, hat aber entgegen der erhofften Vernunft auf eine Beschränkung der Ausgangsleistung auf das eigentlich erforderliche Maß, zu einer weiteren Steigerung der Ausgangsleistung geführt.

Laserpointer finden sich heute auch vor allem in den Händen von Jugendlichen und zunehmend auch von Kindern. Dabei ist es einerseits schon zu Unfällen gekommen, wobei es zu Schädigungen am eigenen Auge kam, weil man sich der drohenden Gefahr bei einem entsprechend leistungsstarken Laser nicht bewusst war [14]. Schon 1999 wurde festgestellt, dass es andererseits „zu gefährlichen Spielereien und bei missbräuchlicher Benutzung auch zu Gefährdungen anderer Personen kommen kann. Die möglichen Gefahren für temporäre bzw. bleibende Augenschäden resultieren insbesondere daraus, dass am Markt Laserpointer erhältlich sind, deren Ausgangsleistungen ganz einfach zu groß sind, um sie unbedenklich praktisch jedermann verfügbar zu machen. Dazu kommt, dass sehr viele der Laserpointer

nicht oder falsch klassifiziert sind, so dass die mit dem Umgang verbundenen Risiken von den Benutzern entweder nicht erkannt oder aber unterschätzt werden“ [9]. Diese Feststellungen treffen heute noch weit mehr zu, da inzwischen Laserpointer mit Ausgangsleistungen von bis zu 1,5 W als handgehaltene, batterie- bzw. akkubetriebene Produkte auf dem Markt erhältlich sind.

Hobbyastronomen erkannten, dass insbesondere die „grünen“ Laserpointer aufgrund der größeren Streuung in der Luft besser zu sehen waren, wenn damit auf Sterne oder Besonderheiten am Himmel gezeigt wurde. Die Massenproduktion der Laserpointer, die nicht bei rot und grün strahlenden Exemplaren halt gemacht hat, sondern jetzt auch insbesondere blaue und violette Laserpointer umfasst, hat in den letzten Jahren die Leistungsgrenze immer weiter nach oben geschraubt, so dass jetzt Laserpointer mit einem Watt (1 W) für Preise unter 200.- € zu erhalten sind.

Von den sogenannten „Wirtschaftsakteuren“ (Hersteller, Bevollmächtigte, Importeure und Händler) werden als Anwendung solcher Laserpointer unter anderem genannt:

Ziellaser, Laser-Fotografie, Laser-Blender als nicht-tödliche Abschreckungsmittel, Laserpointer bei Konstruktionszwecken, zur Ausrichtung und Justierung, Abschreckung für Vögel insbesondere an Flughäfen, medizinische Laser, Laserexperimente, als Rettungshilfen beim Camping, zur See und beim Bergsteigen sowie als astronomische Laser.

Welche Ausmaße die derzeitige technologische Entwicklung bereits genommen hat, zeigt folgende Mitteilung einer Aufnahme in das Guinnessbuch der Rekorde: „Der leistungsstärkste handgehaltene Laser hat eine Reichweite von 85 Meilen, d. h. der Strahl kann die Atmosphäre verlassen.“ Daher sagt Wicked Lasers, „dass man nicht auf Satelliten in einer Umlaufbahn zielen darf, da dies zum Versagen von Sensoren führen kann. Dieser Laser kann auch Piloten blenden.” [15] Und der Hersteller gibt dazu noch an: “Mit seiner extremen Reichweite von 85 Meilen ist der S3 Krypton der erste und einzige handgehaltene Laser, der vom All aus gesehen werden kann. Der direkte Blick in den Fleck eines solchen Lasers < 1 W (86 Millionen Lux) erscheint über 8.000mal heller als der direkte Blick in die Sonne.“ [16] Wenn solche Laserprodukte auf dem Markt bereitgestellt werden, dann ist das Gefährdungspotenzial nicht mehr klein, und es hilft in der Sache wenig, wenn der Hersteller sein eigenes Produkt nicht mehr als einen Laserpointer, sondern als einen „Wicked Laser“ bezeichnet [17]. In einer entsprechenden Broschüre heißt es denn auch: „Beachten Sie, dies ist keine Spielzeug und dies ist definitiv kein Laserpointer. Dies ist ein Wicked Laser.” [17] Vielleicht gilt hier ja bereits „Nomen est Omen“, aber dann sollte man auch mit entsprechenden Maßnahmen die weitere Verbreitung in die Hände Unbefangener und Unbefugter einzuschränken versuchen, um letztlich Schlimmeres zu vermeiden. Die Frage danach, wer solche Laserprodukte überhaupt braucht, ist zumindest berechtigt,. Deren sachgerechte Beantwortung könnte mit zu einer zukünftigen Umgangsweise mit solchen technologischen Entwicklungen beitragen.

2.2 Direkte und indirekte Gefährdungen durch Laserstrahlung

2.2.1 Gefährdungen durch deterministische Schädigungen

Zum Schutz der Gesundheit vor nachteiligen Einwirkungen durch Laserstrahlung wurden von der Internationalen Kommission für den Schutz vor Nichtionisierender Strahlung (International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection, ICNIRP) in Leitlinien Empfehlungen zu Expositionsgrenzwerten gegeben [18, 19]. Diese Empfehlungen wurden z. B. in der Europäischen Union in der Richtlinie 2006/25/EG im Wesentlichen als Expositionsgrenzwerte (EGW) übernommen [20]. Auch bei der Transposition dieser

verbindlichen Richtlinie in die deutsche Arbeitsschutzverordnung zu künstlicher optischer Strahlung (OStrV) erfolgte deren Übernahme insoweit, dass im Verordnungstext gleitend auf den Anhang II der Richtlinie 2006/25/EG verwiesen wurde [21]. Schon lange davor hatten diese Expositionsgrenzwerte als sogenannte maximal zulässige Bestrahlungswerte (MZB-Werte) sowohl Eingang in die einschlägigen Normen, wie z. B. die DIN EN 60825-1, und in die Unfallverhütungsvorschrift „Laserstrahlung“ gefunden und dienten unter anderem als Basis für die Ermittlung und Festlegung des Augensicherheitsabstandes (nominal ocular hazard distance, NOHD). Letztlich beruhen auch die Festlegungen der Grenzwerte zugänglicher Strahlung (GZS), die für die Klassifizierung von Lasereinrichtungen/-produkten maßgeblich sind, auf den MZB-Werten, wenn bestimmte Messblenden und Zeitbasen sowie vernünftigerweise vorhersehbare Bestrahlungsbedingungen berücksichtigt werden. Insbesondere die jeweils zugrundegelegte Messblende spiegelt die biophysikalischen und physiologischen Faktoren, wie u. a. Absorption und Augenbewegungen usw., wider. Ausgehend von tierexperimentell gefundenen Schädigungswerten wurden sogenannte ED50-Werte ermittelt, d. h. Expositionswerte, bei denen in 50 % der Fälle ein minimaler Schaden ophthalmoskopisch sichtbar war. Unter Berücksichtigung eines Sicherheits- bzw. Reduktionsfaktors, der häufig in der Größenordnung von 10 gewählt wurde, wurde daraus der MZB-Wert bzw. EGW festgelegt. Bei Lasern ist dies insbesondere bei gut kollimierter Strahlung, d. h. solcher mit geringer Strahldivergenz, die im Auge nahezu ein beugungsbegrenztes Bild auf der Netzhaut ergibt, nicht ganz so einfach, und zwar gerade weil sich die tatsächliche Größe des Netzhautbildes nicht exakt genug ermitteln lässt und weil der Expositionsgrenzwert im Wesentlichen sowohl von der Bestrahlungsstärke (Leistungsdichte) als auch von der Expositionsdauer, mithin von der Bestrahlung (Energiedichte) und damit von der durch Absorption von Laserstrahlung erzielten Temperaturerhöhung, abhängt.

Der sogenannte Langzeit-EGW für sichtbare Laserstrahlung beträgt 10 W/m^2, d. h. bei Expositionsdauern größer als 10 s führen 0,39 mW, entsprechend dem Grenzwert der Laserklasse 1, noch nicht zu einer Netzhautschädigung, wenn die Wellenlänge der Laserstrahlung oberhalb von 500 nm liegt. Bei kleineren Wellenlängen müssen darüber hinaus fotochemische Schädigungseffekte berücksichtigt werden. Dies führt dazu, dass zwischen 400 nm und 500 nm niedrigere Laserleistungen bei der Laserklasse 1 zulässig sind. Unter Berücksichtigung des Reduktionsfaktors kann man für Laserstrahlung daher davon ausgehen, dass sich bei einer Laserstrahlleistung von 1 mW selbst bei langanhaltender Exposition eigentlich keine deterministische Schädigung ergibt.

Problematisch muss es aber gesehen werden, wenn diesbezüglich davon gesprochen wird, dass „Menschen glücklicherweise einen ‘Lidschlussreflex’ haben, wobei helles Licht ein Blinken und/oder eine Bewegung aus dem Licht heraus bewirkt und dass Laser mit einer Ausgangsleistung von weniger als 5 mW allgemein als sicher in der Anwendung durch die Allgemeinbevölkerung betrachtet werden können, weil der Lidschlussreflex automatisch die Expositionsdauer begrenzt“ [22]. Letztlich hat diese Sichtweise dazu beigetragen, dass in USA Laserpointer mit Leistungen bis 5 mW erlaubt sind. In [22] kann man weiter lessen, dass „die Bundesbehörde zur Überwachung von Nahrungs- und Arzneimitteln (U.S. Food and Drug Administration, FDA) zumindest bis zum April 2012 keinen Bericht über eine Augenschädigung durch eine kurzzeitige Bestrahlung durch Laserpointer unterhalb von 5 mW erhalten hat.“ Es wird aber auf derselben Internetseite auch daraufhin gewiesen, „dass absichtliches Starren in einen Strahl unter 5 mW blinde Flecken verursachen kann, wie dies betrunkenen und dummen Menschen geschehen ist. Insofern hat die FDA von Schädigungen gehört, die bei einer Person verursacht wurde, wenn absichtlich für eine längere Zeitdauer in den Strahl geblickt wurde.“ [22]

Zur Frage einer Schädigungsgrenze wurden auch Untersuchungen an Personen berichtet, deren Augen wegen bösartiger Erkrankungen operativ entfernt werden mussten. Dabei berichtete ein und dieselbe Untersuchungsgruppe zunächst davon, dass sich mit einem roten Laser (632,8 nm) der Klasse 3A, die der internationalen Laserklasse 3R entspricht, also maximal 5 mW emittieren darf, auch nach 15 Minuten Expositionsdauer, kein Schaden auf der Netzhaut erzielen lässt [23]. Wenige Jahre später wurde das insofern revidiert, dass nach 60 s bei grün, d. h. bei 532 nm, sich doch ein Schaden zeigte [24]. Eine genaue Leistungsangabe, bei welcher Laserstrahlleistung sich dieser Schaden ergab, ist weder aus der Originalpublikation noch durch persönliche Rückfrage beim Autor zu ermitteln gewesen; in [24] wird lediglich von einem Laser der Klasse 3A gesprochen, und zwar mit einer Leistung zwischen 3 mW und 7 mW, obwohl der Hersteller 5 mW angegeben hatte.

Es steht zweifelsfrei fest, dass erstens die Chance eines Schadens mit der Laserstrahlleistung, die in das Auge fällt, ansteigt und dass zweitens bei Laserstrahlleistungen von etwa 50 mW bis 100 mW selbst eine zufällige Bestrahlung aus kürzester Entfernung bzw. immer dann, wenn die gesamte Laserstrahlung durch die Pupille ins Auge gelangt, zu einem Schaden führt. In diesem Fall können alle physiologischen Reaktionen und Bewegungen einen Schaden nicht mehr verhindern. Das Ausmaß der Schädigung wird dabei entscheidend vom Ort der Einwirkung der Laserstrahlung auf der Netzhaut bestimmt und erreicht sein Maximum im Fleck schärfsten Sehens, also in der sogenannten Fovea centralis, d. h. in der Netzhautgrube.

Mit den vorstehenden Annahmen stimmt auch die Aussage, „wonach bereits 10 mW aus nächster Nähe ausreichen, um nach 0,25 s einen minimalen Schaden auf der Netzhaut zu erzeugen“, überein [25]. Dabei wurde ein Sicherheits- bzw. Reduktionsfaktor von 10 der Betrachtung zugrunde gelegt. Eine solche Darstellung auf der Basis experimenteller Tierversuche wird auch in [26] gezeigt und näher beschrieben. Aus Sicherheitsgründen ist es daher nachvollziehbar, dass die Leistung eines Lasers aufgrund der Technischen Spezifikation [6] für Laserpointer in Deutschland für die Allgemeinbevölkerung auf 1 mW begrenzt wurde.

Betrachtet man die entsprechenden Relationen für einen „blauen“ Laserpointer mit einer Ausgangsleistung von 1 W bei einer Wellenlänge von 445 nm (z. B. Typ S3 Arctic), dann liegt dies ca. 25.000fach (1000 mW/0,039 mW) über dem Grenzwert für die Augen für eine Bestrahlung von 10 Sekunden Dauer und immerhin 1000fach über demjenigen einer Kurzzeitexposition, d. h. von weniger als 0,25 Sekunden, also einem tatsächlichen „Augenblick“. Aus einer Entfernung zwischen ca. 70 Metern und 225 Metern wird bei den heute leicht im Internet zu beziehenden Lasern, die vorwiegend aus Fernost kommen, mit Leistungen zwischen 100 mW und 1 W der Augensicherheitsabstand bei einer Bestrahlung überschritten, die gerade einmal eine Viertel Sekunde dauert [25].

Weitergehende Angaben zum Schädigungspotenzial wurden in [27] dargelegt und anhand der dort tabellarisch gemachten Angaben kann eine Einschätzung der Möglichkeiten für eine potenzielle Schädigung erfolgen.

2.2.2 Gefährdungen durch indirekte Wirkungen

Bislang werden bei optischer Strahlung nur deterministische Schäden in den Expositionsgrenzwerten bei der Gefährdungsbeurteilung berücksichtigt. Gemäß der Arbeitsschutzverordnung zu künstlicher optischer Strahlung (OStrV) muss aber auch vorübergehende Blendung als indirekte Gefährdung in der Gefährdungsbeurteilung betrachtet werden, denn hierzu heißt es in § 3 (2) Nr. 6 OStrV, dass für Arbeitsplätze, bei denen Laserstrahlung oder Strahlung aus inkohärenten Quellen auftritt, „alle indirekten

Auswirkungen auf die Sicherheit und Gesundheit der Beschäftigten, zum Beispiel durch Blendung, … zu berücksichtigen sind.“ [21]

Es ist zwar nicht grundsätzlich neu, dass Blendung durch helle Lichtquellen zu erheblicher Gefährdung führen kann, es lagen allerdings bisher nur wenige belastbare Angaben zu entsprechenden Auswirkungen auf das Sehvermögen vor. Für indirekte Auswirkungen auf Sicherheit und Gesundheit der Beschäftigten, wie sie z. B. durch Blendung sowohl beim direkten Blick in eine im sichtbaren Spektralbereich emittierende optische Strahlungsquelle als auch bei der Reflexion und Streuung der entsprechenden optischen Strahlung auftreten kann, gibt es derzeit keine verbindlichen Grenzwerte.

Unter indirekter Gefährdung werden Gefährdungen durch Einwirkung speziell von Laserstrahlung verstanden, für deren Bewertung nicht die Expositionsgrenzwerte für Augen oder Haut herangezogen werden können. Dabei kann es zu resultierenden sekundären (mittelbaren) Gefährdungen kommen.

Hinweise auf Situationen, in denen Blendungserscheinungen auftreten können, und auf Verfahren zur Bewertung von Blendungen enthält z. B. die Empfehlung der Strahlenschutzkommission „Blendung“ [28].

In einem Forschungsvorhaben zum Thema „Untersuchungen zu arbeitsplatzbezogenen Beeinträchtigungen durch Blendung mit optischen Strahlungsquellen“ wurde der Stand des Wissens dargelegt und anhand von verschiedenen Testverfahren mittels Laser- und LED-Strahlung an Probanden die quantitative Auswirkung auf unterschiedliche Sehfunktionen bestimmt [29].

Vorübergehende Blendung stellt einen Sehzustand dar, der entweder aufgrund zu großer absoluter Leuchtdichte, zu großer Leuchtdichteunterschiede oder aufgrund einer ungünstigen Leuchtdichteverteilung im Gesichtsfeld als unangenehm empfunden wird oder zu einer Herabsetzung der Sehleistung durch Beeinträchtigung von Sehfunktionen führt bzw. führen kann. Eine Blendung bzw. deren Ausmaß hängt auch vom Adaptationszustand des Auges ab und entsteht bei einer Leuchtdichte einer Blendlichtquelle, die für den jeweiligen Adaptationszustand zu hoch ist. Auch die Dauer der Einstrahlung in die Augen spielt beim Ausmaß einer Blendung eine Rolle. Zusätzlich sind die scheinbare Größe der Blendlichtquelle bzw. deren Raumwinkel von Bedeutung, sowie der Projektionsort der jeweiligen Blendlichtquelle auf der Netzhaut, also der Winkel zwischen Blendlichtquelle und Blickrichtung. Außerdem wenden sich die Augen häufig unwillkürlich direkt zur Blendlichtquelle hin, wenn eine solche seitlich auf die Netzhaut abgebildet wurde, wo sich die besonders blendungsempfindlichen Stäbchen befinden.

Gerade dem Parameter Umgebungsleuchtdichte kommt eine besondere Rolle zu. Letztlich adaptieren die Augen auf die Umgebung, wenn dazu genügend Zeit vorhanden ist. Durch diese Adaptation wird erreicht, dass die Antwort der Netzhaut auf Sehobjekte in etwa gleich gehalten wird, und zwar auch dann noch, wenn sich das Beleuchtungsniveau ändert. Der Einfluss der Umgebungsleuchtdichte, und zwar insbesondere im Hinblick auf eine Beeinträchtigung des Dämmerungssehens durch eine vorübergehende Blendung ist Gegenstand aktueller Forschung [30].

Über den Stand des aktualisierten Wissens zu Auswirkungen und besonderen Problemfeldern der indirekten Gefährdung als Folge einer vorübergehenden Blendung durch optische Strahlung wurde anlässlich der 43. Jahrestagung des Fachverbandes für Strahlenschutz berichtet [31].

Das Thema Blendung wird in der Laserproduktsicherheitsnorm DIN EN 60825-1 erstmals in der 2. Ausgabe, die 2007 erschienen ist, im Zusammenhang mit der „Beschreibung der Klassen und möglicherweise damit verbundener Gefahren“ bei den Laserklassen 1, 1M, 2, 2M und 3R, soweit es sich um sichtbare optische Strahlung handelt, in einem informativen Anhang angesprochen [7]. Dies ist nicht zuletzt auch das Resultat inzwischen veröffentlichter Forschungsergebnisse aus dem Projekt F 2185 [29].

Die bislang vorliegenden Darstellungen haben zum Teil bereits und sollen in Zukunft noch mehr dazu beitragen, dass das Thema Blendung Berücksichtigung im Arbeitsschutz findet, so dass es zu einem gewissen Wandel in der Betrachtung des Gesamtthemas Sicherheit beim Einsatz von und Umgang mit optischen Strahlungsquellen kommt und dabei Blendung zumindest Erwähnung findet. Dies bezieht sich nicht nur auf Normen, sondern auch in besonderem Maße auf die Technischen Regeln zur Konkretisierung der Arbeitsschutzverordnung zu künstlicher optischer Strahlung (OStrV) und auf das berufsgenossenschaftliche Regelwerk. In den Definitionen der Laserklassen in der Unfallverhütungsvorschrift „Laserstrahlung“ (aktualisierte Nachdruckfassung 2007, [8]) heißt es z. B. bei der Klasse 1: „Bei Lasereinrichtungen der Klasse 1 können im oberen Leistungsbereich z. B. Blendung, Beeinträchtigung des Farbsehens und Belästigungen nicht ausgeschlossen werden.“ Dies trifft jedoch nur für Laser zu, die im sichtbaren Spektralbereich emittieren.

Etwas genauere quantitative Angaben finden sich in der Berufsgenossenschaftlichen Information BGI 5007/GUV-I 5007 [32]. Hier heißt es: „Beim Betrieb einer Projektionslaser-Einrichtung, in die längere Zeit aus z. B. arbeitstechnischen Gründen bewusst geblickt werden muss, sollte für ein ‘ergonomisches’ Arbeiten die Dauerbelastung für alle Wellenlängenbereiche unterhalb von P = 40 µW (C_6 = 1) liegen. An der Obergrenze der Klasse 1 kann es zu Blendungen oder z. B. Beeinträchtigung des Farbsehens kommen.“ Der Wert von 40 µW für eine kleine Quelle bzw. einen gut kollimierten Laserstrahl entspricht einem Zehntel des GZS der Laserklasse 1 im Wellenlängenbereich von 500 nm bis 700 nm und direkt dem GZS der Klasse 1 für Wellenlängen unterhalb von 450 nm bis 400 nm.

Erfahrungen mit Lasern der Klasse 1 im sichtbaren Spektralbereich haben gezeigt, dass deren Einwirkung über Zeitdauern von ca. 1 s auf die Augen als sehr unangenehm empfunden wird und mit dem Auftreten unter Umständen minutenlanger Nachbilder verknüpft ist. In den „Untersuchungen zu arbeitsplatzbezogenen Beeinträchtigungen durch Blendung mit optischen Strahlungsquellen“ (F 2185, [29]) hatte sich gezeigt, dass selbst bei einer Laserstrahlleistung von nur 39 µW, die einen Sicherheitsfaktor von 10 gegenüber dem Klassengrenzwert der Klasse 1 im Wellenlängenbereich von 500 nm bis 700 nm beinhaltet, starke Blendungserscheinungen mit belästigenden Wirkungen festgestellt wurden, aufgrund derer eine mehrmalige Exposition bei den Versuchspersonen nicht auf Gegenliebe stieß ([29], S. 253).

Nicht zuletzt wurde Blendung immer wieder einmal mit einer Schutzfunktion in Verbindung gebracht, und zwar dergestalt, dass "verstärkte" Blendung eher zur Auslösung eines Lidschlussreflexes führt. Dies kann aber heutzutage nicht mehr allen Ernstes angenommen werden, da sich der Lidschlussreflex selbst als ein weitgehender Trugschluss im Hinblick auf die Sicherheit bei Laserstrahlung erwiesen hat [12, 13]. Auch eine Grenze zwischen gefährlich und ungefährlich kann wenn dies unter dem Aspekt auftretender Blendung geschieht – zumindest zurzeit – nicht gezogen werden. Selbst eine mit einer Exposition verbundene starke Blendung führt nicht unbedingt zu Abwendungsreaktionen und somit nicht zur Verkürzung der Expositionsdauer [6]. Wie nach dem Blick in andere helle Lichtquellen, z. B. Sonne oder Scheinwerfer, können temporär eingeschränktes Sehvermögen und Nachbilder je nach Situation zu Irritationen, Belästigungen, Beeinträchtigungen und sogar zu Unfällen führen. Grad und Abklingzeit sind nicht einfach quantifizierbar [33].

Nach heutiger Kenntnis sind erste Beeinträchtigungen durch Blendung bereits bei Laserstrahlleistungen von ca. 1 µW ab zu bemerken, und es können schon bei relativ geringen Laserstrahlleistungen Ablenkungserscheinungen und Nachbilder auftreten. Durch den Strahl einer Lasereinrichtung der Klasse 2 können Irritationen, Blitzblindheit und Nachbilder entstehen, besonders bei niedriger Umfeldhelligkeit. Dies kann allgemeine indirekte Folgen für die Sicherheit haben, die von zeitweiliger Störung des Sehens und von Blendungsreaktionen herrühren. Diese Sehstörungen könnten bei sicherheitsrelevanten Tätigkeiten zu besonderer Sorge Anlass geben, wie beim Arbeiten mit Maschinen oder in großer Höhe, mit Hochspannung oder beim Fahren.

2.3 Direkte und indirekte Gefährdungen im Luft-, Schienen- und Straßenverkehr durch Laserpointer

Eine grobe Unterteilung von Gefährdungen direkter und indirekter Natur lässt sich am einfachsten anhand des Augensicherheitsabstandes vornehmen. Der Augensicherabstand ist die Entfernung, bei der die Bestrahlungsstärke oder die Bestrahlung gleich dem entsprechenden Expositionsgrenzwert in der Hornhautebene des Auges ist. Schließt man beim Augensicherheitsabstand auch die Möglichkeit der Betrachtung mit optischen Hilfsmitteln ein, so wird vom "erweiterten Augensicherheitsabstand" gesprochen. Zur Angabe des Abstandes gehört immer auch die Expositionsdauerangabe, die bei der Ermittlung angesetzt wurde. Zu einer direkten, deterministischen Gefährdung und eventuell auch einer Schädigung kann es nur innerhalb des Augensicherheitsabstandes kommen, während Blendung schon in einer deutlich größeren Entfernung zum Laser bewirkt werden kann.

Bei der Frage nach direkter bzw. indirekter Gefährdung durch Laserstrahlung aus handelsüblichen Laserpointern bedarf es auch einer zumindest groben Analyse der auf dem Markt verfügbaren Produkte. Es werden heute Laserpointer z. B. bei 405 nm (violett) mit bis zu 350 mW, 445 nm (blau) mit bis zu 1 W, 447 nm (blau) mit bis zu 400 mW, 473 nm (blau) mit bis zu 80 mW, 532 nm (grün) mit bis zu 1.000 mW oder 532 nm (grün) 700 mW bei weniger als 1,2 mrad, bei 589 nm (gelb) mit bis zu 60 mW, bei 593,5 nm (gelb) mit bis zu 15 mW, bei 635 nm (rot) mit mehr als 200 mW, bei 658 nm bzw. 660 nm (rot) mit bis zu 570 mW, bei 671 nm mit mehr als 100 mW, bei 808 nm (NIR) bis zu 2 W und darüber hinaus bei z. B. 1064 nm (Infrarot) mit mehr als 400 mW angeboten. Im Einzelfall sind auch noch darüber liegende Leistungsangaben zu finden, z. B. 849 mW (Spitze: ca. 900 mW) bei 532 nm. Diese Zahlenangaben können allerdings nur ein Momentanbild darstellen, da ständig Veränderungen am Markt stattfinden.

Darüber hinaus muss man auch berücksichtigen, dass die Laserleistungsangabe nur ein Kriterium darstellt, die Strahlqualität (insbesondere das sogenannte Modenprofil) und die Strahldivergenz sind weitere ganz wichtige Kenngrößen zur Beurteilung eines tragbaren (handgehaltenen) Laserpointers. Es sind aber durchaus auch Laser bei 532 nm zu finden mit Leistungen im Bereich von mehr als 500 mW und dies bei einer sehr kleinen Divergenz von < 0,12 mrad, wodurch sich die „Reichweite“ nicht unwesentlich vergrößert, wie die nachfolgenden Betrachtungen hierzu zeigen.

2.3.1 Direkte Gefährdung im Luft-, Schienen- und Straßenverkehr durch Laserpointer

Damit es zu einer direkten Gefährdung im Luft-, Schienen- und Straßenverkehr kommen kann, müssen die jeweiligen Expositionsgrenzwerte überschritten werden. Wenn dies momentan, d. h. kurzzeitig, also innerhalb einer Viertel Sekunde, der Fall sein soll, muss die

Bestrahlungsstärke, die durch die Strahlung eines Laserpointers an der Hornhaut der Augen bewirkt wird, größer als 25 W/m^2 sein. Bezogen auf einen Pupillendurchmesser von 7 mm, wie er bei einer Dunkeladaptation der Augen vorliegt, entspricht dies einer Laserstrahlleistung von mindestens 1 mW in einem solchen Durchmesser. Das wiederum bedeutet, dass ein Strahl mit einer Leistung von 1 mW entweder einen so kleinen Durchmesser besitzen muss, dass er voll durch die Pupille in das Auge einfallen kann, oder aber, dass die Bestrahlungsstärke in einem Strahl mit größerem Durchmesser den genannten Expositionsgrenzwert überschreitet. Hierbei muss dann der entsprechende Laserpointer eine größere Strahlleistung aufweisen.

Mithin sind zwei Situationen denkbar, in denen eine direkte Gefährdung im Luft-, Schienen- und Straßenverkehr durch Laserpointer auftreten können. Zum einen dann, wenn der Abstand zwischen dem Laserpointer und dem Auge einer Person in einem Luft-, Schienen- oder Straßenfahrzeug so gering ist, dass die gesamte Laserpointerstrahlleistung in das Auge gelangen kann oder aber zum anderen ein Laserpointer mit ausreichend großer Leistung zum Einsatz kommt und trotz größerem Abstand zwischen Laserpointer und dem Auge einer Person in einem Luft-, Schienen- oder Straßenfahrzeug an dieser Stelle der Expositionsgrenzwert überschritten wird.

Situationsbedingt sind die Lenker von Straßen- und Schienenfahrzeugen aufgrund der Tatsache, dass man mit einem Laserpointer in aller Regel näher an diese Fahrzeuge herankommt, einem deutlich größeren Risiko eines permanenten Schadens ausgesetzt als Piloten in einem Luftfahrzeug. Hinzu kommt, dass es heute auf dem Markt verfügbare Laserpointer in einem Laserstrahlleistungsbereich gibt, wo eine dauernde Schädigung der Augen bereits bei einem relativ kurzen Blick in einen solchen Laserpointerstrahl durchaus im Bereich des Möglichen liegt.

Da sich der Augensicherheitsabstand NOHD bei bekannter Laserstrahlleistung P und Strahldivergenz Θ unter Berücksichtigung des jeweiligen Expositionsgrenzwertes EGW gemäß Gl. (1) wie folgt berechnet [27]:

$$\mathrm{NOHD} \approx \sqrt{\frac{4 \cdot \mathrm{P}}{\pi \cdot \mathrm{EGW}}} \cdot \frac{1}{\Theta}, \tag{1}$$

kann man daraus auch eine auf Kurzzeitverhältnisse zugeschnittene Beziehung ableiten. Es gilt mithin für eine Kurzzeitexposition (Zeitbasis: 0,25 s) ein Expositionsgrenzwert (0,25 s) = E_{EGW}(0,25 s) = 25 W/m^2 (400 nm bis 700 nm) und damit näherungsweise die Beziehung:

$$\mathrm{NOHD}(10\,\mathrm{s}) \approx 0{,}226 \cdot \sqrt{\mathrm{P}} \cdot \frac{1}{\Theta} \tag{2}$$

Damit lässt sich z. B. für einen 5 mW-Laserpointer ein NOHD-Wert von 16 m für eine Strahldivergenz von 1 mrad, wie sie typisch für kommerzielle Laserpointer ist, berechnen. Für 500 mW verzehnfacht sich der Augensicherheitsabstand auf 160 m und für einen Laserpointer mit einer Laserstrahlleistung von 1 W wäre von 226 m auszugehen (vgl. hierzu auch detailliertere Angaben in [27]).

Zu beachten ist, dass sich für eine sogenannte Langzeitexposition, für die von 10 s Expositionsdauer ausgegangen wird, lediglich ein um den Faktor 2,5 geringerer EGW ergibt und mithin der entsprechende NOHD-Wert daher auch nur um einen Faktor $\sqrt{2{,}5} \approx 1{,}58$ gegenüber demjenigen für eine Kurzzeitexposition anwächst, also z. B. von 226 m auf 357 m für einen 1 W-Laserpointer. Einen deutlich stärkeren Einfluss hat eine Divergenzverringerung auf den NOHD-Wert. Wie sich aus Gl. (1) und (2) ersehen lässt, wächst der NOHD-Wert

umgekehrt proportional zur Strahldivergenz, was wiederum in Zahlenwerten bedeutet, dass man bereits mit einem 5 mW-Laserpointer einen Augensicherheitsabstand von 160 m einhalten müsste, wenn die Strahldivergenz nur 0,1 mrad beträgt. Derselbe Augensicherheitsabstand gilt anderseits für einen 100mal stärkeren Laserpointer, also für 500 mW, wenn dessen Strahldivergenz dagegen 1 mrad beträgt.

Vergleichbare Werte zu den hier angegebenen wurden auch von MUPRHY publiziert [34]. Allerdings werden dort die Strahldivergenzwerte nicht explizit angegeben.

Mit heute kommerziell erhältlichen einfachen und daher auch preisgünstigen Teleskopen lassen sich relativ leicht Strahldivergenzreduzierungen um den Faktor 10 erreichen und damit beträchtliche Reichweitenvergrößerungen im Hinblick auf eine Erhöhung des Gefährdungspotenzials bereits mit relativ geringen Laserpointerleistungen erzielen. Legt man sogar einen Laserpointer mit 1 W und einer Strahldivergenz von 0,1 mrad zugrunde, dann erhält man aus Gl. (2) einen NOHD-Wert von immerhin 2,26 km, d. h. für Fahrer von Schienen- und Straßenfahrzeugen besteht bereits in einer großen Entfernung zum Laserpointer ein Schädigungsrisiko für die Augen.

Gerade im Straßen- und Schienenverkehr ist der Abstand zwischen einem Benutzer eines Laserpointers und der missbräuchlich durch einen daraus emittierten Laserstrahl getroffenen Person in der Regel aus der Sicht der physikalischen Strahlausbreitungseigenschaften von Laserstrahlung relativ gering, so dass es in diesen Situationen durchaus zu einer Überschreitung der EGWe kommen kann. Bei den vorstehend genannten Zahlenverhältnissen mit großen Reichweiten im Sinne einer Expositionsgrenzwertüberschreitung muss man dann aber auch Piloten in Flugzeugen und insbesondere in Hubschraubern in eine Betrachtung einer Gefährdung einer dauernden Augenschädigung durch einen leistungsstarken Laserpointer einbeziehen.

Will man schließlich von der reinen Überschreitung eines Expositionsgrenzwertes zum Vorliegen eines Schädigungswertes gelangen, dann lässt sich zeigen, dass bei Weglassung eines Sicherheitsfaktors von 10, also unter Annahme des Erreichens eines Schädigungswertes, eine Abstandsverringerung um den Faktor $\sqrt{10} \approx 3{,}16$ erfolgt. Für einen 1 W-Laser bedeutet dies, dass dieser in einem Abstand von weniger als ca. 70 m bei einer Strahldivergenz von 1 mrad, d. h. einer Durchmesservergrößerung des Strahls um 1 mm pro 1 m-Strahlausbreitung (Entfernung vom bzw. zum Laser) bzw. ca. 700 m (bei 0,1 mrad) bei kurzzeitiger Exposition (0,25 s) als insofern augengefährlich einzustufen wäre, dass mit 50 %-iger Sicherheit mit einem minimalen Netzhautschaden zu rechnen wäre.

In neueren Untersuchungen an Laserpointern hat sich außerdem gezeigt, dass bei frequenzverdoppelten Produkten neben der gewünschten sichtbaren Laserstrahlung, z. B. bei 532 nm, auch solche der Grundwellenlänge bei 1.064 nm und eventuell auch die Pumpwellenlänge der Pumplaserdiode (808 nm oder 830 nm) im Laserausgang vorhanden sein können, und zwar insbesondere dann, wenn z. B. aus Kostengründen, auf entsprechende Filter verzichtet wurde [35, 36]. Diese Ergebnisse wurden auch von uns inzwischen durch Messung der Primärwellenlänge in derselben Größenordnung wie bei der Laserpointerwellenlänge bestätigt [27, 37].

Diese Erkenntnis, die letztlich auf finanzielle und zugleich minderqualitative technologische Ausführungen der betreffenden Laserpointerprodukte zurückzuführen ist, muss bei möglichen Schutzmaßnahmen, wie z. B. Laser-Schutzbrillen oder Laser-Schutzscheiben bzw. -folien, berücksichtigt werden, denn das Herausfiltern lediglich der sichtbaren Laserpointerwellenlänge könnte einen Schutz suggerieren, der real nicht in ausreichendem Maße vorliegt.

Eine zu “grünen” Laserpointern vergleichbare Situation kann sich auch bei anderen Laserpointern ergeben, wenn bei diesen zur Erzeugung der Laserpointerwellenlänge eine Frequenzverdopplung vorgenommen wird. Dies kann bei allen dioden-gepumpten Festkörperlasertypen (DPSS-Laser) zutreffen, also z. B. bei 404 nm, 473 nm, 589 nm und 671 nm [38].

2.3.2 Gefährdung im Luft-, Schienen- und Straßenverkehr durch Blendung mit Laserpointer

Am Arbeitsplatz, aber auch im Alltag, gibt es eine ganze Reihe von Arbeiten und Tätigkeiten, bei denen durch vorübergehende Blendung eine Beeinträchtigung der Sicherheit der Beschäftigten bzw. von Personen allgemein entstehen kann. Insbesondere können optische Strahlenquellen, die eine ausreichend starke sichtbare Strahlung emittieren, zu Blendungserscheinungen führen. Dies können z. B. Lampen zur Beleuchtung von Gebäuden, Sportanlagen, Bühnen oder Filmsets sein. Auch Fahrzeuglampen können blenden. Eine Blendung kann bei der geblendeten Person eine Verminderung ihrer Sehfähigkeit verursachen. Dabei kann das Erkennen von Anzeigen, sowie die Form-, Farb- und Kontrasterkennbarkeit bei vornehmlich visuell bestimmten Arbeiten mehr oder weniger stark beeinträchtigt werden. Bei einem Fahrzeugführer kann dies z. B. zum Verlust der Kontrolle über das Fahrzeug und zu einem Unfall mit weitreichenden Folgen führen. Ein unter Umständen noch größeres Ausmaß könnte die Blendung eines Piloten eines Flugzeugs verursachen, und zwar dann, wenn es durch das Blendereignis zu einem Absturz oder zu einer Kollision mit einem anderen Flugzeug, einem Fahrzeug am Boden oder mit Einrichtungen auf dem Flughafengelände kommen würde.

„Während Piloten eine Dauerschädigung ihrer Augen nur bei einer Bestrahlung mit einem entsprechend leistungsstarken Laserpointer aus relativ geringer Entfernung befürchten müssen, besteht die Gefahr einer vorübergehenden Blendung schon bei viel kleineren Laserleistungen und in dennoch größerer Entfernung. Mit einem 50 mW starken Laserpointer sind theoretisch bereits in ca. 11 km Abstand erste Anzeichen einer Ablenkung mit Konzentrationsbeeinflussung möglich. Richtiggehend zur Blendung kommt es dann in etwa 1,1 km Entfernung und ist das Flugzeug nur noch 250 m vom Laserpointerbenutzer entfernt, kommt es zur Blitzlichtblindheit verbunden mit langanhaltenden Nachbildern. Bei einer Verdopplung der Leistung wird die Entfernung, in der die entsprechenden Effekte auftreten, um ca. 40 % größer und eine vierfach größere Leistung verdoppelt die jeweilige ‘Reichweite’“ [25].

Um einen möglichst umfassende Schutz an Flughäfen gegen Laserstrahlung zu bewirken, wurden in USA in der Norm ANSI Z136.6 [39] Werte für verschiedene Zonen um die Start- und Landebahnen festgelegt, innerhalb derer bestimmte Grenzwerte nicht überschritten werden dürfen.

Die in Tabelle 2.3.2.1 aufgeführten Werte entsprechen Laserstrahlleistungen von 19,25 nW, 1,9 µW, 38,5 µW und 0,39 mW in einer 7-mm Blende (Pupille), d. h. Laserleistungen in der Klasse 1, sowie 1 mW im Falle von 2,6 $mW \cdot cm^{-2}$, was dann aber wiederum mit einer maximalen Expositionsdauer von 0,25 s verbunden ist, da es dem Grenzwert der Klasse 2 entspricht und 0,25 s die betreffende Zeitbasis zur Laserklassifizierung ist. In Untersuchungen wurden z. B. Leistungsdichten oberhalb von 50 $\mu W \cdot cm^{-2}$, entsprechend einer Laserstrahlleistung von 20 µW, als inakzeptabel in der so genannten „laserfreien Zone“ oberhalb der Start- und Landebahn eines Flugzeuges angesehen [40].

Tab. 2.3.2.1: Einteilung von Flugzonen nach ANSI Z136.6 [39]

Zone	**Effekte**	**Maximale Bestrahlungsstärke**
„Laserfreie Zone“ (laser-free zone)	**Kein Effekt**	**50 nW·cm^{-2}**
„Kritische Zone“ (critical zone)	**Blendung**	**5 µW·cm^{-2}**
„Empfindliche Zone“ (sensitive zone)	**Blitzlicht-Blindheit/Nachbilder**	**100 µW·cm^{-2}**
Normale Flugzone	**Blendung/Blitzlicht-Blindheit/Nachbilder**	**1,0 mW·cm^{-2} bzw. 2,6 mW·cm^{-2}**

Noch im Entwurfsstadium der Norm ANSI Z136.6 waren die zunächst vorgesehenen Werte 100 nW·cm^{-2}, 10 µW·cm^{-2} bzw. 100 µW·cm^{-2}, d. h. die zwei geringsten Werte wurden noch einmal um den Faktor 2 reduziert.

Von NAKAGAWARA et al. [41] wurden Untersuchungen vorgestellt, die in einem Flugsimulator durchgeführt worden waren und wobei aufgrund subjektiver Empfindung der Testpersonen 5 µW/cm² als so genannter „flugsicherer Expositionswert“ eingestuft wurden. In dieser amerikanischen Studie aus dem Jahre 2003 wurden Untersuchungen mit insgesamt 34 Piloten in einem Boeing 727-200 Flugsimulator bei 3 Flugmanövern, und zwar Start, Sichtlandung und Instrumentenflug-Landung, unter dem Einfluss von 4 verschiedenen Bestrahlungsstärke-Werten, nämlich 0, 0,5 µW/cm^2, 5 µW/cm^2 und 50 µW/cm^2, hinsichtlich der Sehbeeinträchtigungen getestet. Als Wellenlänge wurde 532 nm verwendet. Es ist auch festzuhalten, dass in den der Tabelle 2.3.2.1 letztlich zugrundeliegenden Untersuchungen nur die vorgenannten 4 Bestrahlungsstärken bei jeweils 1-s Expositionsdauer eingesetzt wurden, aus denen dann im Wesentlichen auf die Tabellenwerte extrapoliert wurde.

Die in Tabelle 2.3.2.1 genannten Grenzwerte für maximale Bestrahlungsstärken in den verschiedenen Flugzonen wurden aus einer Verbindung experimentell ermittelter Werte [41] bei Bestrahlungsstärken von 0, 0,5 µW·cm^{-2}, 5 µW·cm^{-2} sowie 50 µW·cm^{-2} und unter Berücksichtigung im Wesentlichen des Langzeitexpositionsgrenzwertes von 10 W/m^2 (= MZB(10 s)) rechnerisch ermittelt. So wurde der Wert für die „sensitive Zone“ durch Division des MZB-Wertes für 10 s durch 10 errechnet und derjenige für die „kritische Zone“ durch nochmalige Division durch 20, d. h. er entspricht einem 200stel des Langzeitexpositionsgrenzwertes. Schließlich erhält man den Wert für die „laserfreie Zone“ aus demjenigen der kritischen Zone durch Division durch den Faktor 100, er liegt damit um einen Faktor 20.000 unter dem MZB(10 s).

Eine solche Festlegung, die auf der Wahrnehmung bestimmter Erscheinungen (s. Tab. 2.3.2.1) beruht, mag zwar durchaus ihre Berechtigung haben, daraus lässt sich aber nicht ohne Weiteres die jeweilige Dauer der Sehbeeinträchtigung nach einer Blendung ermitteln. Daher wurde die funktionale Abhängigkeit bestimmter Sehfunktionen wie der Sehschärfe (Visus) und der Lesefähigkeit von den Expositionsparametern gesucht (siehe Abschnitt 4).

Die zu den in Tabelle 2.3.2.1 angegebenen Zonen-Werten gehörenden Reichweiten lassen sich unter Anwendung der Gl. (1) berechnen. Setzt man in Gl. (1) statt des Expositions-grenzwertes (EGW bzw. MZB-Wert) einen der 3 Zonen-Grenzwerte ein [31, 39], so erhält

man die jeweils zugeordneten Abstände, die die Grenzabstände in Form von Reichweiten darstellen, bei denen die betreffenden Effekte eintreten bzw. auftreten können [27].

Die Berechnung der jeweiligen Reichweiten RW_{AZ} erfolgt gemäß Gl. (1) unter Berücksichtigung der betreffenden maximalen Bestrahlungsstärken MZB_{AZ} daher wie folgt:

$$RW_{AZ} = \sqrt{\frac{4 \cdot P}{\pi \cdot MZB_{AZ}}} \cdot \frac{1}{\Theta} \approx 1{,}13 \cdot \sqrt{\frac{P}{MZB_{AZ}}} \cdot \frac{1}{\Theta} \qquad (2)$$

Dabei ist P die Laserstrahlleistung, MZB_{AZ} die maximal zulässige Bestrahlung (hier Bestrahlungsstärke im Sinne einer Leistungsdichte auf der Hornhaut) für die jeweilige Zone nach Tab. 2.3.2.1 und Θ die Strahldivergenz (Vollwinkel, ganzer Fernfeldöffnungswinkel des Laserstrahls). Der Index „A“ in Gl. (2) wird entsprechend der Zone in Tab. 2.3.2.1 gewählt [27].

Die aus Gl. (2) für je einen Laserpointer mit 5 mW und 1 W Ausgangsleistung und einer Strahldivergenz von 1 mrad berechneten Reichweiten sind exemplarisch in Tabelle 2.3.2.2 angegeben. Weitere Daten finden sich in [27].

Tab. 2.3.2.2: Reichweiten für verschiedene Zonen für eine Laserstrahlleistung P von 1 W und eine Strahldivergenz Θ = 1 mrad

Laserstrahl-leistung/mW	**Reichweite RW_{EZ} km**	**Reichweite RW_{KZ} km**	**Reichweite RW_{LZ} km**
5	0,08	0,357	3,568
1000	1,128	5,046	50,463

In die hier angestellten Betrachtungen sind noch keine Einflüsse der Atmosphäre wie Absorption, Streuung und Szintillation (Strahlbewegung) einbezogen worden. Da hierdurch zum einen Leistungsverluste und zum anderen in erster Linie, bis auf besondere Situationen und Gegebenheiten, Strahldurchmesservergrößerungen aufgrund von Streuereignissen an den Bestandteilen der Luft auftreten, sind die vorstehenden Betrachtungen eher etwas konservativ angelegt [27].

Ein Vorteil dieser Reichweitenermittlung besteht zweifelsfrei darin, dass hier dieselben Zusammenhänge und Abhängigkeiten von Laserstrahlleistung und Strahldivergenz gültig sind, wie sie bereits für die NOHD-Ermittlung zutreffen. Andererseits sind die Reichweitenangaben ohne weitere Kenntnis der funktionalen Zusammenhänge im Hinblick auf zu erwartende Beeinträchtigungsdauern von Sehfunktionen nur bedingt tauglich, um eine entsprechende quantitative Vorhersage machen zu können.

Abbildung 2.3.2.1 zeigt 4 Beispiele von Blendsituationen in einem Cockpit eines Flugzeugs aus der Sicht einer Kamera. Dabei wurde ein „grüner“ 5 mW-Laserpointer aus einer Entfernung von ca. 70 m in leichten Bewegungen über das Cockpit geführt. Gemäß Tab. 2.3.2.2 entspricht dies der Situation in der empfindlichen Zone.

Bei einem solchen Laserpointer würde man z. B. Fast-Blitzlichtblindheit in ca. 80 m, starke Störung durch Blendung in ca. 357 m und Ablenkung in Form von Unkonzentriertheit durch den Laserpointerstrahl noch in 3,57 km Entfernung zu erwarten haben.

Abb. 2.3.2. 1: Beispiele von Expositionssituationen im Cockpit aus der Kamerasicht

Bei allen quantitativen Angaben im Zusammenhang mit einer vorübergehenden Blendung muss bedacht werden, dass nicht nur eine Sehbeeinträchtigung als Folge der Blendung und der damit induzierten Effekte wie Blitzlicht-Blindheit und Nachbilderscheinung auftritt, sondern auch während der Blendung selbst ein Sehhandikap vorliegt, wodurch sich die entsprechende Sehbeeinträchtigungsdauer entsprechend verlängert. Allerdings ist die Nachwirkdauer meist erheblich länger als die eigentliche Blenddauer.

Eine andere Möglichkeit der Abschätzung der Beeinträchtigung von Piloten durch eine Laserbestrahlung besteht in der Berücksichtigung der durch Blendung ermittelten zeitlichen Verzögerungen der Sehfunktionen wie der Sehschärfe oder der Fähigkeit Texte bzw. Zahlen lesen zu können. Die entsprechenden Erkenntnisse wurden in einer umfangreichen Studie gewonnen und sind in einem Abschlussbericht eines Forschungsvorhabens dokumentiert [29].

3. Statistische Angaben über Zwischenfälle mit Laserpointern

Obwohl der gezielte Einsatz von Lasern zur absichtlichen Blendung von Menschen völkerrechtlich geächtet ist, muss dennoch von einer wachsenden Gefahr im Hinblick auf eine Schädigung der Augen durch Laserstrahlung ausgegangen werden. Dabei kann es sich einerseits um unbeabsichtigte unfallbedingte Einwirkungen in Form einer Laserstrahl-exposition, aber auch andererseits um terroristische Anschläge unter Verwendung von Lasern handeln oder aber Laserpointer werden unkontrolliert und eventuell unbedacht z. B. auf Fahr- bzw. Flugzeuge gerichtet. Unter Verwendung von Lasern sind somit neue Gefährdungs- bzw. Bedrohungsszenarien denkbar.

Das Thema Gefährdung des Straßen- und Schienenverkehrs durch den Missbrauch von Laserpointern scheint aber zurzeit noch wenig Beachtung zu finden – vielleicht auch deshalb, weil erstens noch nichts passiert ist – zumindest nichts, was zu einem entsprechenden Aufschrecken geführt hätte – und zweitens die Sensibilisierung dafür ganz einfach fehlt. Bislang spielte lediglich Sichtbeeinträchtigung durch Sonnenblendung eine gewisse Rolle. Das Problem der Sonnenblendung beim Autofahren wird aber nach einem Bericht von den Betroffenen häufig als naturgegeben betrachtet und gilt eher als ein Problem der allgemeinen Lebensbewältigung [42]. Wird z. B. dem Lenker eines Straßenfahrzeugs bei einer Geschwindigkeit von 100 km/h aufgrund einer Blendung als Folge von Nachwirkungen durch die Blendung (Nachbilder) die Sicht genommen, so legt er bei diesem Tempo nach Ende der aktuellen Blendung immerhin pro Sichteinschränkung von einer Sekunde noch ca. 28 m „blind“ zurück. Im Stadtverkehr bei 50 km/h wären es immerhin noch ca. 14 m pro Sekunde Beeinträchtigung. Die Beeinträchtigung durch auftretende Nachbilder kann aber deutlich länger als eine Sekunde dauern. Dazu kommt, dass ihm auch während der Blendung selbst weitgehend die Sicht genommen ist. Diese Zeit muss also bei einem Blendungsereignis in jedem Falle noch vorweg dazu addiert werden, um die gesamte Zeitdauer einer Sehbeeinträchtigung von Seiten des damit verbundenen Risikos richtig ab- und einschätzen zu können. Auffallend ist jedenfalls, dass die Berichte in den Medien über Zwischenfälle mit Laserpointern im Straßenverkehr zugenommen haben. Darunter befinden sich auch solche, bei denen ein Augenschaden reklamiert wurde, wie in einem Fall eines mutmaßlichen Missbrauchs einer Laser-Wasserwaage [43].

Auch von Laserattacken auf Schienenfahrzeugführer ist zumindest in der Presse bereits einige Mal zu lesen gewesen. So findet sich u. a. folgende Tatschilderung „ ‘Seinen Beschreibungen zufolge hat es plötzlich geblitzt, dann spürte er wahnsinnige Stiche in seinen Augen’, sagte Üstra-Sprecher Udo Iwannek. Mit geschlossenen Augen und unter akuten Schmerzen brachte der Stadtbahnfahrer das Fahrzeug mit einer Vollbremsung am Bahnsteig zum Stehen. ‘Er hat sofort die Betriebsleitstelle informiert. Von dort aus haben die Kollegen den Rettungsdienst gerufen’, sagte Iwannek. Mit dem Krankenwagen ging es in die Augenklinik; dort wird der Üstra-Mitarbeiter seitdem stationär behandelt und muss voraussichtlich noch mehrere Tage in der Obhut der Ärzte bleiben. Sie versorgen ihn rund um die Uhr mit Infusionen, die den Heilungsprozess des zerstörten Gewebes beschleunigen sollen.“ [44] Auch wenn sich der Wahrheitsgehalt einer solchen Meldung – und es gibt vergleichbare dazu auch aus anderen Städten und auch von Busfahrern – nicht aktuell klären lässt, so könnte es sich leider in der Tat um eine dauernde Schädigung der Augen handeln, die durch einen Laserpointer erzeugt wurde.

Laserpointer stellen für die Piloten das zweite Dilemma dar. Nachdem man nämlich die Vorfälle durch größere Showlaser auf dem Verordnungsweg und durch Meldepflichten in den Griff bekommen hatte, kam es ab 2004 in USA zu den ersten Blendattacken mit Laserpointern. Deren Zahl stieg in den Folgejahren weiter an und so wurden 2010 der zuständigen Behörde in USA 2.836 Laserzwischenfälle berichtet. 2011 wurden bereits 3.576 Zwischenfälle gezählt, bei denen 3.592 Flugzeuge betroffen waren. Dies entspricht einem Mittelwert von 9,8 Zwischenfällen pro Nacht. Von der FAA (Federal Aviation Administration) wurden ungefähr 11.774 Laser-/Flugzeug-Zwischenfälle in der Zeit zwischen dem 1. Januar 2004 und dem 28. Juni 2012 berichtet [45]. Während noch im Jahr 2011 ein Anstieg um ca. 43 % gegenüber 2010 zu verzeichnen war, hat sich der Anstieg von Anfang des Jahres 2012 noch bei 12,8 % auf zurzeit nur noch 2,1 % reduziert. Die gute Nachricht bei der dennoch hohen Zahl an Zwischenfällen ist, dass zwar in 55 der 3.576 Laser-/Flugzeug-Zwischenfälle im Jahr 2011, also bei 1,5 %, ein Pilot oder ein Mitglied der Flugzeugbesatzung vorübergehende Sehbeeinträchtigungen, wie Blitzlichtblindheit, verschwommenes

Sehen, Augen-Irritationen und/oder Kopfschmerzen berichtete, dass sich aber in keinem dieser Fälle eine bleibende Schädigung durch die medizinischen Experten der FAA feststellen ließ. Dies scheint auch in den derzeitigen 20 von 1.519 Laser-/Flugzeug-Zwischenfällen (1,3 %) der Fall zu sein, von denen wiederum 2 Betroffene sich zu einer medizinischen Augenuntersuchung begaben [45].

Deutschland wurde von diesem gefährliche Tun 2009 erreicht. Die Zahl der Zwischenfälle in 2009 wird mit 122 angegeben (Anm.: Die Deutsche Flugsicherung DFS spricht dagegen von nur 36 Angriffen.) und im Jahr 2010 wurde vom Luftfahrtbundesamt bzw. von den deutschen Luftfahrtunternehmen eine Zahl von 273 Blend-Attacken mit Laserpointern genannt. Anderen Berichten zufolge waren es 423 Zwischenfälle. Für 2011 sind offizielle Zahlen nicht zu erhalten, es ist aber von 636 Zwischenfällen die Rede [46]. Jüngste Zahlen lassen darauf schließen, dass der Trend weiter nach oben geht, und es ist daher verständlich, dass die Sorgen der Betroffenen größer werden. Bundesweit steigt die Anzahl der Laserattacken rapide. Die Dunkelziffer kann als beträchtlich angesehen werden, da nicht jeder Pilot z. B. nach einem langen Arbeitstag oder aus anderen Gründen auch noch einen Report über Laserangriffe schreiben möchte. Um Nachahmer nicht auch noch zu ermutigen, wurde in der letzten Zeit auf entsprechende öffentlich zugängliche Berichte und Meldungen von Zwischenfällen auf deutschen Flughäfen weitgehend verzichtet. Man kann aber in jeden Fall sagen, dass das Problem der Blendattacken auf Flugzeuge und Hubschrauber weiterhin besteht.

Mit der Frage „Wie gefährlich sind Laserattacken auf Flugzeuge?“ hat sich auch das öffentliche Fernsehen unlängst befasst [47]. „Das Gefährliche, so Ulrich Blesting, ist die plötzliche Überstrahlung, wenn sich der Laserstrahl in der Scheibe bricht. Sekundenlang war der erfahrene Pilot geblendet und sah Nachbilder. In dieser Zeit sei es ihm nicht möglich gewesen, die Instrumente abzulesen oder bestimmte Flugkommandos einzuleiten. Diese Aussage untermauert Professor Hans-Dieter Reidenbach von der Fachhochschule Köln mit praktischen Versuchsreihen. Er forscht im Bereich der Medizintechnik seit Jahren zum Thema Laser-Blendung. Leuchtet man in einem Abstand von hundert bis tausend Meter nur eine viertel Sekunde lang mit einem 100-Milliwatt-Laserpointer, beeinträchtigt dies die Sehfähigkeit der Testperson für bis zu zehn Sekunden.“ [48]

Inwieweit erhöhte Strafen und verbesserte Identifikationsmöglichkeiten von Tätern, die einen Laserpointer gegen ein Straßen-, Schienen- oder Luftfahrzeug gerichtet haben, sowie Öffentlichkeitsarbeit, zu einer Abnahme des gefährlichen Tuns beitragen können, muss die Zukunft zeigen.

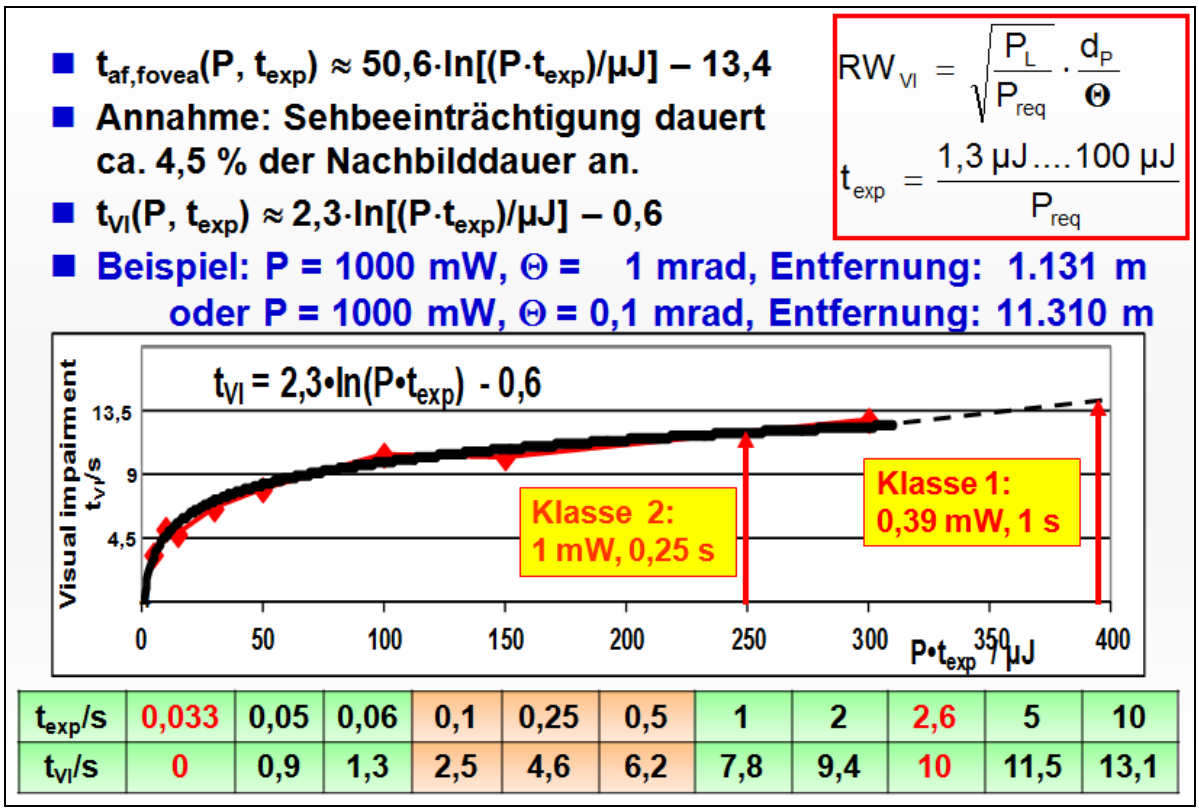
4. Untersuchungen zur vorübergehenden Beeinträchtigung durch Laserstrahlung aus Laserpointern

In an der FH Köln durchgeführten Untersuchungen konnte festgestellt werden, dass die Fähigkeit Instrumente ablesen zu können ein besonders geeignetes Maß für die Bestimmung der Beeinträchtigung ist. Danach wird die Lesefähigkeit durch Blendung mit einem Laser der Leistung von 1 Watt, die z. B. eine Sekunde angehalten hat, für eine Zeitdauer von Null bis 10 Sekunden gestört, wenn dabei der Abstand zwischen Laserpointer und Cockpit 6,1 km - 0,7 km beträgt. Selbst mit einem 100 mW-Laserpointer kann bei nur augenblicklicher Bestrahlung (0,25 s) die Sehfähigkeit aus einem Abstand von ca. 1000 m bis 100 m für bis zu 10 s beeinträchtigt werden.

Legt man zur Abschätzung der Sehbeeinträchtigung die bereits bekannten funktionalen Zusammenhänge zwischen Laserstrahlleistung, Expositionsdauer und Nachbilddauer

zugrunde [31], dann ergeben sich die in Abb. 4.1 dargestellten Zusammenhänge für die Sehbeeinträchtigungsdauer t_{VI} als Funktion der Expositionsdauer t_{exp} für einen „roten“ Laserpointer, wenn davon ausgegangen wird, dass die Sehbeinträchtigung ca. 4,5 % der Nachbilddauer in der Fovea anhält.

Bei der hier dargestellten Abschätzung der Sehbeeinträchtigung wurden die Entfernungsangaben für ein Beispiele ermittelt, und zwar für die Reichweite der empfindlichen Zone nach Tabelle 2.3.2.1, d. h. für 100 µW/cm^2. In eine 7-mm Pupille fallen dann ca. 39 µW.



t_{exp}/s	0,033	0,05	0,06	0,1	0,25	0,5	1	2	2,6	5	10
t_{VI}/s	0	0,9	1,3	2,5	4,6	6,2	7,8	9,4	10	11,5	13,1

Abb. 4.1: *Sehbeeinträchtigungsdauer t_{VI} als Funktion der Expositionsdauer t_{exp} für einen „roten“ Laserpointer (632,8 nm); P_{req} ist die Laserstrahlleistung, die erforderlich ist, um eine Beinträchtigung zwischen 0 s und 10 s zu erzeugen*

Ein Vergleich der Tabelle 2.3.2.1 mit Abbildung 4.1 zeigt, dass mit den im amerikanischen Standard ANSI Z136.6 [39] vorgenommenen Einteilungen zwar Bereiche angegeben werden können, innerhalb derer die Effekte „Blendung“, „Blitzlichtblindheit“ und „Nachbilder“ auftreten, aber die Dauer der hierdurch jeweils bedingten Sehbeeinträchtigung lässt sich daraus nicht unmittelbar ableiten. Das „Kölner Modell“ zielt dagegen entscheidend darauf ab, die Dauer einer Sehbeeinträchtigung gewissermaßen fließend anzugeben, d. h. es ist bei Kenntnis der optischen Laserstrahlenergie, die in das Auge fällt, möglich, die Sehbeeinträchtigungsdauer aus der Expositionsdauer abzuschätzen.

Bei dem Vergleich der Laserwellenlängen von 632,8 nm und 532 nm hat sich gezeigt, dass zwischen diesen beiden Wellenlängen ein Faktor ca. 2,6 hinsichtlich der Beeinträchtigungen besteht, d. h. um mit einem „roten“ Laserpointer bei 632,8 nm dieselbe Sehbeeinträchtigung an der Schwelle zu erzeugen wie bei einem „grünen“ Laserpointer bei 532 nm, ist eine um den Faktor 2,6fach größere optische Schwellen-Laserstrahlleistung bzw. –energie erforderlich und umgekehrt.

Da die ermittelten Zusammenhänge logarithmische Abhängigkeiten von der optischen Energie zeigen (vgl. Abb. 4.1), lässt sich aber aus dem Verhältnis an der Schwelle nicht auf die Beeinträchtigung bei größeren Energiewerten schließen. Ein Vergleich der Mittelwerte hat gezeigt, dass sich der Faktor von ca. 1,65 bis 1,57 im Bereich von 500 µJ bis 3.000 µJ ändert. Größere Unterschiede zeigen sich dagegen bei kleineren Energiewerten, insbesondere nahe der Schwelle. In jedem Fall ergibt sich aber kein Verhältnis der Auswirkungen dieser beiden Wellenlängen auf die Sehbeeinträchtigung, wie es aufgrund der spektralen Hellempfindlichkeit, die durch die sogenannte V-Lambda-Kurve repräsentiert wird, zu erwarten wäre, denn danach hätte der Faktor 3,6 sein müssen [31].

Zur Verifizierung der mit dünnen, kollimierten Laserstrahlen gewonnenen Ergebnisse wurden verschiedene Testszenarien realisiert, wobei entweder sogenannte High-Brightness-LEDs (HB-LEDs) zum Einsatz kamen oder aber Laserstrahlung so aufgeweitet wurde, dass möglichst beide Augen gleichzeitig einem Strahl ausgesetzt waren [49, 50, 52, 53]. Über die dabei erzielten Ergebnisse wurde inzwischen bereits berichtet [38, 51]. Gerade diese Ergebnisse sind insofern von besonderer Bedeutung, da das Wissen zu Beeinträchtigungen speziell unter mesopischen und skotopischen Umgebungsbedingungen noch sehr begrenzt ist.

In einer speziellen Testanordnung wurde eine Homogenisierung des Laserstrahlprofils eines nahezu im Grundmode betriebenen 500 mW-Lasers durch eine inverse Gaußfilterung vorgenommen [38, 53] und mittels Linsen-Transformation ein Strahldurchmesser von ca. 12 cm erzeugt. Hierdurch wurden die Anleuchtung und die Situation einer Blendung im Cockpit simuliert. Abb. 4.2 zeigt den hierzu realisierten Aufbau.

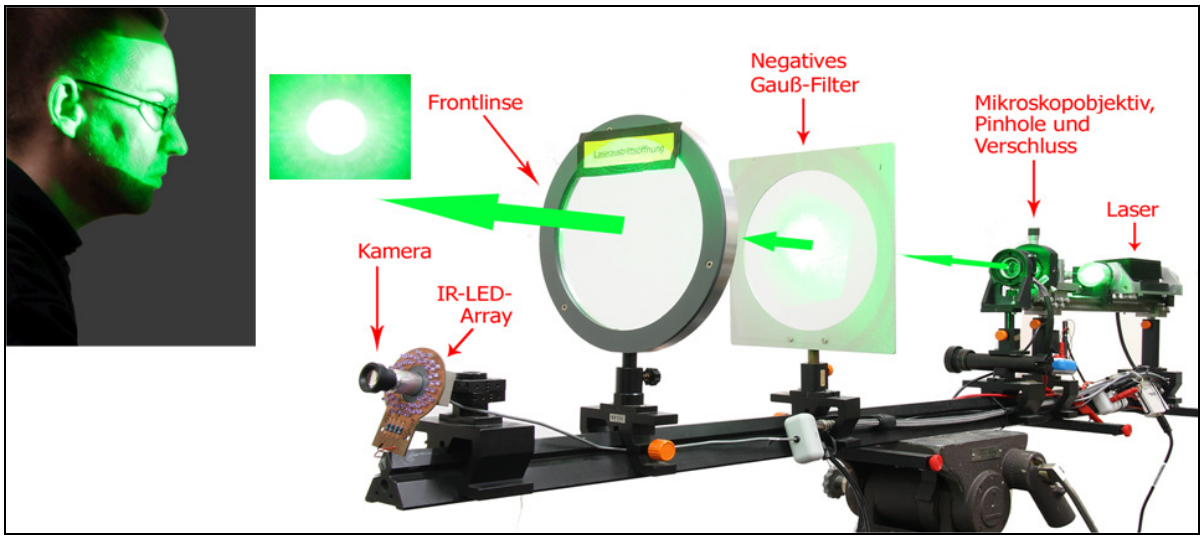


Abb. 4.2: Experimenteller Aufbau mit Laserstrahlquelle, Optiken, Kameraaufnahmesystem, Strahlprofil und Testperson (mod. [38, 53])

Bei allen Untersuchungen und Messungen wurde die Lasereinrichtung als eine solche der Klasse 1 betrieben, d. h. es wurde mit Leistungen zwischen 180 µW und 200 µW in einer 7-mm-Blende getestet. In Abb. 4.2 wurde das Schutzgehäuse zur besseren Veranschaulichung des Aufbaus abgenommen. Mit diesem Testaufbau steht eine Simulationseinrichtung für die Durchführung von Untersuchungen zur vorübergehenden Blendung zur Verfügung, die möglichst realitätsnahe Ergebnisse erwarten lässt.

5. Schutzmaßnahmen und Ausblick

Eine Beeinträchtigung der Sehfunktionen kann z. B. ein Pilot in der besonders kritischen Phase des Landeanfluges, in der sich noch dazu die Laserattacken vornehmlich bei Dunkelheit in den späten Abendstunden ereignen, überhaupt nicht gebrauchen. Daher stellt sich die Frage nach einem wirksamen Schutz für Piloten.

Die Vielzahl heute bereits am Markt verfügbarer Wellenlängen für Laserpointer macht die Anwendung einer entsprechenden Schutzbrille praktisch unmöglich, damit es nicht schwarz wird. Außerdem würde eine Schutzbrille gegen sichtbare Strahlung einzelner Wellenlängen dazu führen, dass bestimmte Farben bei den Instrumenten nicht mehr bzw. nicht genügend differenziert gesehen werden könnten. Außerdem ist nicht davon auszugehen, dass in der zivilen Luftfahrt ständig Schutzbrillen getragen würden, damit auch gegen eine kurzzeitige Exposition ein wirksamer Schutz erreicht würde. Erfolgt das Aufsetzen einer Schutzbrille bei Eintritt einer Laserstrahlattacke ist es meist zu spät.

Bei der Frage nach einer Schutzfolie innen auf der Cockpitscheibe kann man feststellen, dass es zu viele verschiedene Laserwellenlängen gibt, mit denen Piloten potenziell geblendet werden könnten. Daher stellt sich die Frage, gegen welche Wellenlänge ein Schutz angebracht werden soll. Mit einem Schutz gegen die heute am meisten verbreiteten grünen Laserpointer wäre sicherlich schon eine Menge erreichbar. Es muss aber gewährleistet sein, dass Piloten praktisch einen unbeeinflussten Blick nach draußen haben, da es viele Signale und Wahrnehmungen gibt, die in einer bestimmten “Farbe” vorliegen und das wäre hierbei nicht mehr ohne Weiteres gegeben, da ein Filter gegen sichtbare Strahlung – auch wenn es nur ein kleiner Wellenlängenbereich ist – diesen mehr oder weniger deutlich einschränkt. Bei einem Grünfilter hätte man z. B. den Eindruck als ob ständig die Sonne scheint, da dann Grün fehlt und Gelb und Orange deutlich bevorzugt werden [25]. Außerdem gibt es einfach zu viele verschiedene Flugzeugarten und –typen, so dass auch aus diesem Grund ein Problem vorliegen würde, alle zu schützen, zumal am besten alle Cockpitscheiben vollständig eine solche Schutzfolie haben müssten.

Eine äußere Beschichtung, mit der die Laserstrahlen nach oben oder seitlich abgelenkt bzw. ganz reflektiert werden wäre eigentlich kein schlechter Vorschlag – und am besten gleich wieder zurück mit der Laserstrahlung, und zwar dorthin, wo sie hergekommen ist. Aber auch hier gilt das was zur Vielfalt der Cockpitscheiben gesagt wurde. Eine Cockpitscheibe muss relativ hohe Anforderungen erfüllen (z. B. Aufprall von Vögeln; in vielen Fällen heizbar usw.), so dass eine Schutzfolie bzw. Beschichtung (evtl. auch durch Dotierung des Scheibenmaterials) die Komplexität deutlich erhöhen würde [25]. Allerdings sind hierzu ernstzunehmende Entwicklungen, z. B. mittels sogenannter Metamaterialien und Medien, deren Transparenz sich durch Laserbestrahlung verändert, bereits im Gange und man muss abwarten, ob sich tatsächlich solche Lösungen erzielen lassen. Für deren Validierung bietet sich in jedem Fall der in Köln an der FH vorhandene Testaufbau an.

Schutzbrillen für die Piloten, insbesondere gegen “Grün”, werden zurzeit von vielen Experten am meisten favorisiert.

Darüber hinaus lohnt es sich sicher, über einen temporären Schutz, der nur dann vorhanden ist, wenn er wirklich gebraucht wird und auch nur während dieser Zeitdauer die Farbwahrnehmung beeinträchtigt, nachzudenken.

Seit mehreren Jahren werden experimentell Daten zur Beeinträchtigung der menschlichen Augen durch blendende Laserstrahlung gesammelt und es findet eine intensive Befassung mit der Thematik der Schutzmaßnahmen statt. Dazu ist auch unter anderem ein Kontakt mit

Piloten erforderlich, und zwar auch bei Blendversuchen unter Laborbedingungen. Eine abschließende Aussage welche Maßnahme am effektivsten getroffen werden kann, lässt sich aber zurzeit noch nicht machen – und dies gilt weltweit im gleichen Maße. Auf jeden Fall muss die Einwirkungsdauer so kurz wie möglich gehalten werden. Darüber hinaus ist Training von entscheidender Bedeutung und eine sach- und fachgerechte Information.

Gleichwohl ist es notwendig, dass möglichst umfassend Forschungsanstrengungen auf diesem besonderen Gebiet gemacht werden, damit noch rechtzeitig entsprechende Gegenmaßnahmen zur Sicherheit und zum Gesundheitsschutz diskutiert und dann auch umgesetzt werden können. Auch wenn bis heute noch kein Unfall im Flugverkehr auf eine Laserstrahlexposition zurückgeführt wird, so kann dies kein Grund sein, sich in Sicherheit zu wiegen, denn Laserpointer können unbedacht oder aber auch mit Vorsatz zu einem sehr gefährlichen Produkt gegenüber Führern von Straßen-, Schienen- und Luftfahrzeugen werden.

Bei allen Analysen darf nicht übersehen werden, dass sich durch einfache optische Hilfsmittel eine der entscheidenden Größen, nämlich die Strahldivergenz, verringern lässt und hierdurch die „Reichweite“ vergrößert werden kann. Bereits mittels einer einfachen Teleskopoptik (Strahlaufweitungssysteme) kann die Divergenz z. B. um den Faktor 10 verringert und damit gleichzeitig der jeweilige Augensicherheitsabstand entsprechend vergrößert werden [27].

Danksagung

Besonderer Dank gilt den Mitautoren des Abschlussberichtes zum Forschungsprojekt F 2185 Blendung, insbesondere den mitwirkenden Diplomanden und Bachelor-Absolventen Dipl.-Ing. Gadafi Salovski, Dipl.-Ing. Eric Kuhnen, Dipl.-Ing. Jens Oehme, Dipl.-Ing. Maurice Reinders, Dipl.-Ing. Michael Held und BSc Simon Hackenbroich.

6. Literaturverzeichnis

[1] Brüggemeyer, H.; Dickob, H.; Eggert, S.; Fischer, M.; Friedrich, G.; Möbius, U.; Reidenbach, H.-D.; Ruppe, I.; Wolf, F.: Elektromagnetische Felder; Leitfaden Nichtionisierende Strahlung (Redaktion: H.-D. Reidenbach), Fachverband für Strahlenschutz, FS-05-135-AKNIR, Köln 2005

[2] Brose, M; Jossen, H.; Ott, G.; Reidenbach, H.-D.; Siekmann, H.: Ultraviolettstrahlung künstlicher Quellen; Leitfaden Nichtionisierende Strahlung (Redaktion: H.-D. Reidenbach), Fachverband für Strahlenschutz, FS-05-131-AKNIR, Köln 2005

[3] Brose, M.; Brüggemeyer, H.; Graf, M.; Jossen, H.; Ott, G.; Reidenbach, H.-D.; Siekmann, H.; Steinmetz, M.; Sutter, E.; Weiskopf, D.: Sichtbare und infrarote Strahlung; Leitfaden Nichtionisierende Strahlung (Redaktion: H.-D. Reidenbach), Fachverband für Strahlenschutz, FS-2011-158-AKNIR, Köln 2011

[4] Brose, M.; Brüggemeyer, H.; Graf, M.; Horak, W.; Jossen, H.; Ott, G.; Reidenbach, H.-D.; Steinmetz, M.; Völker, Th.; Weiskopf, D.: Laserstrahlung; Leitfaden Nichtionisierende Strahlung (Redaktion: H.-D. Reidenbach), Fachverband für Strahlenschutz, FS-2011-159-AKNIR, Köln 2011

[5] Ott, G.; Reidenbach, H.-D.; Siekmann, H.; Steinmetz, M.; Völker, Th.: Sonnenstrahlung; Leitfaden Nichtionisierende Strahlung (Redaktion: H.-D. Reidenbach), Fachverband für Strahlenschutz, FS-05-130-AKNIR, Köln 2005

[6] Technische Spezifikation zu Lasern als bzw. in Verbraucherprodukte(n): Arbeitskreis „Laser als Verbraucherprodukte“, Herausgeber: Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin (BAuA), Stand: 22. April 2010

[7] DIN EN 60825-1: 2008-05: Sicherheit von Lasereinrichtungen – Teil 1: Klassifizierung von Anlagen und Anforderungen (IEC 60825-1:2007); Deutsche Fassung EN 60825-1:2007
[8] Unfallverhütungsvorschrift/Berufsgenossenschaftliche Vorschrift BGV B2: „Laserstrahlung“ (vom 1. April 1988 in der Fassung vom 1. Januar 1997 mit Durchführungsanweisungen vom Oktober 1995, Aktualisierte Nachdruckfassung April 2007)
[9] Reidenbach, H.-D., Dollinger, Esser, M., Seckler, M.: Charakteristische Messwerte kommerzieller Laserpointer und Klassifizierung nach DIN EN 60825-1, Publikationsreihe Fortschritte im Strahlenschutz; FS-99-106-T, Nichtionisierende Strahlung NIR99, 27. 9.-1.10.1999, Bd. II, Köln, S. 947 – 966
[10] Gefahren durch Laserpointer; Empfehlung der Strahlenschutzkommission, verabschiedet in der 152. Sitzung am 23./24. April 1998, Bundesanzeiger Nr. 144 vom 06. August 1998
[11] Gefährdungen durch Laserpointer; Empfehlung der Strahlenschutzkommission vom 15. März 2006 (BAnz. Nr. 75 vom 20.04.2006 S. 3029)
[12] Reidenbach, H.-D., Dollinger, K., Hofmann, J.: Überprüfung der Laserklassifizierung unter Berücksichtigung des Lidschlussreflexes, Schriftreihe der Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin; Fb 985, Wirtschaftsverlag NW, Bremerhaven 2003
[13] Reidenbach, H.-D., Hofmann, J., Dollinger, K., Ott, G.: Abwendungsreaktionen des Menschen gegenüber sichtbarer Laserstrahlung, Schriftreihe der Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin; Fb 1069, Wirtschaftsverlag NW, Bremerhaven 2006
[14] Wyrsch, S.; Baenninger, P. B.; Schmid, M. K.: Retinal Injuries from a Handheld Laser Pointer; N Engl J Med 363 (2010), 1089 – 1091
[15] Most powerful handheld laser: Wicked Lasers sets world record, http://www.worldrecordsacademy.org/technology/most_powerful_handheld_laser_Wicked_Lasers_sets_world_record_112457.html (zuletzt besucht am 14.07.2012)
[16] S3 Krypton Series, World's Brightest Handheld Laser, http://www.wickedlasers.com/lasers/S3_Krypton_Series-113-63.html (zuletzt besucht am 14.07.2012)
[17] WICKED LASERS Master Guide, www.wickedlasers.com/image/wicked/pdf/WL-Manual_11232011.pdf (zuletzt besucht am 14.07.2012)
[18] ICNIRP: Guidelines on Limits of Exposure to Laser Radiation of Wavelengths between 180 nm and 1 mm. Health Physics 71 (5): 804-819; 1996
[19] ICNIRP: Revision of the Guidelines on Limits of Exposure to Laser radiation of wavelengths between 400 nm and 1.4 µm. Health Physics 79 (4): 431-440; 2000
[20] Richtlinie 2006/25/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 5. April 2006 über Mindestvorschriften zum Schutz von Sicherheit und Gesundheit der Arbeitnehmer vor der Gefährdung durch physikalische Einwirkungen (künstliche optische Strahlung) (19. Einzelrichtlinie im Sinne des Artikels 16 Absatz 1 der Richtlinie 89/391/EWG), ABl. L 114/38 v. 27.4.2006
[21] Verordnung zur Umsetzung der Richtlinie 2006/25/EG zum Schutz der Arbeitnehmer vor Gefährdungen durch künstliche optische Strahlung und zur Änderung von Arbeitsschutzverordnungen vom 19. Juli 2010 (BGBl. I S. 960)
[22] Don’t aim laser pointers at a person’s head and eyes! Why lasers can cause eye damage, http://www.laserpointersafety.com/laser-hazards_head-eyes/laser-hazards_head-eyes.html, (zuletzt besucht am 14.07.2012)
[23] Robertson, D. M.; Lim, T. H.; Salomao, D. R.; Link, T.P.; Rowe, R. L.; McLaren, J. W.: Laser pointers and the human eye: a clinicopathologic stud; Arch Ophthalmol. 118 (2000), 1686-1691
[24] Robertson, D. M.; McLaren, J. W.; Salomao, D. R.; Linh, T. P.: Retinopathy From a Green Laser Pointer, A Clinicopathologic Study; Arch Ophthalmol 123 (2005), 629-633

[25] Reidenbach, H.-D.: Warum sind Laser-Attacken für Piloten so gefährlich?; ExpertenWissen: Die Antworten, http://ref1.web.fh-koeln.de/40jahre/?p=1872, (zuletzt besucht am 14.07.2012)
[26] Laser Professionals; Free Online Training, Free for Universities! http://www.laser-professionals.com/downloads/lasersafetyforstudents.ppt und http://www.laser-professionals.com/content/micro-course-training-materials, (zuletzt besucht am 14.07.2012)
[27] Reidenbach, H.-D.: Blendung von Flugzeugpiloten als gefährliche Fehlanwendung von Laserpointern – von der Präsentationshilfe zum gefährlichen Blendwerkzeug im Flugverkehr (Dazzle of pilots as a dangerous misuse of laserpointers – From the presenter to a dangerous blinding tool in air traffic); In: Reidenbach, H.-D., Dollinger, K., Ott, G. (Hrsg.) Nichtionisierende Strahlung NIR2011, Publikationsreihe Fortschritte im Strahlenschutz/Publ. Ser. Progress in Radiation Protection FS-2011-155-T, ISSN 1013-4506, ISBN 978-3-8249-1458-6, TÜV Media GmbH, Köln 2011, 641 – 666
[28] SSK: Blendung durch natürliche und neue künstliche Lichtquellen und ihre Gefahren, Empfehlung der Strahlenschutzkommission vom 16./17. Februar 2006, http://www.ssk.de/de/werke/2006/volltext/ssk0601.pdf
[29] Reidenbach, H.-D.; Dollinger, K.; Ott, G.; Janßen, M.; Brose, M.: Blendung durch optische Strahlungsquellen; 1. Auflage. Dortmund: Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin 2008. ISBN: 978-3-88261-093-2, 407 Seiten, Projektnummer: F 2185, PDF-Datei (http://www.baua.de/nn_8514/de/Publikationen/Fachbeitraege/F2185.html?__nnn=true)
[30] Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin (BAuA): Blendung durch künstliche optische Strahlung unter Dämmerungsbedingungen, Projektnummer: F 2310, http://www.baua.de/de/Forschung/Forschungsprojekte/f2310.html?nn=948620, (zuletzt besucht am 14.07.2012)
[31] Reidenbach, H.-D.: Indirekte Gefährdung durch vorübergehende Blendung (Indirect hazards from temporary blinding); In: Reidenbach, H.-D., Dollinger, K., Ott, G. (Hrsg.) Nichtionisierende Strahlung NIR2011, Publikationsreihe Fortschritte im Strahlenschutz/Publ. Ser. Progress in Radiation Protection FS-2011-155-T, ISSN 1013-4506, ISBN 978-3-8249-1458-6, TÜV Media GmbH, Köln 2011, 500 – 516
[32] BGI 5007/ GUV-I 5007: Laser-Einrichtungen für Show- oder Projektionszwecke; Ausgabe Januar 2007
[33] Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin: Stellungnahme zur Risikobewertung von Lasern und LED der Klassen 2, 2M und 3A im sichtbaren Wellenlängenbereich (400 nm bis 700 nm); Dortmund, 18.01.05
[34] Murphy, P.: Lasers and Aviation Safety; ILSC 2009 Paper #101, Presented at ILSC 2009, Proceedings of the International Laser Safety Conference, March 2009 (auch als Version 2.2 erhältlich), http://laserpointersafety.com/LPSFiles/files.html, (zuletzt besucht am 27.05.2011)
[35] Galang, J.; Restelli, A.; Hagley, E.W.; Clark, C.W.: A Green Laser Pointer Hazard, NIST Technical Note (TN 1668), (July 2010)
[36] Goldwasser, S. M., Edwards, B.: Hidden Menace: Recognizing and Controlling the Hazards Posed by Smaller and Lower Power Lasers; Paper # 1303, ILSC Conf. 2011
[37] Hackenbroich, S.: Entwicklung eines Versuchsaufbaus sowie einer Steuer- und Auswertungssoftware zur Messung des Strahlparameterproduktes von Laserpointern und der Beurteilung der Winkelausdehnung von Laserstrahlungsquellen; Bachelorarbeit BA-1, Fachhochschule Köln, Köln 2011 (unveröffentlicht)

[38] Reidenbach, H.-D.; Reinders, M.: Laser Pointers and Air Traffic – A New Hazard; XXIIIrd German-Polish Sci. Sem., Wiss. Ber. FH Köln/Scient. Reports CUAS, Proceedings 1/2012, Cologne, 28 -29 June 2011, ISSN 1612-9040, p. 108 – 120
[39] ANSI Z136.6:2005, American National Standard for the Safe Use of Lasers in Outdoor Environment, Laser Institute of America, Orlando USA
[40] Nakagawara, van B.; Montgomery, R. W.; Dillard, A.; McLin, L.; Connor, C. W.: The effects of laser illumination on operational and visual performance of pilots during final approach; Federal Aviation Administration, Office of aerospace medicine, Report No. DOT/FAA/AM-04/09, June 2004
[41] Nakagawara, Van B.; Montgomery, R. W.; Dillard, A.; McLin, L.; Connor, C. W.: The Effects of Laser Illumination on Operational and Visual Performance of Pilots Conducting Terminal Operations; Federal Aviation Administration, Office of Aerospace Medicine. Report Number DOT/FAA/AM- 03/12. August 2003
[42] Rönsch-Hasselhorn, B.: Sichtbeeinträchtigung für Autofahrer durch Sonnenblendung; Zeitschrift für Verkehrssicherheit (ZVS), Heft 1, 49 (2003), TÜV-Verlag, Köln, S. 21-26 und Jahresbericht 2002, Institut ASER e.V., S. 104-105
[43] Der Westen: „13-Jähriger blendet Busfahrer mit Laser“ (Wattenscheid, 29.11.2010), http://www.derwesten.de/staedte/wattenscheid/13-Jaehriger-blendet-Busfahrer-mit-Laser-id4000191.html?quelle=staedte::duisburg::rut, (zuletzt besucht am 2.6.2012)
[44] Laserangriff auf Stadtbahnfahrer in Hannover; Hannoversche Allgemeine vom 21.07.2011, http://www.haz.de/Hannover/Aus-den-Stadtteilen/Sued/Laserangriff-auf-Stadtbahnfahrer-in-Hannover (zuletzt besucht am 15.07.2012)
[45] FAA: US: Latest 2012 laser/aircraft incident statistics; http://www.laserpointersafety.com/news/news/other-news_files/ba42eb9d90335f85f30c2bb056853328-162.php, (zuletzt besucht am 15.07.2012)
[46] Laserattacke gegen Flugzeug über Dresden (Richter, J.): http://www.sz-online.de/nachrichten/artikel.asp?id=3103543 (zuletzt besucht am 15.07.2012)
[47] http://www.wdr.de/tv/kopfball/sendungsbeitraege/2012/0429/laser.jsp
[48] Podcast: wdr_fernsehen_kopfball_20120429.mp4, Sendung vom 29.04.2012 94,81 MB
[49] Oehme, J.: Entwicklung eines Testtargets zur Untersuchung der visuellen Fähigkeit nach einer Blendung durch intensive sichtbare optische Strahlung im Dunkeln, Diploma Thesis DA 165, Cologne University of Applied Sciences, 2009
[50] Held, M.: Entwicklung einer Systematik zur Bewertung der durch einen Laserstrahl im Dunkeln gegebenen Blendsituation für einen Piloten mit Hilfe des Microsoft Flugsimulators, Diploma Thesis DA 166, Cologne University of Applied Sciences, 2010
[51] Reidenbach, H.-D.: Description of various test scenarios for temporary blinding of pilots by means of bright optical radiation during darkness; Enabling Photonics Technologies for Defense, Security, and Aerospace Applications VII, edited by Michael J. Hayduk, Peter J. Delfyett Jr., Proc. SPIE 8054, 80540T (2011); doi:10.1117/12.883016 (SPIE, Bellingham, WA, 2011)
[52] Behnke, T.: Entwicklung der Steuerung eines Lasers zur Blendung mit Hilfe von Labview, Diploma Thesis DA 164, Cologne University of Applied Sciences, 2009
[53] Reinders, M.: Entwicklung eines Laser-Versuchsaufbaus mit digitaler Video-aufzeichnung, sowie einer Steuer- und Auswertungssoftware, zur Erfassung von Blendeffekten und Abwendungsreaktionen bei Blendung mit einem aufgeweiteten Laserstrahl im Dunklen, Diploma Thesis DA 167, Cologne University of Applied Sciences, 2011

ARBEITSSCHUTZ TRIFFT STRAHLENSCHUTZ

OCCUPATIONAL SAFETY MEETS RADIATION PROTECTION

S. Severitt[1], T. Sobetzko[2], J. Oehm[3], M. Kloth[4],

[1]B·A·D Gesundheitsvorsorge und Sicherheitstechnik GmbH, München
[2]PFW Aerospace AG, Speyer
[3]B·A·D Gesundheitsvorsorge und Sicherheitstechnik GmbH, München
[4]Safety Service + Performance KG, Hameln

Zusammenfassung *– Der Kooperationskreis "Synergien in der betrieblichen Sicherheit" (KKSyS) ist ein gemeinsamer Arbeitskreis des Verbands deutscher Sicherheitsingenieure (VDSI) und des Deutsch-Schweizerischen Fachverbands für Strahlenschutz (FS). Die Aufgaben des KKSyS ergeben sich aus der schriftlichen Vereinbarung der beiden Verbände. Dazu gehört auch die fachliche Arbeit. Diesbezüglich befasst sich der KKSyS zurzeit mit der Beschreibung der Schnittstelle Arbeitsschutz / Strahlenschutz. Dem Motto "Unwissenheit schützt vor Strafe nicht" Rechnung tragend, wird eine Broschüre mit dem Arbeitstitel "Arbeitsschutz trifft Strahlenschutz – Handlungshilfen zur Beurteilung des Gefährdungspotenzials durch ionisierende Strahlung" erstellt. Zielgruppen sind Unternehmer und von ihnen mit der Durchführung der Gefährdungsbeurteilung Beauftragte. Inhaltliches Ziel ist die Erstellung möglichst einfach verständlicher Handlungshilfen zur Unterstützung derjenigen, die entscheiden müssen, ob ein bestehendes Gefährdungspotenzial durch ionisierende Strahlung besondere Maßnahmen des Strahlenschutzes erfordert oder ob die üblichen Maßnahmen des Arbeitsschutzes ausreichen.*

Summary *– The cooperation circle "Synergies in operational Security" is a joint working group of the Association of German Safety Engineers (VDSI) and the German-Swiss Professional Association for Radiation Protection (FS). The tasks of the KKSyS are arising from the written agreement of the two associations. This includes work on technical issues. In this regard, the KKSyS currently is dealing with the description of the interface Occupational Safety / Radiation Protection. "Ignorance is no defense" – the KKSyS creates a brochure with the working title "Occupational Safety meets radiation protection – practical guides for assessing the hazards of ionizing radiation." The target groups are entrepreneurs and by them instructed persons to carry out the hazard assessment. Our aim is to create practical guides, simple to understand. The practical guides should assist those, who have to decide, whether an existing hazard potential through ionizing radiation requires special radiation protection measures or whether the usual measures of occupational safety are sufficient.*

Schlüsselwörter: *KKSyS, Arbeitsschutz, DGUV Vorschrift 2, Gefährdungsbeurteilung*
Keywords: *KKSyS, Occupational Safety, DGUV Vorschrift 2, hazard assessment*

1. Der KKSyS - wer sind wir und was tun wir?

Der Kooperationskreis Synergien in der betrieblichen Sicherheit (KKSyS) wurde in 2003 als gemeinsamer Arbeitskreis des Verbands Deutscher Sicherheitsingenieure (VDSI) und des Deutsch-Schweizerischen Fachverbands für Strahlenschutz (FS) eingerichtet. Er setzt sich aus

Experten des Arbeitsschutzes und des Strahlenschutzes zusammen, die je nach bearbeitetem Projekt variieren. Seine Leitung ist paritätisch mit einem Mitglied des VDSI und des FS besetzt.

Die Aufgaben des KKSyS sind sowohl fachlicher wie auch organisatorischer Natur. Sie wurden in der in 2003 geschlossenen Vereinbarung zwischen den beiden Verbänden VDSI und FS definiert und dienen dem Zweck, die Schnittstellen zwischen dem allgemeinen Arbeits-/Umweltschutz und dem Strahlenschutz zu identifizieren, zu bearbeiten und zu kommunizieren.

Der fachliche Schwerpunkt der KKSyS liegt derzeit auf den Schnittstellen zwischen dem allgemeinen Arbeitsschutz und dem betrieblichen Strahlenschutz (ionisierende Strahlung). Eine Schlüsselrolle spielt dabei die allgemeine Gefährdungsbeurteilung nach dem Arbeitsschutzgesetz (ArbSchG) [1].

2. Arbeitsschutz trifft Strahlenschutz

2.1 Am Anfang steht ein "?".

Ein Unternehmer, der neu in ein Geschäftsfeld einsteigt, ein bestehendes erweitert oder weiterführt, muss sich dem Schutz der Arbeitnehmer an den Arbeitsplätzen widmen. Er ist verpflichtet die dortigen Gefährdungen regelmäßig zu eruieren und Maßnahmen zur Minimierung dieser zu ergreifen (ArbSchG §5 [1]). Für die entsprechende Dokumentation steht ihm das Arbeitsschutz-Werkzeug „Gefährdungsbeurteilung“ zur Verfügung.
Je nach Ausrichtung des Geschäftsfeldes, kann dabei die Nutzung oder rein das Vorhandensein von ionisierender Strahlung zu speziell zu ergreifenden Maßnahmen des Strahlenschutzes führen. Ab wann dies der Fall wird, hat der Gesetzgeber in einem umfassenden, eigens zum Schutz vor den schädlichen Wirkungen durch ionisierende Strahlen geschaffenen Regelwerk beschrieben.
Um allein die Problematik erkennen zu können, ist die Gefährdungsbeurteilung ein wichtiges Werkzeug. In der DGUV Vorschrift 2 [2; Abb. 1] erhält der Unternehmer im Anhang 4 unter Punkt 1.1 „Besondere Tätigkeiten“ den Hinweis, auch an mögliche Gefährdungen durch ionisierende Strahlung zu denken. Diese Verpflichtung gab es auch schon in der Vergangenheit. Der direkte Hinweis wurde aber erst mit Inkrafttreten der genannten Vorschrift im Januar 2011 gegeben. Die Existenz der Schnittstelle Arbeitsschutz/Strahlenschutz wurde damit für alle deutlich sichtbar gemacht.

2.2 Problematik Schnittstelle Arbeitsschutz/Strahlenschutz

Der "Umgang mit ionisierender Strahlung" am Arbeitsplatz wird in der DGUV Vorschrift 2 [2] als eine "besondere Tätigkeit" bezeichnet, die genauer in Augenschein genommen werden muss. Es gilt zu entscheiden, wann die allgemeinen Methoden des Arbeitsschutzes nicht mehr ausreichen, um einen genügenden Schutz der Arbeitnehmer vor den Gefahren der ionisierenden Strahlung zu schaffen – also ab wann besondere Maßnahmen des Strahlenschutzes notwendig werden. Für diese Entscheidung hat der Gesetzgeber in der Strahlenschutzverordnung (StrlSchV) [3] und der Röntgenverordnung (RöV) [4] Regeln erlassen, die insbesondere für Nicht-Strahlenschützer selten direkt nachvollziehbar sind. Die Erfahrung zeigt z.B., dass bereits die Berücksichtigung der Summenformel beim Umgang mit radioaktiven Stoffen ein Problem darstellt oder dass beim Umgang die Lagerung häufig nicht in Betracht gezogen wird. Bei letzterem kommt noch hinzu, dass das Wort "Umgang" im

normalen Sprachgebrauch in seiner Bedeutung nicht identisch mit der Definition aus der StrlSchV [3] ist. Das Gleiche gilt für die Begriffe "Arbeiten" und "Tätigkeiten", die nach StrlSchV [3] zu unterscheiden sind, im normalen Sprachgebrauch aber häufig als Synonym verwendet werden. Insbesondere die Wahrnehmung einer Arbeit als "Arbeit" nach StrlSchV ist oft nicht vorhanden.

Die DGUV Vorschrift 2 – Betriebsärzte und Fachkräfte für Arbeitssicherheit ist eine rechtsverbindliche Unfallverhütungsvorschrift der Deutschen Gesetzlichen Unfallversicherung (DGUV), dem Spitzenverband der gewerblichen Berufsgenossenschaften und der Unfallkassen. In Ergänzung zum Arbeitssicherheitsgesetzt (ASiG) werden in der DGUV Vorschrift 2 detaillierte Kriterien für die Ermittlung der Mindest- und darüber hinausgehenden betriebsspezifischen Einsatzzeiten von Fachkräften für Arbeitssicherheit und Betriebsärzten formuliert.

Die DGUV ist als rechtsfähiger Verein organisiert. Mitglieder dieses Vereins sind die gewerblichen Berufsgenossenschaften und die Unfallkassen.

Abb.1: Information zu den Bezeichnungen "DGUV" und "DGUV Vorschrift 2"

muss. Es gilt zu entscheiden, wann die allgemeinen Methoden des Arbeitsschutzes nicht mehr ausreichen, um einen genügenden Schutz der Arbeitnehmer vor den Gefahren der ionisierenden Strahlung zu schaffen – also ab wann besondere Maßnahmen des Strahlenschutzes notwendig werden. Für diese Entscheidung hat der Gesetzgeber in der Strahlenschutzverordnung (StrlSchV) [3] und der Röntgenverordnung (RöV) [4] Regeln erlassen, die insbesondere für Nicht-Strahlenschützer selten direkt nachvollziehbar sind. Die Erfahrung zeigt z.B., dass bereits die Berücksichtigung der Summenformel beim Umgang mit radioaktiven Stoffen ein Problem darstellt oder dass beim Umgang die Lagerung häufig nicht in Betracht gezogen wird. Bei letzterem kommt noch hinzu, dass das Wort "Umgang" im normalen Sprachgebrauch in seiner Bedeutung nicht identisch mit der Definition aus der StrlSchV [3] ist. Das Gleiche gilt für die Begriffe "Arbeiten" und "Tätigkeiten", die nach StrlSchV [3] zu unterscheiden sind, im normalen Sprachgebrauch aber häufig als Synonym verwendet werden. Insbesondere die Wahrnehmung einer Arbeit als "Arbeit" nach StrlSchV ist oft nicht vorhanden.
Dass für die Einschätzung des Gefährdungspotenzials beim Betrieb von einigen Anlagen zur Erzeugung ionisierender Strahlung nach StrlSchV [3] sowie für Anlagen nach RöV [4] auch die Dosisleistung in 10 cm Abstand von der berührbaren Oberfläche eine Rolle spielt, ist insbesondere beim Kauf von gebrauchten Geräten häufig überhaupt nicht bekannt.

2.3 Abhilfe schaffen bei Unsicherheit - unser derzeitiges Projekt (Abb. 2)

Die Unsicherheit im Umgang mit dem Thema "Ionisierende Strahlung" ist unter den NICHT-Strahlenschützern groß. Der KKSyS arbeitet daher auf Basis von StrlSchV [3] und RöV [4] derzeit an einer Broschüre mit Arbeitshilfen und Informationen zur Beurteilung des Gefährdungspotenzials durch ionisierende Strahlung für die Zielgruppen Unternehmer und

von ihnen mit der Durchführung der Gefährdungsbeurteilung Beauftragten. Die Inhalte werden so gestaltet, dass schnell und zuverlässig die Frage „Wann werden spezielle Maßnahmen des Strahlenschutzes für die Gewährleistung der betrieblichen Sicherheit vorrangig relevant?“ beantwortet werden kann. Sie sollen als Entscheidungshilfe für das Hinzuziehen von Strahlenschutzexperten dienen.

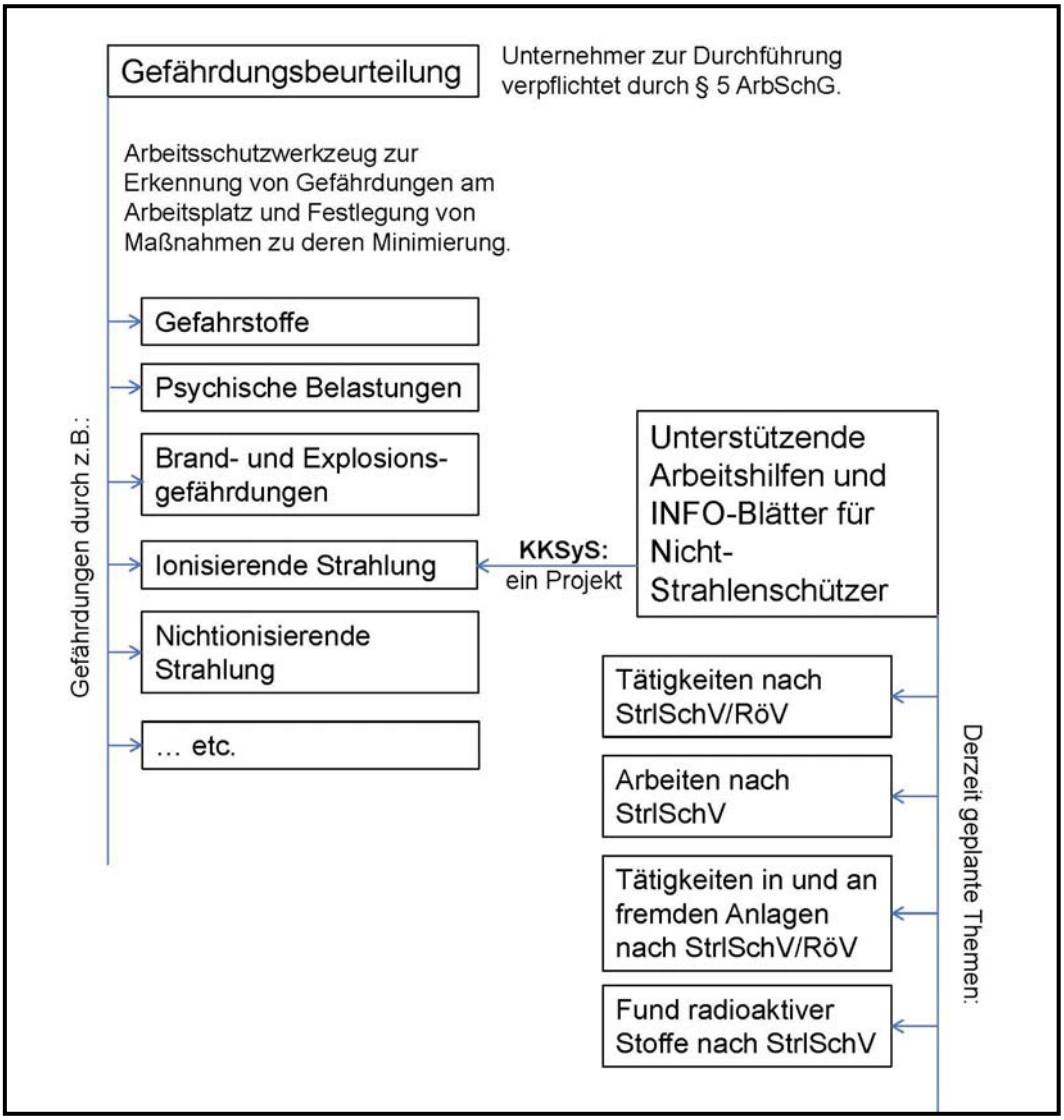


Abb. 2: Derzeitiges Projekt des KKSyS - Broschüre "Arbeitsschutz trifft Strahlenschutz – Handlungshilfen zur Beurteilung des Gefährdungspotenzials durch ionisierende Strahlung".

Nach einem einführenden Kapitel werden dazu entsprechende Flussdiagramme mit kurzen und prägnanten Erläuterungen erstellt. Derzeit ist die Bearbeitung der Themen
- Tätigkeiten nach StrlSchV und RöV
- Arbeiten nach StrlSchV
- Tätigkeiten in und an Fremden Anlagen und Einrichtungen nach StrlSchV und RöV
- Fund radioaktiver Stoffe nach StrlSchV

geplant.

Vortrag und Poster zur Jahrestagung des Deutsch-Schweizerischen Fachverbands für Strahlenschutz (FS) dienen der Präsentation erster Ergebnisse.

3. Literaturverzeichnis

[1] "ArbSchG – Arbeitsschutzgesetz, Gesetz über die Durchführung von Maßnahmen des Arbeitsschutzes zur Verbesserung der Sicherheit und des Gesundheitsschutzes der Beschäftigten bei der Arbeit" vom 07.08.1996, zuletzt geändert am 05.02.2009 BGBl I, Seite 160

[2] "DGUV Vorschrift 2 – Betriebsärzte und Fachkräfte für Arbeitssicherheit", Unfallverhütungsvorschrift der Deutschen Gesetzlichen Unfallversicherung (DGUV), In Kraft seit 01.01.2011

[3] "StrlSchV – Strahlenschutzverordnung, Verordnung über den Schutz vor Schäden durch ionisierende Strahlen" vom 20.07.2001, zuletzt geändert am 24.02.2012, BGBl I S. 212

[4] "RöV – Röntgenverordnung, Verordnung über den Schutz vor Schäden durch Röntgenstrahlen" vom 08.01.1987 zuletzt, geändert am 04.10.2011, BGBl I S. 2000

Posterbeiträge

MODELLIERUNG DER SYSTEMEIGENSCHAFTEN VON WOHNRÄUMEN BZGL. LUFTWECHSELRATEN UND RADONKONZENTRATIONEN

MODELLING THE SYSTEM PERFORMANCE OF LIVING QUARTERS TO ESTIMATE THE AIR CHANGE RATE BY USING THE INDOOR RADON CONCENTRATION

F. A. Rößler[1] , V. Ehret[1], H. Hingmann[1], T. Azzam Jai[1], T. Orovwighose[1], N. Jach[1], T. Schanze[2], J. Breckow[1]

[1]Institut für Medizinische Physik und Strahlenschutz (IMPS), Technische Hochschule Mittelhessen
[2]Technische Hochschule Mittelhessen

Zusammenfassung — *Die Energiesparverordnung (EnEV) sieht für Neubauten, aber auch für Altbausanierungen Obergrenzen für den Jahres-Primärenergiebedarf vor. Die hierzu erforderlichen Maßnahmen können mit einem Herabsetzen der Luftwechselrate einhergehen und somit zu einer Verschlechterung der Raumluftqualität führen [1]. Die Kenntnis der Luftwechselrate ist daher zur Beurteilung der Raumluftqualität von großer Bedeutung. Die Luftwechselrate wird neben klima- und gebäudespezifischen Aspekten wesentlich durch die Raumnutzung beeinflusst. Bisherige Methoden zur Ermittlung der Luftwechselrate erfolgen unter Prüfbedingungen, wodurch keine Berücksichtigung der Raumnutzung und somit keine Untersuchung unter Alltagsbedingungen gewährleistet werden kann.*
Im Rahmen dieses Beitrags wird eine Methode vorgestellt, die eine Ermittlung der Luftwechselrate unter Alltagsbedingungen erlaubt. Als Indikatorgas wird das natürlich in der Raumluft vorkommende Radon (^{222}Rn) verwendet. Über eine geeignete Modellbildung werden mathematische Zusammenhänge hergestellt, die es erlauben, aus diesem in der Raumluft gemessenen Verlauf der Radonkonzentration den Verlauf der Luftwechselrate zu berechnen. Durch Versuchsreihen in einer für diesen Zweck errichteten Messkammer konnte die vorgenommene Modellierung der Methode praktisch bestätigt werden. Diese Methode liefert somit ein Werkzeug, welches ohne Einschränkung der Raumnutzung aus einem gemessenen Verlauf der Radonkonzentration den Verlauf der Luftwechselrate und in einem späteren Schritt den damit korrelierten Verlauf von Schadstoffkonzentrationen ermitteln kann.

Summary — *The energy conservation regulation provides upper limits for the annual primary energy requirements for new buildings built and old building renovation. The actions required could accompany a reduction of the air change rate and cause a degradation of the indoor air quality [1]. Hence, knowledge of the air change rate is important for the estimation of the indoor air quality. In addition to climate- and building-specific aspects the air change rate is essentially affected by the user of the living quarter. Present methods for the estimation of the indoor air quality can only be effected under test conditions, whereby the influence of the user of the living quarter cannot be considered and so an estimation under daily routine cannot be ensured.*
In the context of this contribution a method is presented, that allows an estimation of the air change rate under daily routine. Radon which is a naturally occurring gas is used as an indicator. Via suitable modelling mathematical connections are established to estimate the progression of the air change rate using the measured progression of a radon concentration.

Via experimental series with the help of a for this purpose constructed measurement chamber, the realised modelling of the method could be affirmed practically. So this method provides a tool that allows the estimation of the progression of the air change rate out of the measured progression of a radon concentration and in a later step the estimation of a correlating progression of air pollutant concentrations without limitations of using the living quarter.

Schlüsselwörter *— Radon, Luftwechselrate, Luftqualität, Luftschadstoffe*
Keywords *— radon, air change rate, air quality, air pollutant*

1. Einleitung

In Mitteleuropa halten sich Erwachsene durchschnittlich 90 % des Tages in geschlossenen Innenräumen auf [2]. Dies führt dazu, dass sie einer Vielzahl an Luftschadstoffen ausgesetzt sind, welche sich in der Innenraumluft anreichern können. Allein die Anwesenheit des Menschen führt zu Emissionen von z.B. CO_2 oder Ausdünstungen. Durch Bauprodukte, Möbel und weiteren Gegenständen des täglichen Gebrauchs werden Stoffe wie flüchtige Kohlenwasserstoffverbindungen (VOC) abgegeben. Eine hohe Luftfeuchtigkeit in Innenräumen kann zu Schimmelbildung führen, welche wiederum Sporen und Allergene emittieren. Nicht zu vergessen sei an dieser Stelle das Radon, welches sich ebenfalls in der Innenraumluft anreichern und eine Gesundheitsgefährdung bedeuten kann.
Die Konzentrationen dieser Luftschadstoffe hängen zum einen von den jeweiligen Emittenten, zum anderen von der Belüftung des Raumes ab. Eine gute Belüftung und somit eine hohe Luftwechselrate sorgt dafür, dass sich die Luftschadstoffe im Innenraum nicht anreichern können und deren Konzentration auf einem niedrigen Niveau bleibt. Die Energiesparverordnung [3] sieht jedoch für Neubauten, aber auch für Altbausanierungen Obergrenzen für den Jahres-Primärenergiebedarf vor. Zur Senkung des Energieverbrauchs ist es notwendig, die Gebäudeaußenhülle stärker zu dämmen und dicht schließende Türen und Fenster einzusetzen. Dies kann zu einem Herabsetzen der Luftwechselrate führen, was wiederum eine Erhöhung des Schadstoffniveaus zur Folge haben kann. Um dies zu vermeiden, bestehen gewisse Anforderungen an die Belüftung des Gebäudes, welche durch aktive Lüftungsanlagen oder ein angepasstes Lüftungsverhalten (passives Lüften) erfüllt werden können. Aktive Lüftungsanlagen sind in der Regel geeignet, eine Erhöhung des Schadstoffniveaus zu vermeiden. Bei Anwendung des passiven Lüftens besteht jedoch eine große Abhängigkeit vom Nutzerverhalten. Wird das passive Lüften nur unzureichend betrieben, kann dies zu einer Erhöhung des Schadstoffniveaus führen.
Die Kenntnis der Luftwechselrate ist daher zur Abschätzung der Raumluftqualität von zentraler Bedeutung. Bisherige Verfahren zur Ermittlung der Luftwechselrate können allerdings nur unter Prüfbedingungen oder bei konstanter Luftwechselrate erfolgen. Eine Berücksichtigung der Raumnutzung als wichtiger Einfluss auf die Luftwechselrate kann dabei nicht erfolgen. Alternativ zu den bisherigen Verfahren wird im Folgenden eine Methode vorgestellt, welche Radon als Indikatorgas heranzieht, was eine Ermittlung von Zeitreihen der Luftwechselrate unter Alltagsbedingungen ermöglicht.

2. Modellbildung

Zur Bildung eines Modells, welches den mathematischen Zusammenhang zwischen der Luftwechselrate $k(t)$ und der Radonkonzentration $c(t)$ beschreibt, wird eine Differentialgleichung ermittelt. Hierbei wird das aus dem Erdreich und dem Baumaterial ausgasende Radon in Form der auf das Raumvolumen V normierten Radonquellstärke Q_V berücksichtigt. Der radioaktive Zerfall sorgt für einen Verlust an Radonkonzentration und wird über die differentielle Form

des Zerfallsgesetzes mit der Zerfallskonstante λ beschrieben. Zur Herstellung des Zusammenhanges zwischen der Luftwechselrate und der Radonkonzentration ist der Luftwechsel mit Zu- und Abluft aufgeführt, wobei über die Zuluft Radon aus der Außenluft mit der Konzentration c_a in den Innenraum herein und über die Abluft Radon aus der Innenluft mit der Konzentration $c(t)$ heraus getragen wird.

$$\frac{dc(t)}{dc} = Q_V - \lambda \cdot c(t) + k(t) \cdot c_a - k(t) \cdot c(t) \tag{1}$$

Aus der Lösung der Differentialgleichung 1 kann eine zeitdiskrete Gleichung erstellt werden, welche die iterative Berechnung der Radonkonzentration $c(t)$ aus der Luftwechselrate $k(t)$ erlaubt.

$$c(n) = e^{-(\lambda + k(n)) \cdot \Delta t} \cdot \left(c(n-1) - \frac{Q_V + c_a \cdot k(n)}{\lambda + k(n)} \right) + \frac{Q_V + c_a \cdot k(n)}{\lambda + k(n)} \tag{2}$$

Da Gleichung 2 jedoch nicht nach der Luftwechselrate $k(t)$ umgeformt werden kann, ist es notwendig, die in Gleichung 1 beschriebene Differentialgleichung in eine Differenzengleichung zu überführen. Diese kann wiederum nach der zeitdiskreten Luftwechselrate k(n) umgeformt werden.

$$k(n) = \frac{\frac{c(n+1) - c(n)}{\Delta t} - Q_V + \lambda \cdot c(n)}{c_a - c(n)} \tag{3}$$

Für $c(n)$ können Messwerte der Radonkonzentration eingesetzt werden, welche mit einem Messintervall von Δt aufgenommen wurden. Die Radonquellstärke Q_V wird vor Beginn der Langzeitmessung über ein hierfür entwickeltes Verfahren bestimmt [4]. Je nach Konstanz der Radonquelle kann dies in regelmäßigen Zeitabständen wiederholt werden. Die Außenkonzentration c_a kann entweder als konstant angenommen werden oder über eine eigene Messreihe $c_a(n)$ in die Gleichung eingehen.
Die Gleichungen 2 und 3 liefern somit die Werkzeuge zur Berechnung von Zeitreihen der Luftwechselrate aus der Radonkonzentration und der Radonkonzentration aus der Luftwechselrate.

3. Ergebnisse

Im Rahmen dieses Beitrags werden theoretische Testverläufe verwendet. Hierzu wird zunächst ein diskreter Verlauf der Luftwechselrate generiert, welcher zu Testzwecken einem Cosinus-Verlauf mit zunehmender Frequenz folgt. Unter Annahme eines Anfangswertes der Radonkonzentration und der Werte für die Parameter Q_V, c_a und λ wird über Gleichung 2 der resultierende Verlauf der Radonkonzentration berechnet (siehe Abbildung 1).

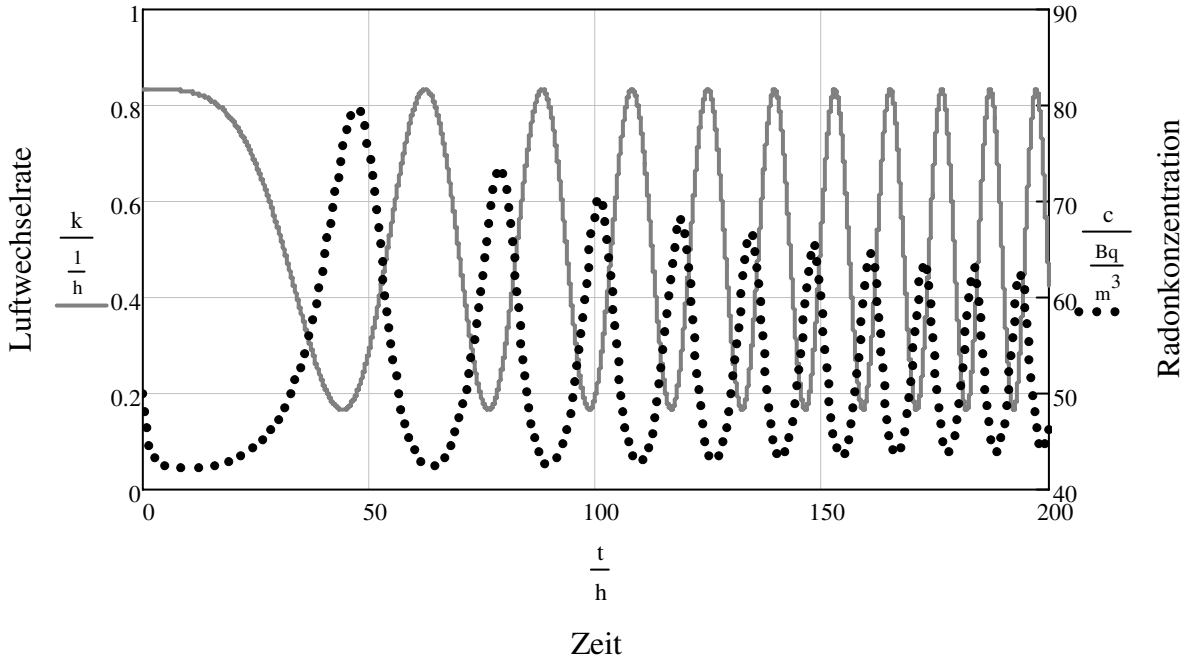


Abb. 1: Berechnung des Verlaufs der Radonkonzentration mit Vorgabe eines Verlaufs der Luftwechselrate

Abbildung 1 zeigt deutlich das Tiefpassverhalten der Radonkonzentration bei Reaktionen auf Änderungen der Luftwechselrate, da mit zunehmender Frequenz die Amplitude abnimmt. Über Gleichung 3 wird aus dem Verlauf der Radonkonzentration der Verlauf der Luftwechselrate rekonstruiert. Abbildung 2 zeigt den Vergleich der rekonstruierten zur vorgegebenen Luftwechselrate.

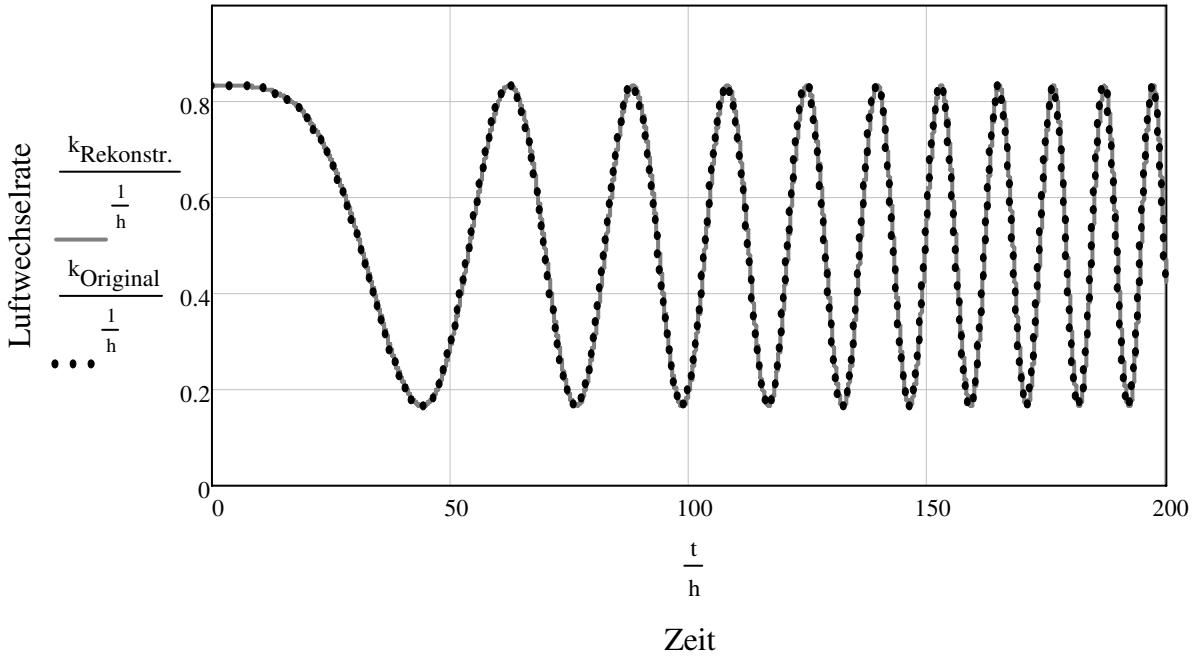


Abb. 2: Vergleich der Rekonstruktion des Luftwechselratenverlaufs aus dem Verlauf der Radonkonzentration mit dem vorgegebenen Verlauf der Luftwechselrate

Abbildung 2 zeigt, dass der vorgegebene Verlauf der Luftwechselrate exakt rekonstruiert werden kann.

4. Diskussion

Mit Hilfe der vorgestellten Methode können zeitliche Verläufe der Radonkonzentration und der Luftwechselrate ineinander umgerechnet werden. Den Kern der Methode stellt die Ermittlung des Verlaufs der Luftwechselrate aus einem gemessenen Verlauf der Radonkonzentration dar. Im Gegensatz zu bisher zur Verfügung stehenden Methoden, welche keine zeitliche Auflösung der Luftwechselrate erlauben oder unter Prüfbedingungen erfolgen müssen, liefert die vorliegende Methode die zeitliche Auflösung der Luftwechselrate und eine Anwendung unter Alltagsbedingungen. Die Raumnutzung, welche einen wichtigen Einfluss auf die Luftwechselrate besitzt, kann komplett berücksichtigt werden. Einzig die Ermittlung der Radonquellstärke des zu untersuchenden Raumes erfolgt unter Prüfbedingungen [4].
Bei den in diesem Beitrag dargestellten Verläufen der Luftwechselrate und der Radonkonzentration handelt es sich um theoretische Verläufe. Bei der Verwendung von realen Radon-Messsignalen bestehen bedingt durch den statistischen Charakter der Radon-Messung gewisse Anforderungen an das Messsignal und die Verarbeitung der Messdaten. Diese Aspekte werden neben den daraus resultierenden Begrenzungen der Methode bei Anwendung realer Messsignale in [4] behandelt.

5. Ausblick

Zur Herstellung eines Bezuges zur Qualität der Innenraumluft sollen mathematische Zusammenhänge der Luftwechselrate zu diversen Luftschadstoffen hergestellt werden. Hierbei kann es sich um beliebige Luftschadstoffe handeln, wie z.B. flüchtige Kohlenwasserstoffverbindungen (VOC), Formaldehyd oder CO_2. Zur jeweiligen Modellbildung soll das in dieser Arbeit vorgestellte Modell herangezogen und je nach Schadstoff angepasst werden. Stehen zur Berechnung diverser Schadstoffkonzentrationen geeignete Modelle zur Verfügung, wird folgende Vorgehensweise angewandt. Zunächst wird nach der in dieser Arbeit vorgestellten Methode die Luftwechselrate aus der Radonkonzentration berechnet. In einem weiteren Schritt können über die jeweiligen Modelle Schadstoffkonzentrationen berechnet werden. Eine repräsentative Wahl der zu betrachtenden Schadstoffe kann schließlich eine Beurteilung der Qualität der Innenraumluft ermöglichen.
Die Modellbildung zur Berechnung einer Schadstoffkonzentration aus der Luftwechselrate bedarf eines hohen Aufwandes, da bei einer Vielzahl an Schadstoffen Wechselwirkungen zu anderen Stoffen und zu Klimaparametern bestehen. Sie soll daher nur für eine Auswahl der wichtigsten Luftschadstoffe erfolgen und somit in erster Linie dazu dienen, Werkzeuge zu liefern, welche nach Bedarf auf frei wählbare Schadstoffkombinationen angewendet werden kann.

6. Literaturverzeichnis

[1] Bau- und Umweltchemie Beratungen + Messungen AG, LIMOTEV - Luftqualität in Wohnbauten mit tiefem Energieverbrauch, Zürich, 2008

[2] Umweltbundesamt, Gesundheit und Umwelthygiene - Richtwerte für die Innenraumluft, 07.05.2012, abrufbar im Internet:
http://www.umweltbundesamt.de/gesundheit/innenraumhygiene/richtwerte-irluft.htm

[3] Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung, Verordnung über energiesparenden Wärmeschutz und energiesparende Anlagentechnik bei Gebäuden (Energieeinsparverordnung EnEv), Berlin, 2009

[4] T. Azzam Jai, F. A. Rößler, V. Ehret, H. Hingmann, T. Orovwighose, N. Jach, T. Schanze, J. Breckow: Systemtheoretischer Ansatz für ein Rekonstruktionsverfahren zur Ermittlung von Luftwechselraten aus Messdaten zur Radonaktivitätskonzentration, Tagungsband der 44. Jahrestagung des Fachverbandes für Strahlenschutz, Karlsruhe, 2012

[5] Gertis, K.: Radon in Gebäuden, Frauenhofer IRB Verlag, Stuttgart, 2008

SYSTEMTHEORETISCHER ANSATZ FÜR EIN REKONSTRUKTIONS-VERFAHREN ZUR ERMITTLUNG VON LUFTWECHSELRATEN AUS MESSDATEN ZUR RADONAKTIVITÄTSKONZENTRATION

SYSTEMS THEORY APPROACH FOR A RECONSTRUCTION METHOD TO ESTIMATE THE RATE OF AIR CHANGE BY MEASURING THE INDOOR RADON CONCENTRATION

T. Azzam Jai[1], F. A. Rößler[1] , V. Ehret[1], H. Hingmann[1], T. Orovwighose[1], N. Jach[1], T. Schanze[2], J. Breckow[1]

[1.] Institut für Medizinische Physik und Strahlenschutz (IMPS), Technische Hochschule Mittelhessen
[2.] Technische Hochschule Mittelhessen

Zusammenfassung — *Energiesanierungsmaßnahmen an Gebäuden können zu einer Beeinträchtigung der Raumluftqualität führen. Als Teil des Gesamtprojekts zur Ermittlung der Luftwechselrate aus Messungen der Radon-Aktivitätskonzentration in Innenräumen wird ein systemtheoretischer Ansatz zum Einsatz gebracht, der es erlaubt, aus dem gemessenen zeitlichen Verlauf der Radon-Aktivitätskonzentration unter Alltagsbedingungen die Luftwechselrate zu bestimmen und in einen Zusammenhang mit der Raumluftqualität zu bringen. Die Ermittlung der Luftwechselrate erfolgt in zwei Schritten. Im ersten Schritt wird möglichst bei niedriger und konstanter Luftwechselrate in einer Initialmessung mit einer Dauer von wenigen Stunden die Radonquellstärke ermittelt, welche die vollständige Charakterisierung des zu untersuchenden Raumes darstellt. Im zweiten Schritt erfolgt mithilfe eines Rekonstruktionsverfahrens [1] die Ermittlung der Luftwechselrate aus einer Langzeitmessung der Radonkonzentration unter Alltagsbedingungen.*
Im Rahmen dieses Beitrages wird ein numerisches Verfahren entwickelt, das mithilfe von systemtheoretischen Überlegungen eine effiziente Quellstärkenbestimmung und die möglichst rauschfreie Rekonstruktion der Luftwechselrate aus einem in der Raumluft gemessenen Verlauf der Radonkonzentration ermöglicht. Die zentralen Herausforderungen dabei sind zum einen das Erkennen und Hervorheben von relevanten Signalmerkmalen und zum anderen die Wahl geeigneter Filter zur Unterdrückung von Artefakten und Signalrauschen. Diese Methode konnte durch Versuchsreihen in einer errichteten Messkammer praktisch verifiziert werden, und liefert somit ein Werkzeug, welches die Ermittlung des Verlaufs der Luftwechselrate aus beliebigen verrauschten Messungen des Radonkonzentrationsverlaufs ermöglicht.

Summary — *Energy renovation works on buildings can cause disturbance of the indoor air quality. As part of the whole project to determine the rate of air change from measurements of radon concentration, a system-theoretical approach is developed, which makes it possible to determine the rate of air exchange from the measured temporal course of the radon activity concentration under everyday conditions, and bring it in connection with the indoor air quality. The determination of the rate of air exchange can be accomplished in two steps. The first step is an initial measurement of a few hours to calculate the radon source strength by low and constant air change rate. The radon source strength contains the complete characterization of the examination area. In the second step, using the reconstruction method [1], the rate of air change can be determinate from a long term measurement of radon concentration occurring under everyday conditions.*

In the context of this paper, a numerical method is developed using the system-theoretical considerations, which determine an efficient source strength and reconstructs the rate of air change from the measured radon concentration course as noiseless as possible. The main challenges here are, identifying and highlighting relevant signal characteristics and the suitable choice of filter for suppression of artifacts and signal noise. This method could be verified by practical experiments in a constructed test chamber, and thus delivers a tool to determine the course of the air exchange rate from diverse noisy measurements of radon concentration course.

Schlüsselwörter *— Radon, Radonquelle, Luftwechselrate, Luftqualität*
Keywords *— radon, radon source, air change rate, air quality*

1. Einleitung

Als Teil des Gesamtprojekts zur Ermittlung der Luftwechselrate aus Messungen zur Radon-Raumluftkonzentration wird hier ein systemtheoretischer Ansatz vorgestellt, der es erlaubt, aus dem gemessenen zeitlichen Verlauf der Radon-Aktivitätskonzentration unter Alltagsbedingungen die Luftwechselrate zu bestimmen. Dies erfolgt in mehreren Schritten. Erstens wird eine Quellstärkenbestimmung bei möglichst niedriger und konstanter Luftwechselrate durchgeführt. Zweitens wird das Nutzsignal zur Radonkonzentration von den Rohdaten extrahiert und durch geeignete Filterfunktionen vom Rauschanteil gefiltert. Am Ende wird mittels des hierfür entwickelten Rekonstruktionsverfahrens [1] eine Verknüpfung der Radonkonzentration als Eingangssignal und der Luftwechselrate als Ausgangssignal hergestellt. Ziel dieser vorgestellten Methode ist, eine möglichst genaue Ermittlung der Radon-Quellstärke und eine möglichst rauschfreie Rekonstruktion der Luftwechselrate aus dem verrauschten Langzeit-Messsignal der Radonkonzentrationen zu gewährleisten.
Zur praktischen Überprüfung der erstellten Methode, werden Messungen in einer Messkammer vorgenommen, die der Größenordnung eines realen Raums nahe kommt. Die Messkammer ist mit einer programmierbaren Lüftersteuerung ausgestattet, welche die Realisierung frei wählbarer Verläufe der Luftwechselrate ermöglicht. Der theoretische Ansatz für die Rekonstruktion der Luftwechselraten aus der Radonkonzentration ist in [1] beschrieben.

2. Ermittlung der Radonquellstärke

Bis auf die auf das Raumvolumen V normierte Radonquellstärke Q_V sind alle Parameter bekannt bzw. messtechnisch zugänglich. Die auf das Raumvolumen V normierte Radonquellstärke Q_V stellt die vollständige Charakterisierung des Raumes dar. Sie kann über die Aufnahme einer Sättigungskurve der Radonkonzentration ermittelt werden, indem zunächst durch Erhöhung der Luftwechselrate (passives oder aktives Lüften) die Radonkonzentration im Gebäudeinnerem auf Werte nahe der Radonaußenkonzentration gesenkt wird. Anschließend wird die Luftwechselrate wieder abgesenkt (Beenden der „Lüftungssituation“), was zu einem erneuten Aufbau der Radonkonzentration führt und somit eine Sättigungskurve liefert, welche unter Gewährleistung einer möglichst konstanten Luftwechselrate einem Exponentialverlauf folgt. Diese Sättigungskurve wird mit einem Radonmonitor aufgezeichnet. Durch Anwendung des Levenberg-Marquardt-Algorithmus werden die Zeitkonstante τ, die Anfangskonzentration c_0 und die Sättigungskonzentration $c(\infty)$an folgende Fit-Funktion angepasst:

$$c(t) = e^{\frac{-t}{\tau}}.(c_0 - c(\infty)) + c(\infty) \qquad (1)$$

Für die Berechnung der Radonquellstärke werden die so ermittelte Zeitkonstante τ und die Sättigungskonzentration $c(\infty)$ herangezogen.
Aus der Lösung der Differentialgleichung (2) aus [1] kann folgender Zusammenhang hergeleitet werden:

$$\frac{dc(t)}{dc} = Q_V - \lambda \cdot c(t) + k(t) \cdot c_a - k(t) \cdot c(t) \tag{2}$$

und über die angepasste Fit-Funktion (1) kann schließlich die auf das Raumvolumen V normierte Radonquellstärke Q_V berechnet werden:

$$Q_v = \frac{c(\infty)}{\tau} - c_a \cdot (\frac{1}{\tau} - \lambda) \tag{3}$$

Unter Verwendung der über Gleichung (1) ermittelten Fit-Parameter τ und $c(\infty)$ und der konstanten Parameter λ und c_a kann über diesen Zusammenhang die auf das Raumvolumen normierte Radonquellstärke Q_V berechnet werden, welche die vollständige Charakterisierung des zu untersuchenden Raumes darstellt.

3. Ermittlung der Luftwechselrate aus beliebigen Langzeitmessungen der Radonkonzentration

Der theoretische Ansatz zur Ermittlung der Luftwechselrate aus Radonkonzentrationsverläufen ist nach [1] durch Gleichung 4 beschrieben.

$$k(n) = \frac{\frac{c(n+1) - c(n)}{\Delta t} - Q_V + \lambda \cdot c(n)}{c_a - c(n)} \tag{4}$$

Da das Radonmesssignal durch den statistischen Charakter der Radonmessung einem Rauschen unterworfen ist, und da die die Luftwechselrate durch dieses Messsignal ermittelt wird, ist ein systemtheoretischer Ansatz zur Filterung des Messsignals notwendig. Diese Filterung kann mithilfe von Fensterfunktionen (Rechteck-, Hamming-, Hanningfenster, etc…) in vier Schritten durchgeführt werden. Erstens wird das Messsignal durch das sogenannte „zero-padding“ mit Nullen angefügt, so dass dessen Länge mit der Länge der Fensterfunktion übereinstimmt. Zweitens wird das aus dem ersten Schritt ergebene Signal durch die Fourier-Transformation in den Frequenzbereich überführt. Drittens wird das aus der Fourier-Transformation resultierte Spektrum mit einer Fensterfunktion multipliziert. Zum Schluss wird das Ergebnis durch inverse Fourier-Transformation wieder in den Zeitbereich transformiert. Um eine möglichst effiziente Filterung ohne Verlust der Signalmerkmale zu realisieren, spielt bei diesem Filterungsvorgang die beste Wahl der geeigneten Fensterfunktion und deren Breite eine große Rolle. Diese Wahl hängt von dem Spektrum des Messsignals ab. Der Verlauf der Luftwechselrate kann schließlich durch die Rekonstruktion der gefilterten Daten der Radonkonzentration durch die Gleichung 4 berechnet werden.

Ergebnisse

Zur praktischen Überprüfung des erstellten Modells wurden Messungen in einer Messkammer mit einem Volumen von *10,4 m³* vorgenommen. Mit einer Lüftersteuerung können beliebige Verläufe der Luftwechselrate auf die Messkammer gegeben werden. Als Radonquelle dient

Uranerz mit einer über Gleichung 3 ermittelten Quellstärke von $Q_V = 671{,}1\ Bq \cdot h^{-1} \cdot m^{-3}$. Im Folgenden Beispiel wurde ein Cosinus-Verlauf mit zunehmender Frequenz der Luftwechselrate gewählt. Den daraus resultierenden Verlauf der Radonkonzentration in der Messkammer zeigt Abbildung 1. Zur Filterung des gemessenen Radonkonzentrationsverlaufs wird eine Rechteckfunktion mit der Breite 512 Samples verwendet, welches die hochfrequenten Rauschanteile eliminiert.
Zur Rekonstruktion der Luftwechselrate aus dem gefilterten Verlauf der gemessenen Radonkonzentration wird durch Anwendung von Gleichung 4 iterativ der Verlauf der Luftwechselrate berechnet und in Abbildung 2 dargestellt.

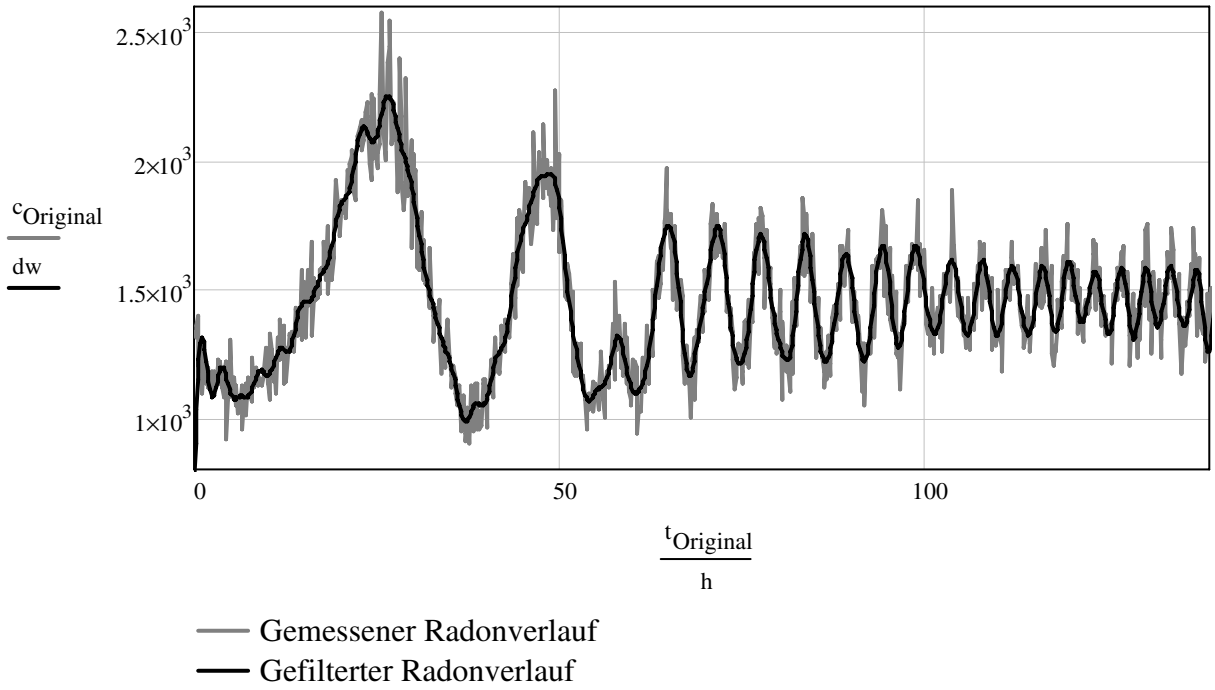


Abbildung 1: Gemessene Radonkonzentration in der Messkammer mit gefiltertem Verlauf nach Anwendung einer Fensterfunktion der Breite 512 Samples

Die Filterung führt zu einer Glättung des Rauschens, aber andererseits zu einer minimalen Vernichtung des Nutzsignals. Der rekonstruierte Verlauf der Luftwechselrate nähert sich in diesem Beispiel dem gemessenen Verlauf an.

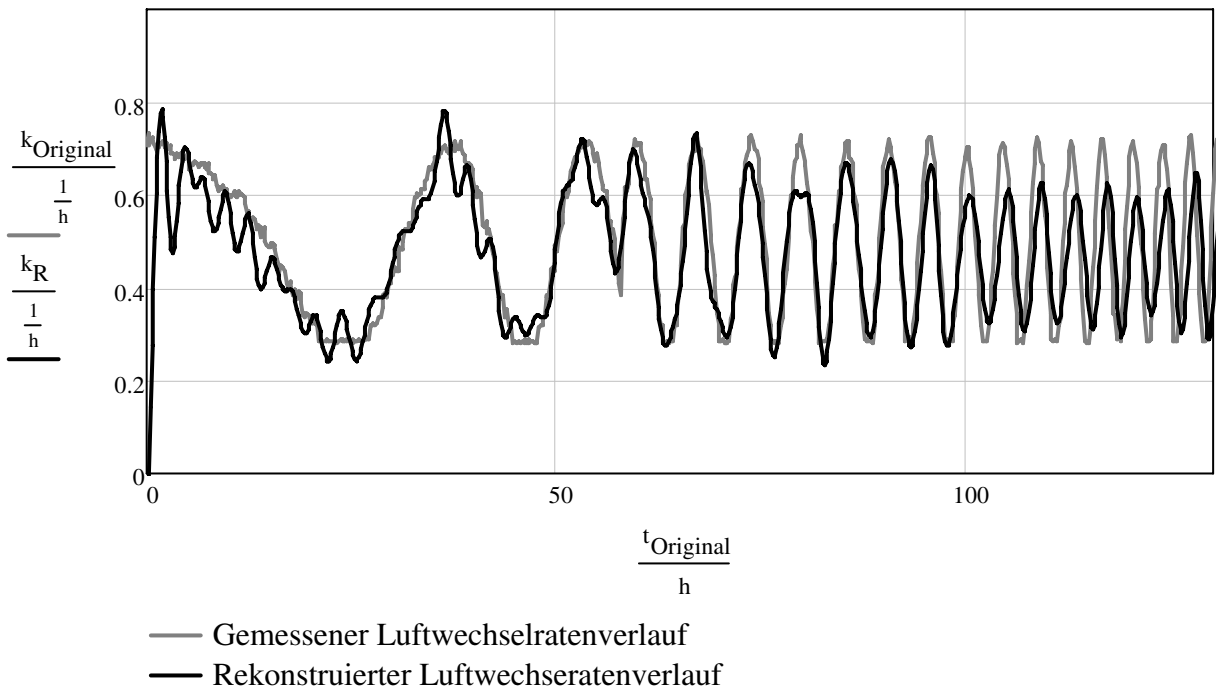


Abbildung 2: Vergleich des Rekonstruierten Luftwechselratenverlaufs aus dem Verlauf der Radonkonzentration mit dem vorgegebenen Luftwechselratenverlauf

4. Diskussion

An die in einem zu untersuchenden Raum vorzufindende Radonkonzentration bestehen gewisse Anforderungen, welche eventuelle Begrenzungen der Methoden beschreiben. Bei der Ermittlung der Radonquellstärke muss eine ausreichend hohe Sättigungskonzentration erreichbar sein, so dass eine auflösbare Sättigungskurve messbar wird. Kann keine Sättigungskurve aufgelöst werden, so ist auch eine Ermittlung der Radonquellstärke unmöglich. Bei Langzeitmessungen bestehen ähnliche Begrenzungen. Liegt eine zu geringe Radonkonzentration vor, so entstehen aufgrund des starken statistischen Rauschens Schwierigkeiten zum einen bei der Filterung des Messsignals und zum anderen bei der Rekonstruktion der Luftwechselrate. Eine Anwendung der Methode bei einem geringen Niveau der Radonkonzentration muss zunächst erprobt werden. Die Filterung des Messsignals durch geeignete Fensterfunktion führt nicht nur zu einer Eliminierung des Hochfrequenten Rauschanteils, sondern auch zu einer minimalen Eliminierung des Nutzsignals. Dies führt dazu, dass sich das rekonstruierte Signal dem Messsignal annähert.

5. Ausblick

Je höher die Leistungsfähigkeit der Filterung erfolgen kann, desto exakter erfolgt die Rekonstruktion der Luftwechselrate. Aus der Leistungsfähigkeit der Filterung ergeben sich des Weiteren Anforderungen an das Niveau der vorzufindenden Radonkonzentration. Eine geringe Radonkonzentration kann dazu führen, dass zum einen die Radonquellstärke nicht ermittelt und zum anderen aufgrund des statistischen Rauschens der Radon-Messwerte die Luftwechselrate nicht rekonstruiert werden kann. Diese Anforderungen an das Niveau der Radonkonzentration sollen über weitere Messungen an der Messkammer untersucht werden. Dies wird unter Abstimmung mit der Integrationszeit der Radonmessung und der daraus resultierenden Zeitauflösung der rekonstruierten Luftwechselrate erfolgen. Weitere genaue Betrachtung benötigt die Konstanz der Radonquellstärke. Da die Radonquelle in der

Messkammer nur wenigen klimatischen Schwankungen unterworfen ist, kann eine Untersuchung auf Konstanz nur in tatsächlichen Wohnräumen untersucht werden. Dieser Sachverhalt soll ebenfalls geklärt werden.

6. Literaturverzeichnis

[1] F. A. Rößler, T. Azzam Jai, V. Ehret, H. Hingmann, T. Orovwighose, N. Jach, T. Schanze, J. Breckow: Modellierung der Systemeigenschaften von Wohnräumen bzgl. Luftwechselraten und Radonkonzentrationen, Tagungsband der 44. Jahrestagung des Fachverbandes für Strahlenschutz, Karlsruhe, 2012

QUALITÄTSSICHERUNG IN DER AUSSCHEIDUNGSANALYTIK

QUALITY ASSURANCE IN EXCRETION ANALYSIS

M. Froning[1], U. Gerstmann[2], M. Hartmann[3], M. Zoriy[1]

[1]Forschungszentrum Jülich GmbH, D-52425 Jülich
[2]Bundesamt für Strahlenschutz, D-85762 Oberschleißheim
[3]Bundesamt für Strahlenschutz, D-10318 Berlin

Zusammenfassung
Gemäß der "Richtlinie für die physikalische Strahlenschutzkontrolle zur Ermittlung der Körperdosis Teil 2" („RiPhyKo2") [1] ist die Richtigkeit und Präzision von Ausscheidungsmessergebnissen durch systematische Qualitätssicherung (QS) und –Kontrolle der analytischen Messverfahren durch laborinterne Eigenkontrollen sowie durch Teilnahme an laborexterne Kontrollen nachzuweisen. Die Teilnahme an diesen QS Maßnahmen hat in den letzten Jahren an Bedeutung zu genommen. Für akkreditierte Prüflaboratorien ist die Teilnahme an Ringversuchen ein wesentlicher Punkt in ihrer Bewertung. Beispiele interner und externer QS-Maßnahmen werden präsentiert und der daraus resultierende Verbesserungsprozess diskutiert.

Summary
According to the German Guideline on physical supervision of radiation protection in evaluating body dose Part 2 ("RiPhyKo") systematic quality assurance (QA) and -control of testing methods of the incorporation monitoring consists of continuous measures to the internal quality assurance and additional measures like e.g. laboratory-external controls.
Participation performed by laboratory intercomparisons – proficiency tests and own-checking – increase in importance in recent years. Proof of participation in interlaboratory tests is a key point in the evaluation of the test laboratory for accredited laboratories.

Examples of the internal and external quality assurance measures will be presented.

Schlüsselwörter: *Qualitätssicherung, Ausscheidungsanalytik, Akkreditierung*
Keywords: *quality assurance, excretion analysis, accredition*

1. Einleitung

Hohe Qualitätsanforderungen an Messverfahren wie auch die Absicherung und Rückverfolgbarkeit von Prüfergebnissen erfordern eine systematische Qualitätssicherung. Eine wichtige Anforderung für behördlich bestimmte Inkorporationsmessstellen in Deutschland ist die Durchführung von Qualitätssicherung (QS) und -Kontrolle von Prüfverfahren. Entsprechend der Richtlinie für die physikalische Strahlenschutzkontrolle zur Ermittlung der Körperdosis Teil 2 („RiPhyKo2") [1] betreiben Inkorporationsmessstellen ein Qualitätsmanagementsystem (QMS).

Ein Qualitätsmanagementsystem lenkt die Führungsaufgaben, die alle Maßnahmen zur Verbesserung der Qualität von Prüfergebnissen sicherstellt. Mit einem Qualitätsmanagementsystem sind somit Qualitätsanforderungen vorgegeben. Unter anderem

weist eine Inkorporationsmessstelle durch Teilnahme an den Maßnahmen zur Qualitätssicherung gegenüber den zuständigen Behörden ihre Eignung nach.

2. Qualitätssichernde Maßnahmen

Nach der RiPhyKo2 [1] haben behördlich bestimmte Inkorporationsmessstellen ihre fachliche und organisatorische Kompetenz durch eine Akkreditierung gemäß DIN EN ISO/IEC 17025:2005 (Allgemeine Anforderungen an die Kompetenz von Prüf- und Kalibrierlaboratorien) [2] nachzuweisen.

Ein wesentlicher Punkt der Akkreditierung ist die Qualitätssicherung der Prüfergebnisse. Dies erfolgt u. a. durch die Teilnahme an Ringversuchen.

Die systematische Qualitätssicherung und -Kontrolle von Prüfverfahren der Ausscheidungsüberwachung umfasst vielseitige Aufgaben. Die durchzuführenden kontinuierlichen Maßnahmen zur Qualitätssicherung bestehen aus laborinternen und -externen Kontrollen.

2.1 Externe Qualitätskontrollen

Laborexterne Maßnahmen der QS sind erforderlich, da z. B. Feststellung von laborinternen systematischen Abweichungen durch alleinige Durchführung von laborinternen Maßnahmen nicht erkannt werden können. Mit der Teilnahme an Ringversuchen wird die Qualität eines Prüflaboratoriums extern überwacht und dokumentiert.

2.1.1 Ringversuche des Bundesamtes für Strahlenschutz

Auf nationaler Ebene wurden bereits sehr früh vom *Arbeitskreis Inkorporationsüberwachung* des Fachverbandes für Strahlenschutz (AKI) Ringversuche für die Ausscheidungsanalytik organisiert. Diese Aufgabe wurde mit Inkrafttreten der Anforderungsrichtlinie im Jahr 1996 von der *Leitstelle Inkorporationsüberwachung des Bundesamtes für Strahlenschutz (BfS)* übernommen.

Behördlich anerkannte Inkorporationsmessstellen müssen entsprechend der RiPhyKo2 [1] an den vom BfS angebotenen Ringversuchen teilnehmen. Zur Bewertung der Genauigkeit der Messergebnisse sind in der RiPhyKo2 Testkriterien vorgegeben.

Die seit 2007 bis 2012 durchgeführten Ringversuche der Ausscheidungsanalytik sind in Tabelle 1 zusammengefasst.

Die Auswertung der durchgeführten Ringversuche zeigt, dass die Mehrheit der teilnehmenden Prüflaboratorien die Testkriterien erfüllen.

Tab. 1: Zusammenfassung der Ringversuche (2007 bis 2012) der Ausscheidungsanalytik der Leitstelle für Inkorporationsüberwachung des Bundesamt für Strahlenschutz

Jahr	Nuklid	Matrix	Anzahl der Teilnehmer (behördlich best. Messstellen)	Auswertung nach RiPhyKo2	
				Probe 1	Probe 2
2007	^{241}Am	Stuhl	14 (7)	Kriterien erfüllt	
	$^{239/240}$Pu	Stuhl	14 (7)	1 x B_j> -0,25	1 x B_j> -0,25
2009	^{232}Th	Urin	13 (8)	1 x B_j> -0,25	2 x B_j> -0,25
	^{230}Th	Urin	13 (8)	3 x B_j> -0,25 1 x B_j> +0,5	3 x B_j> -0,25
	^{228}Th	Urin	13 (8)	3 x B_j> -0,25 1 x B_j> +0,5	1 x B_j> -0,25
	^{224}Cm	Urin	12 (7)	3 x B_j> -0,25	4 x B_j> -0,25
2011				*Probe 3*	*Probe 4*
	^{238}U	Urin	11 (7)	Kriterien erfüllt	
	^{234}U	Urin	11 (7)	Kriterien erfüllt	
	^{235}U	Urin	11 (7)	1 x B_j> -0,25	Kriterien erfüllt
2012	^{14}C	Urin	15 (10)	Kriterien erfüllt	

Beispielhaft sind in Abbildung 1 die Auswerteergebnisse des Ringversuchs 2012 (C-14 in Urin) dargestellt.

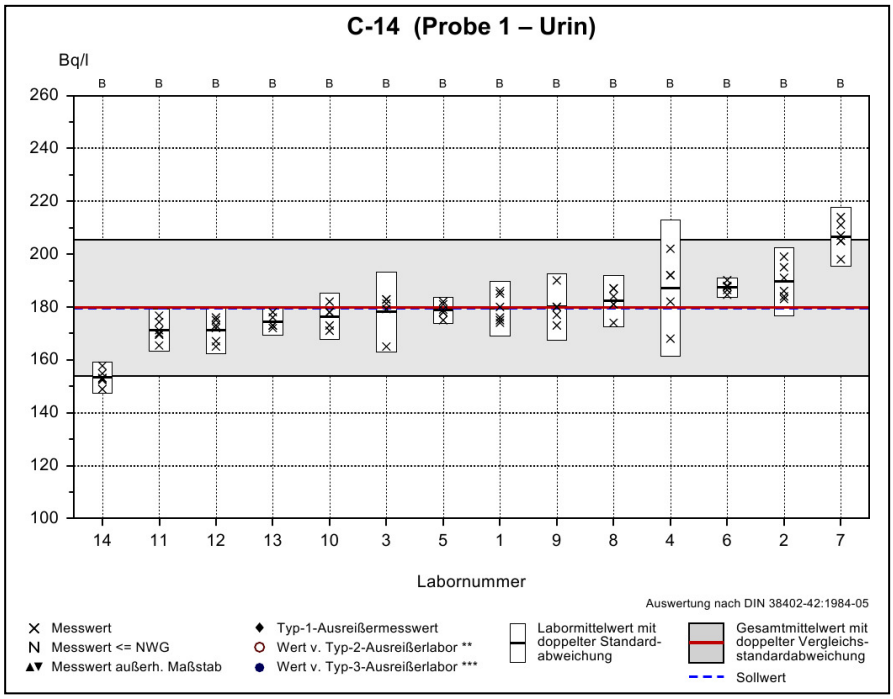


Abb. 1: Auswerteergebnisse RV 2012 C-14 in Urin (Probe 1)

2.1.2 Internationale qualitätssicherende Maßnahmen

International werden von verschieden Stellen ebenfalls Ringversuche angeboten, z. B. von der IAEA. Auf europäischer Ebene sind die von PROCORAD jährlich durchgeführten Ringversuche hervorzuheben *[3]*. Tabelle 2 zeigt eine entsprechende Übersicht. Abgerundet werden diese Ringversuche durch einen begleitenden Workshop.

Tab. 2: Ringversuche 2012 Ausrichter PROCORAD

Ringversuch	Matrix	Anzahl der Teilnehmer
Uran (massenspektrometrisch)	Urin	23
Uran	Urin	je nach Isotop 31-36
Po-210	Urin	20
Sr-90	Urin	26
Aktinide	Urin	je nach Nuklid 26-35
Pu-Isotop	Referenzlösung	29
Aktinide	Stuhlasche	je nach Nuklid 11-32
H-3	Urin	40
C-14	Urin	26
Alphaspektrometrische Auswertung	Spektren	je nach Nuklid 7-19
„Surprise“	Urin	je nach Nuklid 9-26
Gamma-Emitters	Urin	je nach Nuklid 21-45

2.2 Laborinterne Qualitätskontrollen

Unter laborinternen Maßnahmen der QS versteht man Tätigkeiten, die ohne Kontrolle von externen Sachverständigen im eigenen Laboratorium durchgeführt werden. Dies sind u. a. Funktionskontrollen von Messsystemen, regelmäßige Durchführung von Untergrundmessungen und Energiekalibrierungen sowie Blindwertkontrollen der eingesetzten Chemikalien. Die laborinternen Maßnahmen der QS dienen gleichzeitig als Eigenkontrolle zur verifizierenden Überprüfung des gesamten Messverfahrens.

2.2.1 Methodenbeschreibung von Prüfverfahren

Neben den Dokumentationen des Proben- und Probandeneingangs und der Probenbearbeitung sind detaillierte aktuelle Methodenbeschreibungen der Prüfverfahren von Wichtigkeit. Die Durchführung, Reproduzierbarkeit, Richtigkeit und Darstellung von Messergebnissen bis hin zu den dosimetrischen Berechnungen der Körperaktivität werden dokumentiert. Kriterien wie Selektivität, Nachweisgrenze, Messunsicherheit der Prüfverfahren sind einzuhalten. Diese QS-Maßnahmen lenken und sichern die nach Norm geforderte Rückverfolgbarkeit.

2.2.2 Funktionskontrolle eines Messsystems

Die regelmäßigen Funktionskontrollen eines Messsystems sind weitere wesentliche QS-Maßnahmen. Sie dienen der Kontrolle und Dokumentation des technischen Gerätezustandes. Von einfach durchzuführenden Temperaturkontrollen, Überprüfung von Vakuumpumpen bis hin zur (zeitlich aufwändigen) regelmäßigen Überprüfung von Untergrundmessungen umfassen diese Kontrollen ein breites Spektrum.

2.2.3 Verwendung von internen Standards und Referenzmaterialien

Die messtechnische Rückführung erfolgt durch Kalibrierung der Messsysteme mit zertifizierten Referenzmaterialien, Prüfquellen oder radiochemischen Tracerlösungen. In diesen Materialien sind sowohl die spezifischen Aktivitäten bekannt als auch die Messunsicherheiten angegeben. Sie lassen sich auf ein nationales bzw. internationales Normal rückführen. Durch Verwendung solcher Materialien können gleichzeitig auch regelmäßige verifizierende Überprüfungen des gesamten Messverfahrens durchgeführt werden.

2.2.4 Intermethodenvergleich

Eine weitere laborinterne Maßnahme der QS in der Ausscheidungsanalytik ist die Durchführung von internen Laborvergleichsmessungen. Die Durchführung solcher Laborvergleichsmessungen ist zugleich ein wesentlicher Punkt bei der Entwicklung und Validierung von Prüfverfahren.

3. Resümee

Die Maßnahmen zur Qualitätssicherung bei Ausscheidungsüberwachungen sind mit einem hohen technischen und organisatorischen Aufwand verbunden. Dieser ist gerechtfertigt durch die

- die kontinuierliche Aufrechterhaltung und Verbesserung des Qualitätsniveaus,
- die Sicherstellung der Zuverlässigkeit der eingesetzten Prüfmethoden,
- den von der DIN EN ISO/IEC 17025 und der RiPhyKo geforderten Kompetenznachweis sowie
- eine hohe Kundenzufriedenheit bei internen und externen Auftraggebern.

Mit Teilnahme an Ringversuchen dokumentiert ein Prüflabor die Qualität seiner Messergebnisse nach außen. Die Häufigkeit von Ringversuchen der *Leitstelle Inkorporationsüberwachung des Bundesamtes für Strahlenschutz* sind in der Regel ≤ 1 pro Jahr. Zusätzlich kann ein Ausscheidungsmesslabor an der Ringversuchen eines externen Ausrichters z. B. *PROCORAD* mit dem umfangreichen Angebot von Ringversuchen mit typischen interessanten Radionukliden zur Verifizierung seiner Prüfmethoden teilnehmen. Die Erfahrungen der vergangenen Jahren zeigen, dass die Einführungen von umfangreichen Maßnahmen zur Qualitätssicherung zu einer kontinuierlichen Entwicklung zur Qualität der Messergebnisse beigetragen haben.

4. Literaturverzeichnis

[1] GMBL 2007 Nr. 31/32: Richtlinie für die physikalische Strahlenschutzkontrolle zur Ermittlung der Körperdosis Teil 2: Ermittlung der Körperdosis bei innerer Strahlenexposition (Inkorporationsüberwachung)

[2] DIN EN ISO/ IEC 17025:2005. Allgemeine Anforderungen an die Kompetenz von Prüf- und Kalibrierlaboratorien

[3] Ringversuchsauswertung PROCORAD 2012 (Workshop 20.06.2012-22.06.2012 Antibes)

[4] PROCORAD: http://www.procorad.org (Stand Juni 2012)

EINE FALLSTUDIE ZUR INTERNEN DOSIMETRIE NACH INHALATION VON UF_6

A CASE STUDY OF INTERNAL DOSIMETRY AFTER INHALATION OF UF_6

M. Froning, P. Hill

Forschungszentrum Jülich GmbH, D-52425 Jülich

Zusammenfassung
In einer kerntechnischen Anlage kam es zu einer Freisetzung von UF_6, dabei wurde ein Mitarbeiter kontaminiert. Umfangreiche Inkorporationsüberwachungen mittels Urin und Stuhl sowie Messungen von Blut, Schnäuz- und Sputumproben auf ^{234}U, ^{235}U und ^{238}U wurden über einen Zeitraum von etwa 4 Wochen durchgeführt. In dieser Fallstudie wird der Ablauf der Inkorporationsüberwachung dargestellt. Die dosimetrische Bewertung wird präsentiert. Es zeigt sich, dass für die Dosisberechnung insbesondere die späten Proben (hier ab Tag 6) wichtig sind.

Summary
During a release of UF_6 in a nuclear installation an employee was contaminated. Extensive incorporate monitoring of urine and feces, as well as measurements of blood, nose blow- and sputum samples on ^{234}U, ^{235}U and ^{238}U were performed. The sampling period covered about 4 weeks. This case study describes the process of incorporation monitoring. The internal dose assessment will be presented. Later samples proved to be of especial importance with respect to dose evaluation.

Schlüsselwörter: *Fallstudie, interne Dosimetrie, Inhalation, Uranhexafluorid UF_6*
Keywords: *case study, internal dosimetry, inhalation, UF_6*

1. Einleitung

In einer kerntechnischen Anlage kam es zu einer Freisetzung von UF_6. Dabei wurde ein Mitarbeiter kontaminiert. Da der Verdacht auf eine Inkorporation bestand, wurde in den ersten Tagen nach dem Zwischenfall aus medizinischer Vorsorge dem Betroffenen eine 8,4%ige Natriumbikarbonatlösung zur Erhöhung der Ausscheidungsrate gereicht. Dies führt zwangsläufig zu Abweichungen von normalem Retentionsverlauf. Umfangreiche Inkorporationsüberwachungen mittels Urin- und Stuhl und Messungen von Blut- Schnäuz- und Sputumproben auf ^{234}U, ^{235}U and ^{238}U wurden über einen Zeitraum von etwa 4 Wochen durchgeführt und der Ausscheidungsverlauf dokumentiert.

2. Inkorporation von Uranhexafluorid UF_6

Uranhexafluorid [1] – eine hellgelbe bis farblose, hygroskopische, an der Luft rauchende, schneeähnliche Substanz – wirkt nach Inhalation reizend auf die Lungen. Nach längerer Latenzzeit können sich Lungenödeme ausbilden. Hauptsächlich erfolgt nach rascher Resorption eine Schädigung der Nieren.

Entsprechend ICRP 78 [2] erfolgt die Zuordnung der sechswertigen chemischen Verbindungen von UF_6 in die Absorptionsklasse F (5 µm AMAD; f1=0,02). Das biokinetische Modell der ICRP kann grundsätzlich angewandt werden.
Beeinflusst wurde das tatsächliche biokinetische Verhalten in den ersten Tagen allerdings durch eine vorsorgliche künstliche Erhöhung der Ausscheidungsrate. Dazu wurde durch behandelnde Mediziner im Zeitraum ab ca. 17:00 Uhr am 2. Tag nach Aktivitätszufuhr bis ca. 9:00 Uhr am 4. Tag nach Aktivitätszufuhr eine 8,4%ige Natriumbikarbonatlösung in Form einer langsamen Infusion mit einer Dosis von 1ml pro kg Körpergewicht pro Tag gereicht [3].

3. Ausscheidungsüberwachungen

Zur individuellen Ermittlung des biokinetischen Verhaltens der inkorporierten Uranverbindung wurden nach Erstüberwachungen von Urin und Stuhl umfangreiche Folgeüberwachungen durchgeführt. Diese umfassten Zeitraum von ca. 4 Wochen weitere Inkorporationsüberwachungen mittels Urin- und Stuhl und Messungen von Blut- Schnäuz- und Sputumproben. Es erfolgte im Zeitraum der medizinischen Dekorporationsmaßnahme in zeitlich kurzen Abständen Urin- und Stuhlstichprobensammlungen mit Sammelmengen von wenigen Millilitern (Spoturine) bzw. mg (mineralische Asche).
Der Umfang der Überwachung ist in Tabelle 1 dargestellt. Analysen wurden auf ^{234}U, ^{235}U and ^{238}U durchgeführt

Tab. 1: Zusammenstellung der Ausscheidungsproben

Matrix	Probenart	Anzahl
Urin	24h-Sammelproben	12
	Stichproben	16
Stuhl	24h-Sammelproben	6
	Stichproben	2
Blut	-	7
Sputum	-	1
Schnäuzproben	-	3

4. Messverfahren

4.1 Induktiv gekoppelte Massenspektrometrie (ICP-MS)

Die teilweise geringen Probenmengen reichen für den Einsatz des Alphaspekrometrischen Messverfahrens nicht aus. Hier wurde das Messverfahren ICP-MS (Induktiv gekoppelte Massenspektrometrie) eingesetzt.
Nach Aufbereitung der Proben, Zugabe von internem Standard und nach chromatographischen Trennverfahren erfolgte die Massenspektrometrische Auswertung mit dem nach DIN EN ISO/IEC 17025:2005 [4] akkreditierten Messverfahren ICP-MS (Induktiv gekoppelte Massenspektrometrie). Die nach DIN 32645 [5] berechneten Nachweisgrenzen des Messverfahrens ICP-MS sind für ^{234}U=2,0E-04 Bq/l, $^{235/238}U$=1,0E-04 Bq/l mit einer Verfahrensmessunsicherheit von 30%.

4.2 Qualitätssicherung von Messergebnissen

Zur Qualitätssicherung wurde das akkreditierte Messverfahren der α-Spektrometrie [6] für einige ausgewählte Urinüberwachungen (24 h- Sammlung) zusätzlich eingesetzt. Im Rahmen

der Messunsicherheiten der eingesetzten Messverfahren konnte eine gute Übereinstimmung der Messergebnisse ermittelt werden. Für eine Zusammenfassung der Laborvergleichsmessungen siehe Tabelle 2.

Tab. 2: Zusammenstellung der Laborvergleichsmessungen

Labor-ID	Prüfmethode	Messergebnisse [Bq/Probe]			Nuklidverhältnis	
		^{234}U	^{235}U	^{238}U	^{234}U: ^{238}U	^{235}U: ^{238}U
A0072	ICP-MS	6,5E-01	3,0E-02	1,3E-01	5,0E+00	2,5E-01
	α-spektrometrie	5,7E-01	3,0E-02	1,1E-01	5,2E+00	2,3E-01
A0117	ICP-MS	2,7E-01	1,3E-02	5,2E-02	5,2E+00	2,5E-01
	α-spektrometrie	1,9E-01	9,5E-03	3,5E-02	5,6E+00	2,7E-01
A0353	ICP-MS	2,0E-02	5,2E-04	4,3E-03	4,7E+00	1,2E-01
	α-spektrometrie	2,5E-02	9,0E-04	4,6E-03	5,4E+00	2,0E-01

5. Dosimetrische Bewertung von Ausscheidungsüberwachungen

Bei der Bewertung der Überwachungen werden die unterschiedlichen Sammelarten von Urin (Stichproben, Stundensammlungen bzw. 24h-Sammelprobe) berücksichtigt.

Eine erste dosimetrische Bewertung wurde auf Basis des ersten Spoturin (0,4 d nach Inkorporationszufuhr) durchgeführt. Da es sich bei der inhalierten Verbindung eindeutig um UF_6 handelte erfolgt eine konservative Abschätzung auf Berechnungsbasis nach Referenzverfahren GMBL 2007 [7] mit einer effektiven Dosis E=0,6 mSv. Die erste Folgeüberwachung von 13h-Sammeldauer (0,7 d nach Zufuhrzeitpunkt) ergab eine effektive Dosis von 4,1 mSv, eine weitere ergab E=0,05 mSv (Tab. 3). Es zeigten sich hier sehr große Schwankungen und für eine gute dosimetrische Bewertung waren weitere Folgeüberwachungen mit einzubeziehen.

Eine Überschreitung der Nachforschungsschwelle von 6 mSv konnte aber bereits mit diesen ersten Messungen (Tab. 3) weitgehend ausgeschlossen werden.

Tab. 3: Erste dosimetrische Bewertung

Labor-ID	Effektive Dosis *E* [mSv]	Δt [d]	Sammeldauer [h]
A0058	0,6	0,4	Spoturin
A0071	4,1	0,7	13
A0072	0,05	1,7	16

Die Dekorporationstherapie vom 2. bis zum 4. Tag führte zu einer individuellen Änderung der Biokinetik – eine besondere Herausforderung für die Dosisbewertung. Von daher waren die 24-h-Urinproben nach dem 6. Tag von besonderer Bedeutung, denn die Biokinetik hatte sich zu diesem Zeitpunkt wieder normalisiert und die Probensammlung konnte unter besser kontrollierten Bedingungen als in den ersten Tagen geschehen. Die Bewertung wurde mit mehreren Verfahren durchgeführt.

5.1 Bewertung nach GMBL 2007

Die Dosisbewertung entsprechend der GMBL 2007 [7] für Inkorporationsüberwachungen erfolgt auf Basis von 24h-Sammelproben. Es erfolgte eine Normierung der Urinausscheidungsmengen der Stichproben entsprechend ICRP 89 [8] für einen männlichen Probanden auf 1,6 l/d und Stundensammlungen auf 24h. Abbildung 1 zeigt den Vergleich aller gemessenen und nach ICRP zu erwartenden ^{234}U-Urinausscheidungen unter der Annahme einer Inhalation einer Uranverbindung UF_6 der Absorptionsklasse F (5 µm AMAD; f1=0,02).

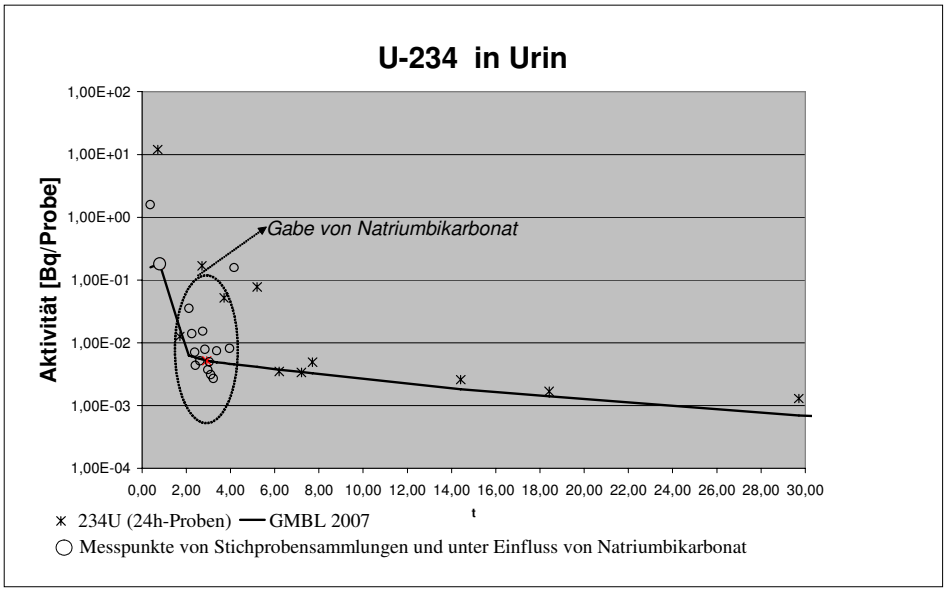


Abb. 1: Vergleich aller gemessenen und nach ICRP zu erwartenden ^{234}-U-Urinausscheidungen

Im Zeitraum der Dekorporationstherapie wurden immer wieder Stichprobensammlungen durchgeführt. Die Wirksamkeit der Therapie zu diskutieren ist nicht Gegenstand dieser Arbeit. Doch ist die Aktivität der drei 24h-Urine aus dieser Zeit vergleichsweise hoch, was durchaus auf eine entsprechende Erhöhung der Ausscheidungsrate hindeutet.

Es zeigt sich für den Fall der Inhalation einer Verbindung der Absorptionsklasse F eine sehr gute Übereinstimmung der Messwerte mit der nach ICRP78 [2] zu erwartenden Ausscheidungsrate. Die theoretische Biokinetik-Kurve in Abb.1 ist genormt auf alle Messpunkte.

5.2 Berechnungsprogramme der internen Dosimetrie

Die Auswertung mittels den angewendeten Berechnungsprogrammen (*IMIE©* [9] und *IDEA-System©* [10]*)* erfolgte auf Basis der Urinmesswerte der 24h-Sammelproben. Die Auswertungen zeigten eine gute Übereinstimmung der Absorptionsklasse F (5 µm AMAD).

5.3 Zusammenfassung interne dosimetrische Bewertung

Eine Zusammenstellung der berechneten effektiven Dosis und Organdosis mittels verschiedener Berechnungsprogramme ist in Tabelle 4 gegeben.

Tab. 4: Zusammenfassung Vergleich der Berechungsprogramme der internen Dosimetrie

Berechnungs-programm	Effektive Dosis E [mSv]	Organdosis H_T[1)] [mSv]	Bemerkungen
GMBL 2007	0,8	14,5	-
IMIE 2007	0,8	-	Version 9.4 GE
IDEA System	0,3	4,6	Version MV-03.6.2

[1)] *Organ: Knochenoberfläche*

Die berechnete effektive Dosis mit 0,3 mSv mittels Berechnungsprogramm IDEA-System liegt im Vergleich niedrig. Dies resultiert mit großer Wahrscheinlichkeit aus der Eingabe des Inkorporationszeitpunktes. Im Berechnungsprogramm IDEA-System kann bei Eingabe des Inkorporationszeitpunktes sowie auch bei Probensammlungen der Wochentag nicht aber die Uhrzeit angegeben werden. Es zeigt sich aber im Rahmen von allgemeinen „Unsicherheiten“ eine befriedigende Übereinstimmung der Auswertung.

6. Zusammenfassung

In dieser Fallstudie wurde aufgezeigt, dass nach einem Zwischenfall zur individuellen Ermittlung des biokinetischen Verhaltens der inkorporierten Verbindung nach Erstüberwachungen von Urin und Stuhl umfangreiche Folgeüberwachungen wesentlich zur sicheren Dosisbewertung beitragen könne.

Frühzeitige Dosimetrische Bewertungen wurden im vorliegenden Fall erschwert durch

- Urin- und Stuhlsammlungen mit Sammelmengen von wenigen Millilitern (Spoturine) bzw. mg (mineralische Asche). Nur durch Einsatz des Messverfahrens ICP-MS konnten Proben mit geringen Sammelmengen von wenigen Millilitern (Spoturin) bzw. mg mineralische Asche bei Stuhlproben vermessen werden.

- medizinische Dekorporationsmaßnahmen – hier durch Gabe von einer Natriumbikarbonatlösung zur vorsorglichen Erhöhung der Ausscheidungsraten - beeinflussen das biokinetische Verhalten in den ersten Tagen.

Stichprobensammlungen der ersten Tage dienten für eine konservative erste Abschätzung der effektiven Dosis hinsichtlich einer Beurteilung einer Grenzwertüberschreitung.
Nach Abschluss aller Überwachungen zeigt sich für den Fall der Inhalation einer Verbindung der Absorptionsklasse F eine sehr gute Übereinstimmung der Messwerte mit der nach ICRP78 zu erwartenden Ausscheidungsrate.

7. Danksagung

Die Autoren danken Herrn Dr. Hautzel (Regionales Strahlenschutzzentrum der Universität Düsseldorf Standort Jülich) für die zur Verfügungsstellung der Überwachungsproben und -Daten. Herrn Dr. Noßke (Bundesamt für Strahlenschutz) danken wir für unterstützende Klärung und intensive Diskussion des Sachverhaltes.

8. Literaturverzeichnis

[1] www.toxcenter.de/stoff-infos/u/uranhexafluorid.pdf (Stand Juni 2012)

[2] ICRP Publication 78. Individual Monitoring for Internal Exposure of Workers, Elsevier Science Ltd, Oxford, 1989

[3] Dr. Hautzel (Regionale Strahlenschutzzentrum der Universität Düsseldorf Standort Jülich), private Mitteilung

[4] DIN EN ISO/ IEC 17025:2005. Allgemeine Anforderungen an die Kompetenz von Prüf- und Kalibrierlaboratorien

[5] DIN 32645. Chemische Analytik - Nachweis-, Erfassungs- und Bestimmungsgrenze unter Wiederholbedingungen - Begriffe, Verfahren, Auswertung

[6] M. Froning, P. Hill, M. Burow, R. Lennartz, M. Schläger, M. Zoriy; Practical implementation of standards and regulations - quality management systems, Radiation Protection Dosimetry (2011) 144(1-4): 85-89

[7] GMBL 2007 Nr. 31/32: Richtlinie für die physikalische Strahlenschutzkontrolle zur Ermittlung der Körperdosis Teil 2: Ermittlung der Körperdosis bei innerer Strahlenexposition (Inkorporationsüberwachung)

[8] ICRP Publication 89: Basic Anatomical and Physiological Data for Use in Radiological Protection: Reference Values, Elsevier Science Ltd, Oxford 2003

[9] http://rpi.kiev.ua/products/IMIE
IMIE 2007 (Version 9.4 GE). © H. Ratia, Y. Bonchuk, V. Berkovski

[10] http://www.idea-system.com
DV-0101 2004-1: IDEA-System-Das Expertensystem zur internen Dosimetrie

DIE AMTLICH ANERKANNTE INKORPORATIONSMESSSTELLE JÜLICH

COMPETENT INCORPORATION MONITORING BODY JÜLICH

M. Froning, P. Hill, M. Schläger, M. Zoriy

Forschungszentrum Jülich GmbH, D-52425 Jülich

Zusammenfassung
Die Inkorporationsmessstelle des Forschungszentrums Jülich führt für beruflich strahlenexponierte Mitarbeiter des Forschungszentrums und für Dritte Dienstleistungen durch. Umfang der Dienstleistungen sind neben Inkorporationsüberwachungen radiochemische Analysen und gammaspektrometrische Messungen in flüssigen und festen Proben sowie Prüfungen und Bewertungen der Dekontaminierbarkeit.

Die behördliche Bestimmung als Messstelle im Sinne der Richtlinie "Anforderungen an Inkorporationsmeßstellen" (GMBl 47. Jg. Nr. 46, 18.12.1996, S. 996-1006, Hrsg.: BMI) ist für die Länder Nordrhein-Westfalen und Niedersachsen erfolgt. Die Messstelle ist auch für das Land Hamburg tätig.
Die Inkorporationsmessstelle hat eine flexible Akkreditierung nach DIN EN ISO/IEC 17025:2005 durchgeführt.

Summary
The *Competent Incorporation Monitoring Body Jülich* performs for professionally exposed employees of the Research Centre and for third services in radiation monitoring. Radiochemical analysis and gammaspectrometry measurements in liquid and solid samples, as well as tests for ease of decontamination of radioactively contaminated surfaces.

Schlüsselwörter: *Inkorporationsmessstelle, radiochemische Analytik, In-vivo-Messungen*
Keywords: *Incorporation Monitoring, radiochemical analysis, in-vivo measurement*

1. Einleitung

Die Inkorporationsmessstelle des Forschungszentrums Jülich führt für beruflich strahlenexponierte Mitarbeiter des Forschungszentrums und für Dritte Dienstleistungen durch wie

- Direkte Messung der Körperaktivität mit einem Ganzkörper- bzw. Schilddrüsenzähler
- Messung der Aktivitätskonzentration in Ausscheidungs- und Umweltproben
- Bewertung der Messergebnisse zur Abschätzung der Aktivitätszufuhr und der Körperdosen
- Übermittlung der Inkorporationsdaten an das zentrale Strahlenschutzregister des Bundesamtes für Strahlenschutz

Die behördliche Bestimmung als Messstelle im Sinne der Richtlinie “Richtlinie für die physikalische Strahlenschutzkontrolle zur Ermittlung der Körperdosis Teil 2“ (GMBL 2007 Nr. 31/32 ff 623, Hrsg.: BMI) ist für die Länder Nordrhein-Westfalen und Niedersachsen erfolgt.
Die Messstelle ist nach DIN EN ISO/IEC 17025:2005[1] akkreditiert.

2. Qualitätsmanagementsystem

In den vergangenen Jahren ist im Strahlenschutz das Qualitätsmanagement ein wichtiges Thema geworden. Hierbei sollen durch das Qualitätsmanagement Führungsaufgaben gelenkt und alle Maßnahmen zur Verbesserung der Qualität von Dienstleistungen (Prüfungen) sichergestellt werden. Mit dem zusätzlichen Ziel die Qualität der Dienstleistungen auch künftig permanent zu verbessern wurde in den vergangenen Jahren ein Qualitätsmanagementsystem (QMS) aufgebaut.
Das dafür erstellte Qualitätsmanagementhandbuch

- gibt einen Einblick in die Qualitätssichernden Maßnahmen der Prüflaboratorien der Messstelle.
- stellt die wissenschaftlich-technische Kompetenz und damit die Qualifikation der Mitarbeiter dar.
- stellt die fachliche Unabhängigkeit, Unparteilichkeit und Unbefangenheit der Messstelle in ihren Tätigkeitsfeldern heraus.
- ist die Grundlage für einen dynamischen Entwicklungsprozess der Messstelle sein.

2.1 Flexible Akkredtitierung

Um die rechtliche Forderung an eine behördlich bestimmte Inkorporationsmessstelle zu erfüllen muss diese entsprechend GMBL 2007 [2] eine Akkreditierung nachweisen. Eine Akkreditierung ist die formelle Anerkennung der Kompetenz der Inkorporationsmessstelle für die im Geltungsbereich der Akkreditierung definierte(n) Aufgabe(n) durch unabhängige Experten.

Die flexible Akkreditierung der Prüflaboratorien der Inkorporationsmessstelle erfolgte erstmals zum 07.11.2006 und wurde im Jahr 2011 für die Dauer von weiteren fünf Jahren bestätigt.

2.2 Prüfbereiche

Die flexible Akkreditierung - innerhalb der genannten Prüfbereiche hat die Messstelle die freie Auswahl von genormten sowie die Modifizierung, Weiter- und Neuentwicklung von Prüfverfahren - ist gültig für die Bestimmung von Radionukliden und Elementen in festen und flüssigen Matrices in den Prüfbereichen

- Alphaspektrometrie
- Betaspektrometrie
- Gammaspektrometrie
- Massenspektrometrie mit induktiv gekoppelten Plasma
- Ionenchromatografie
- Verfahren zur Prüfung und Bewertung der Dekontaminierbarkeit

sowie

- Inkorporationsmessungen mittels direkter Messung der Körperaktivität

In Tabelle 1 sind die Prüfbereiche, Prüfart und Matrix zusammengefasst.

Tab. 1: Scope der Prüflaboratorien der Inkorporationsmessstelle

Prüfbereich	Prüfart	Matrix[1)]	Messgrößen/ Prüfparameter
Alpha-spektrometrie	Bestimmung von Radionukliden	flüssig, fest	Aktivität spez. Aktivität Körperdosis
Beta-spektrometrie	Bestimmung von Radionukliden mittels Low-level-Betamessung	flüssig, fest	Aktivität spez. Aktivität Körperdosis
	Bestimmung von Radionukliden mittels Flüssigszintillationsmessung (LSC)	flüssig, fest	Aktivität spez. Aktivität Körperdosis
Gamma-spektrometrie	Bestimmung von Radionukliden	flüssig, fest, Personen	Aktivität, spez. Aktivität Körperdosis
Massen-spektrometrie mit induktiv gekoppelten Plasma (ICP-MS)	Bestimmung von Elementen	flüssig, fest	Masse, Aktivität spez. Aktivität Körperdosis
Ionenchromatografie	Bestimmung von Elementen	flüssig, fest	Konzentration
DIN 25415-1 1988-08	Dekontamination von radioaktiv kontaminierten Oberflächen- Verfahren zur Prüfung und Bewertung der Dekontaminierbarkeit		

[1)] Matrice: flüssig z. B. Urin, Trinkwasser; fest z. B. Faeces, Gras

3. Prüfverfahren der radiochemischen Analytik

3.1 Prüfverfahren der radiochemischen Analytik

Nach Aufbereitung der flüssigen und festen Proben und radiochemischer Aufbereitung werden Prüfverfahren der Alphaspektrometrie, Flüssigszintillationszähler (LSC), Low-Level-Beta-Messplatz und Massenspektrometer mit induktiv gekoppeltem Plasma (ICP-MS) eingesetzt. Abbildung 1 zeigt Messsysteme der Messstelle.

Abb. 1: Probeaufbereitung und radiochemische Messsysteme Jülich (Beispiele) [3]

In Tabelle 2 sind für einige repräsentative Nuklide die Messverfahren und Nachweisgrenzen für feste und flüssige Proben zusammengefasst.

Tab. 2: Nachweisgrenzen radiochemischer Prüfverfahren in festen und flüssigen Proben

Messverfahren	Nuklid	Nachweisgrenze[1)]	
		Flüssige Probe	Feste Probe
ICP-MS	^{234}U, ^{235}U, ^{238}U, ^{228}Th, ^{230}Th, ^{232}Th U-nat	0,4 mBq/Probe 0,01 µg / Probe	0,7 mBq/ Probe
α-Spektrometrie	^{234}U, ^{235}U, ^{238}U, ^{228}Th, ^{230}Th, ^{232}Th	0,4 mBq/ Probe	0,7 mBq/ Probe
	^{238}Pu, $^{239/240}Pu$, ^{241}Am, ^{237}Np, ^{242}Cm, ^{244}Cm	0,4 mBq/Probe	1,0 mBq/Probe
	^{210}Po	0,4 mBq/Probe	-
ICP-MS, α-Spektrometrie	^{226}Ra	1 mBq/Probe	2 mBq/Probe
Flüssigszintillation (LSC)	^{3}H	85 Bq/L	-
	^{14}C	20 Bq/L	-
	^{32}P, ^{33}P, ^{35}S	3 Bq/L	
	^{210}Pb	80 mBq/Probe	-
Low-level-Messplatz	^{90}Sr, ^{89}Sr	20 mBq/Probe	20 mBq/Probe

1) Nachweisgrenze mit k1-α = 3,0 und k1-β = 1,645 berechnet. Sie repräsentieren mittlere Werte, da die variierende chemische Ausbeute und Nachweiswahrscheinlichkeit (Quench, Selbstabsorption) mit in die Berechnung der NWG eingehen.

3.2 Prüfverfahren der direkten Messung der Körperaktivität

Die Aktivität von inkorporierten Radionukliden, die Gammastrahlung emittieren, wird mit einem Ganzkörperzähler (Body Counter) gemessen. Dabei handelt es sich um ein Gammaspektrometriesystem mit vier elektrisch gekühlten Germaniumdetektoren. Jeweils zwei der Detektoren sind oberhalb bzw. unterhalb einer Liege angeordnet, auf der sich die Person während der Messung befindet. Die Messanordnung ist in einer Abschirmkammer untergebracht, um den Strahlungsuntergrund durch natürliche Umgebungsstrahlung zu reduzieren. Die Messzeit für eine Routinemessung beträgt 10 Minuten.

Zur Messung von Radionukliden, die annähernd homogen im Körper verteilt sind (z. B. ^{137}Cs), wird eine Ganzkörper-Messgeometrie mit allen vier Detektoren verwendet. Bei Nukliden, die sich nach der Aufnahme in den Körper in der Schilddrüse anreichern (z. B. Iodisotope), wird die Aktivität mit nur einem Detektor bestimmt, der in geringem Abstand zur Schilddrüse positioniert ist (Schilddrüsenmessung, Teilkörpermessung).
Abbildung 2 zeigt den Ganzkörperzähler der Messstelle mit einem Kalibrierphantom.

In Tabelle 3 sind für einige repräsentative Nuklide die Nachweisgrenzen bei Ganzkörper- bzw. Schilddrüsenmessungen für eine Messzeit von 10 Minuten zusammengefasst.

Tab. 3: Nachweisgrenzen für Ganzkörper – und Schilddrüsenmessungen

Nuklid	Nachweisgrenze [Bq]	Mess-verfahren[1)]
^{131}I	37	GK
^{137}Cs	35	GK
^{65}Zn	58	GK
^{22}Na	28	GK
^{60}Co	27	GK
^{40}K	240	GK
^{131}I	6	SD
^{125}I	5	SD
^{99}mTc	5	SD

[1)] GK: Ganzkörpermessungen;
SD: Schilddrüsenmessungen

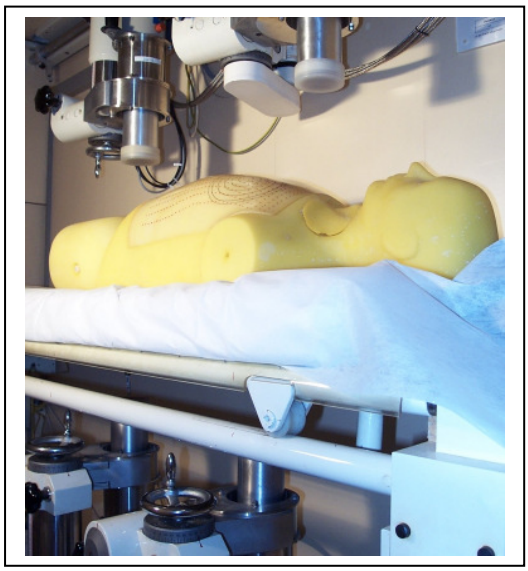


Abb. 2: Ganzkörperzähler Jülich mit einem Kalibrierphantom [3]

4. Externe und interne Qualitätssicherungsmaßnahmen (QS)

Die systematische Qualitätssicherung (QS) und -Kontrolle von Messverfahren der Prüflaboratorien der Inkorporationsmessstelle umfasst vielseitige Aufgaben. Die durchzuführenden kontinuierlichen Maßnahmen zur Qualitätssicherung bestehen aus laborinternen und -externen Kontrollen. Mit der Teilnahme an nationalen und internationalen Ringversuchen wird die Qualität der Prüflaboratorien der Inkorporationsmessstelle extern überwacht und dokumentiert. Umfangreiche interne Qualitätskontrollen z. B. Funktionskontrolle der Messsysteme, Kontrollkarten, Intermethodenvergleich sowie die Verwendung von internen Standards und Referenzmaterialien werden durchgeführt und dokumentiert.

5. Ausblick

In den vergangenen Jahren hat sich gezeigt, dass die Einführung eines Qualitätsmanagementsystems in der Messstelle Jülich der kontinuierlichen Entwicklung im Qualitätsbereich einen systematischen Rahmen gegeben hat.

Mit der flexiblen Akkreditierung wird bereits den Anforderungen rechtlicher Regelungen Rechnung getragen. Insgesamt fügt sich das QM-Management der Prüflaboratorien der Messstelle in die bestehenden Qualitätsbestrebungen des Forschungszentrums Jülich GmbH

6. Danksagung

Die Autoren bedanken sich bei allen Mitarbeitern für ihr Engagement.

7. Literaturverzeichnis

[1] DIN EN ISO/ IEC 17025:2005. Allgemeine Anforderungen an die Kompetenz von Prüf- und Kalibrierlaboratorien

[2] GMBL 2007 Nr. 31/32: Richtlinie für die physikalische Strahlenschutzkontrolle zur Ermittlung der Körperdosis Teil 2: Ermittlung der Körperdosis bei innerer Strahlenexposition (Inkorporationsüberwachung)

[3] http://www2.fz-juelich.de/gs/sb_inkorporationsmessstelle/ (Stand vom 08.03.2012)

CS-137-KÖRPERAKTIVITÄT („KARLSRUHER REFERENZGRUPPE“)

CS-137 BODY-BURDEN (“ KARLSRUHER REFERENCE GROUP”)

U. Mohr[1], N. Biegard[1], G. Cordes[1], B. Breustedt[2]

[1]Karlsruher Institut für Technologie, Sicherheitsmanagement (KSM), In-vivo Messlabor
[2]Karlsruher Institut für Technologie, Institut für nukleare Entsorgung (INE)

Zusammenfassung *— Bei der Kernspaltung entstehen Radionuklide, wie zum Beispiel das Cäsium-Isotop mit der Massenzahl 137 (Cs-137). Seit Beginn der oberirdischen Kernwaffenversuche vor etwa 60 Jahren haben sich geringe Mengen dieser Spaltprodukte als sogenannter Kernwaffen-Fallout weltweit verteilt. Im Vordergrund steht dabei das Cs-137, das aufgrund seiner physikalischen Halbwertszeit von etwa 30 Jahren auch heute noch in der Biosphäre vorhanden ist und in geringen Mengen über die Nahrung in den Körper gelangt. Durch den Reaktorunfall in Tschernobyl im Jahr 1986 gelangte weiteres Cs-137 in die Atmosphäre.*
Im In-vivo Messlabor des Karlsruher Instituts für Technologie gibt es seit Inbetriebnahme des ersten Ganzkörperzählers im Jahr 1961 eine Referenzgruppe bei der monatlich die Cs-137-Körperaktivität bestimmt wird. Die Quartalsmittelwerte der spezifischen Körperaktivität der Karlsruher Referenzgruppe werden anhand einer Graphik dargestellt, erkennbar sind neben den Beiträgen durch die oberirdischen Kernwaffentests auch die Auswirkungen des Reaktorunfalls von Tschernobyl. Mittlerweile ist die Cs-137- Körperaktivität in der Gruppe der Referenzpersonen sehr gering. Die Messungen werden aber weiter durchgeführt, um einen Überblick über die Radioaktivität im Menschen zu haben und eventuelle Umwelteinflüsse (z.B.: mögliche Folgen der Katastrophe Fukushima) zeitnah zu erkennen.

Summary – *In a nuclear fission, several radionuclides are produced, e.g. the cesium isotope with mass number 137 (Cs-137). Since the beginning of atmospheric nuclear tests about 60 years ago, little amounts of these fission products were distributed globally as so-called fallout. Here, due to its physical half-life of 30 years, Cs-137 is in the foreground, as it is still present in the biosphere and is incorporated in our bodies by food. After the nuclear accident in Chernobyl in 1986, more Cs-137 reached the atmosphere.*
In the In-vivo laboratory of the Karlsruhe Institute of Technology, since commissioning of the first human-body counter in 1961,a reference group of persons whose Cs-137 body burden is determined monthly is established . The quarterly mean values of this group’s specific body burden are represented graphically. Here the contribution of the nuclear weapon testing and the effects of the nuclear accident of Chernobyl can be clearly seen. By now, the Cs-137 body burden in this group is very low. Anyhow, measurements are being continued to have an overview over radioactivity in human beings and to rapidly recognize environmental influences (such as probable influences of the Fukushima incidents) promptly.

Schlüsselwörter *— Cs-137 - Körperaktivität, Ganzkörperzähler, Karlsruher Referenzgruppe, Fallout, Tschernobyl*
Keywords *— Cs-137- body burden, body-counter, Karlsruher Reference Group, Tschernobyl*

1. Messungen im Ganzkörperzähler zum Nachweis von Cs-137 im Körper

Im Ganzkörperzähler werden Personen, die mit offenen radioaktiven Stoffen umgehen auf Inkorporation untersucht. Dabei werden die Radionuklide und deren Aktivität über die Gammastrahlung bestimmt. Mit dieser Methode können Nuklide, die Gammastrahlung zwischen 100 keV und 2500 keV mit ausreichender Emissionswahrscheinlichkeit (d.h. >5%) emittieren, durch Direktmessung bestimmt werden. Der Ganzkörperzähler im In-vivo Messlabor besteht aus vier 8*4“ großen NaI(Tl)-Detektoren, die paarweise oberhalb und unterhalb einer Probandenliege angeordnet sind. Auf diese Weise wird der gesamte Körper gleichmäßig erfasst (Abb. 1). Die Position der Detektoren ist so gewählt, dass das Summensignal der Detektoren nahezu unabhängig von der Verteilung des Nuklids im Probanden ist. Der ganze Messaufbau befindet sich in einer begehbaren Abschirmkammer, die aus altem Schiffsstahl mit einer Innenbeschichtung aus Blei besteht.

Abb. 1: Ganzkörperzähler in Standardmessposition. Links eine Personenmessung, rechts eine Kalibriermessung mit einem Flaschenphantom.

Für die Messungen muss der Proband einen vom Labor gestellten Overall anziehen. Damit wird verhindert, dass Kontaminationen an der Kleidung mit erfasst bzw. in die Kammer übertragen werden. Die Gammaspektren der vier einzelnen Detektoren werden nach den Messungen addiert. Dieses Summenspektrum wird ausgewertet. Abb. 2 zeigt ein Beispielspektrum mit einer Cs-137-Kontamination. Die Identifikation der Nuklide erfolgt über die Peakenergie. Durch die Messungen mit geeigneten Kalibrierphantomen werden Wirkungsgrade bestimmt, mit denen aus den Flächen der beobachteten Peaks die gesuchten Aktivitäten berechnet werden können.

In jeder Personenmessung wird das natürlich vorkommende Kaliumisotop K-40 nachgewiesen. Die Messdauer im Routinebetrieb liegt bei 300s. Damit kann für Cs-137 eine für die Inkorporationsüberwachung ausreichend niedrige Nachweisgrenze in der Größenordnung von 60 Bq erreicht werden. Für die Messungen der Referenzgruppe wird die Messdauer aus 1800s (30min) erhöht um die Nachweisgrenze weiter abzusenken.

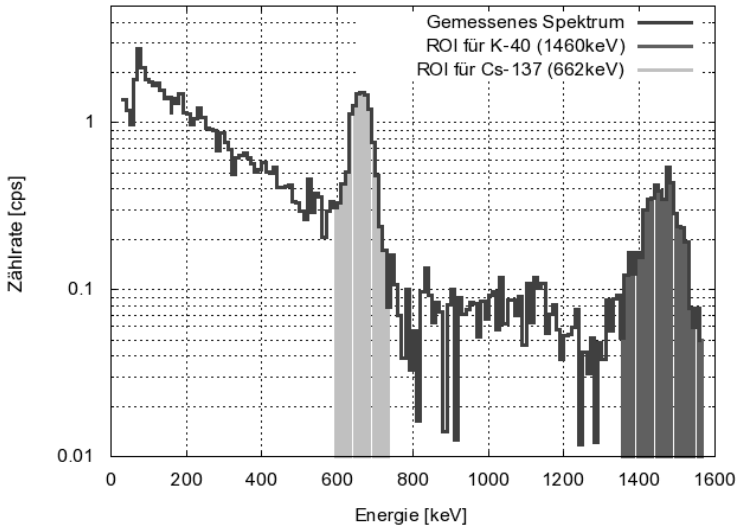


Abb 2.: Spektrum einer Ganzkörpermessung mit Cs-137-Befund. Grau unterlegt sind die Bereiche (ROI = Region of Interest), in denen Ereignisse durch die beiden in der gezeigten Messung nachgewiesenen Nuklide K-40 und Cs-137 liegen.

2. Cäsium-137 im Körper am Beispiel der Karlsruher Referenzgruppe

Bei der Kernspaltung entstehen Radionuklide, wie z.B.: das Cäsium-Isotop mit der Massenzahl 137 (Cs-137). Seit dem Beginn der oberirdischen Kernwaffentests vor etwa 60 Jahren haben sich geringe Mengen dieser Spaltprodukte als sogenannter Kernwaffen-Fallout weltweit verteilt. Im Vordergrund steht das Cs-137, das aufgrund seiner relativ langen Halbwertszeit von etwa 30 Jahren auch heute noch in der Umwelt zu finden ist. Es wird in geringen Mengen vom Menschen mit der Nahrung aufgenommen und gelangt so in den Körper. Dort reichert es sich in der Muskelmasse an und ist daher nahezu gleichverteilt im Körper. Die biologische Halbwertszeit beträgt rund 110 Tage [1].

Seit Inbetriebnahme des Karlsruher Ganzkörperzählers im Jahr 1961 werden regelmäßige Messungen zur Bestimmung der Cs-137 Körperaktivität an einer Referenzgruppe durchgeführt. Dabei handelt es sich um Personen aus dem Raum Karlsruhe, die nicht beruflich strahlenexponiert sind. Die seit 1961 gemessenen Quartalsmittelwerte der spezifischen Cs-137 – Körperaktivität (Bq/kg KGW) sind in der folgenden Graphik dargestellt (Abb.: 3). Deutlich erkennbar sind die Auswirkungen des Fallouts der oberirdischen Kernwaffenversuche in den 1960er Jahren, sowie durch den Reaktorunfall von Tschernobyl im April 1986. Betrachtet man die beiden Maxima so zeigt sich, dass die Belastung durch Cs-137 im Raum Karlsruhe bedingt durch die oberirischen Kernwaffenversuche höher ausfällt als durch den Reaktorunfall von Tschernobyl. Deutlich zu erkennen ist das raschere Abklingen der Cs-137-Körperakivität im „Tschernobyl Peak“. Dieses ist darauf zurückzuführen, dass es sich hierbei im Gegensatz zu den Kernwaffentests um eine einmalige, zeitlich eng begrenzte Freisetzung handelt. Im Jahr 2011 lag die spezifische Cs-137 Körperaktivität der Referenzgruppe im Jahresmittel bei 0,10 Bq/kg Körpergewicht und damit im Bereich der mit diesen Messungen erreichbaren Nachweisgrenzen.

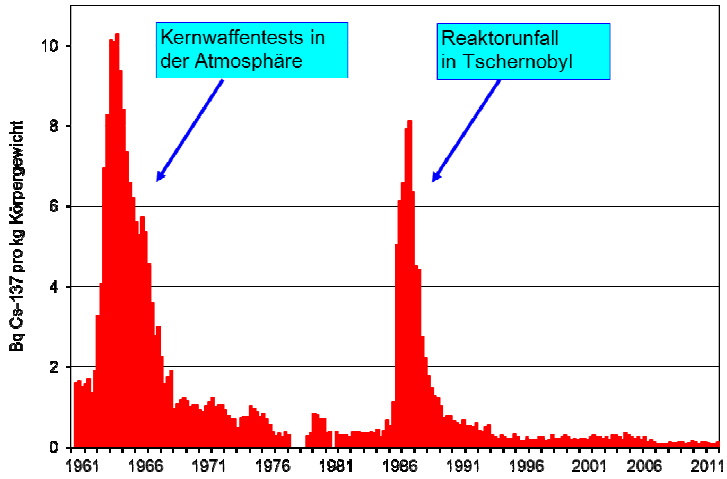


Abb. 3: Quartalsmittelwerte der spezifischen Körperaktivität der Karlsruher Referenzgruppe. In den Jahren 1978/79 und 1981 fanden Umbauarbeiten im Labor statt, so dass in den betroffenen Quartalen leider keine Messungen an der Referenzgruppe durchgeführt werden konnten.

Aus den Daten der Referenzgruppen kann mit Modellen die aus der Inkorporation von Cs-137 resultierende Dosis berechnet werden. Die seit 1961 registrierte Dosis der Karlsruher Referenzgruppe aufgrund der Cs-137 – Körperaktivität ist kleiner als 1 Millisievert pro Jahr (mSv/a). Im Jahresmittel ist sie kleiner als 0,02 mSv/a und damit kleiner als 1 % der gesamten natürlichen und zivilisatorischen Strahlenexposition.

3. Zum Vergleich: natürliche Strahlenexposition durch K-40

Im menschlichen Körper findet man neben anderen Nähr- und Mineralstoffen auch Kalium. Der Kalium-Gehalt wird vom Körper weitgehend konstant bei etwa 2 g pro Kilogramm Körpergewicht gehalten. Im Kalium ist zu 0,0117% das natürlich vorkommende Kalium-40 mit einer spezifischen Aktivität von 30,92 Bq pro Gramm (Bq/g) enthalten. Die K-40 Aktivität im Menschen ist abhängig von Alter, Geschlecht und anderen Einflussfaktoren. Im Schnitt liegt sie zwischen 40 und 60 Bq pro kg Körpergewicht. Die dadurch verursachte Strahlendosis für Erwachsene liegt durchschnittlich bei 0,17 mSv/a. [2]. Diese Strahlungsenergie aus K-40 stellt eine natürliche Grundbelastung des Körpers dar, die sich nicht vermeiden lässt.

4. Literaturverzeichnis

[1] International Commission on Radiological Protection, "Age-Dependent Doses to Members of the Public from Intake of Radionuclides: Part 1", ICRP Publication 56 (Pergamon Press, Oxford), 1989.

[2] Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (BMU), Umweltradioaktivität und Strahlenbelastung Jahresbericht 2009, urn:nbn:de:0221-201103025410, im Internet unter: http://www.bfs.de/de/bfs/publikationen/berichte/umweltradioaktivitaet/JB_archiv.html

INKORPORATIONSÜBERWACHUNG IN DER BEHÖRDLICH BESTIMMTEN MESSSTELLE FÜR AUSSCHEIDUNGSANALYTIK (IN-VITRO-MESSSTELLE) DER LÄNDER BADEN-WÜRTTEMBERG UND HESSEN

INCORPORATION MONITORING IN THE OFFICIAL APPROVED LABORATORY FOR ANALYSIS OF EXCRETA (IN-VITRO-LABORATORY) OF THE STATES OF BADEN-WÜTTEMBERG AND HESSE

Heike Stuhlfauth-Vonderau, Gabriele Spittel

Karlsruher Institut für Technologie KIT, Deutschland

Zusammenfassung *— Dargestellt wird das Leistungsspektrum der behördlich bestimmten Inkorporationsmessstelle für Ausscheidungsanalytik.*
Angesiedelt ist die Messstelle in den Medizinischen Diensten des Karlsruher Instituts für Technologie (KIT).
Beim Umgang mit offenen radioaktiven Stoffen in Forschung und Rückbau kerntechnischer Anlagen muss entsprechend der behördlichen Vorgabe eine Inkorporationsüberwachung für Mitarbeiter (Beruflich Strahlenexponierte Personen) durchgeführt werden.
Hierbei richten sich die Arbeiten des Labors nach den Vorgaben der „ Richtlinie für die physikalische Strahlenschutzkontrolle zur Ermittlung der Körperdosis“, Teil2 (Inkorporationsüberwachung) [1]. Dies beinhaltet Analysen aus regelmäßiger Überwachung, Schwellenwertmessungen und Analysen aus besonderem Anlass.
Im Toxikologischem Labor (MED-TOX) werden seit über 4o Jahren radiochemische Verfahren für die Bestimmung reiner Alpha- und Beta-Strahler in menschlichen Ausscheidungen und Geweben entwickelt und durchgeführt

Summary *— Description of the business activities of the official approved laboratory for incorporation monitoring of excreta analysis. The monitoring laboratory is part of the medical services of the Karlsruhe Institute of Technology (KIT).*
Handling open radioactive sources in research and decommissioning of nuclear facilities incorporating monitoring for employees (occupational radiation exposed persons) have to be performed according the official directive.
Hence the work of the laboratory is adjusted to the requirements of “Directive of the physical radiation protection control for the determination of the individual dose”, Part 2 (Incorporation monitoring) [1]. This contains analysis of regular monitoring, threshold measurements and special monitoring.
Since more than 40 years radiochemical procedures for the determination of pure Alpha- and Beta- emitters in human excreta and tissues are developed and carried out at the Laboratory of Toxicology (MED-TOX).

Schlüsselwörter *— Inkorporationsüberwachung, Alpha-Spektrometrie, LSC*
Keywords *— Incorporation Monitoring, Alpha-Spectrometry, LSC*

1. Toxikologisches Labor (MED-TOX)

Die behördliche Bestimmung als Messstelle nach der gültigen Strahlenschutzverordnung und den entsprechenden Richtlinien ist für die Länder Hessen und Baden-Württemberg erteilt.
Wir führen für interne und externe Auftraggeber, die beruflich strahlenexponierte Personen nach Strahlenschutzverordnung auf die Inkorporation von Alphastrahlern und reinen Betastrahlern überwachen lassen müssen, folgende Dienstleistungen aus:

- Messung der Aktivitätskonzentration in Ausscheidungsproben und anderen biologischen Materialien (Blut, Gewebe, Nasen-Rachen-Abstrichen)
- Bewertung und Interpretation der Messergebnisse zur Abschätzung der Aktivitätszufuhr und der Körperdosen
- Übermittlung der Inkorporationsdaten an das zentrale Strahlenschutzregister des Bundesamts für Strahlenschutz
- Fachliche Beratung zum Überwachungskonzept und sinnvoller Probennahme

Die behördlich bestimmte Messstelle für Ausscheidungsanalytik wird auch im Rahmen des Regionalen Strahlenschutzzentrums der Berufsgenossenschaft tätig.

2. Radiochemische Analyseverfahren bei MED-TOX

2.1 Radiochemische Trennverfahren zur Bestimmung von Alphaemittern

Für Actinide, wie sie zum Beispiel beim Rückbau von kerntechnischen Anlagen relevant sind, erfolgt die Überwachung neben den Aktivitätsmessungen der Raumluft durch zusätzliche Inkorporationsüberwachung.
Dies wird durch Bestimmung reiner Alphastrahler in individuellen Ausscheidungsproben der Mitarbeiter (Urin, Fäces) nach umfangreicher radiochemischer Aufarbeitung der Proben durchgeführt.
Die radiochemische Aufarbeitung der Proben auf Alpharadionuklide erfolgt nach Probenaufbereitung durch nasses und trockenes Veraschen mit einem robusten radiochemischen Trennverfahren (Flüssig-Flüssig-Extraktion) und anschließender Präparation eines Messpräparats durch Elektrodeposition. Die Kontrolle der chemischen Ausbeute erfolgt über zugesetzte Radionuklidtracer zertifizierter Aktivität. Damit ist die Rückführbarkeit auf nationale Normale gewährleistet.

2.2 Probenvorbereitung zur Flüssigszintillationsmessung

Für die Analyse auf Tritium als HTO in Urin wird ein Aliquot der Urinprobe entweder direkt oder nach Destillation im entsprechenden LSC-Cocktail gemessen.

3. Eingesetzte Messverfahren bei MED-TOX

Zur Bestimmung der Aktivitäten stehen dabei folgende Messverfahren zur Verfügung:

- Alphaspektrometrie mit 52 Alphaspektrometern mit low-level-background Detektoren (ionenimplantierte Siliziumdetektoren)
- Flüssigszintillationsmessung mit 2 LSC-Countern

4. Standardanalysearten bei MED-TOX

Nuklid /Nuklidkombination	24h Urin	24h Stuhl
Np-237	ja	-
Pu-238, Pu-239/240	ja	ja
Am-241, Cm-242, Cm-244	ja	ja
Pu-238, Pu-239/240 Am-241, Cm-242, Cm-244	ja	ja
Np-237 Pu-238, Pu-239/240 Am-241, Cm-242, Cm-244	ja	-
Po-210	ja	
Th-228, Th-232	ja	ja
Th-228, Th-229, Th-230, Th-232	ja	ja
U-234, U-235, U-238	ja	-
Alpha gesamt (3,9-6,1 MeV)	nur Nasen-Rachen-Abstrich	

Abb.1: α-Spektrometrie

Nuklid /Nuklidkombination	Urin
H-3	ja
C-14	ja
Pu-241 (nur in Kombination Pu - α –Analyse)	ja

Abb.2: Flüssigszintillationsmessung

Bei Fragen zur Analyse nicht aufgeführter Radionuklide oder aus anderen Probenmaterialien (z. B. andere biologische Materialien wie Blut, Gewebe etc.) sowie zum Preis und zur Messkapazität wenden Sie sich bitte an die angegebenen Messstelle.

5. Literatur:

[1] Richtlinie für die physikalische Strahlenschutzkontrolle zur Ermittlung der Körperdosis (RiPhyKo) Teil 2: Ermittlung der Körperdosis bei innerer Strahlenexposition (Inkorporationsüberwachung) (§§40, 41 und 42 StrlSchV [2])

[2] Verordnung über den Schutz vor Schäden durch ionisierende Strahlen , (StrlSchV) Strahlenschutzverordnung

VON DER BERUFSAKADEMIE (1977) ZUR DUALEN HOCHSCHULE BADEN-WÜRTTEMBERG (2012) : SEIT 35 JAHREN ERFOLGREICHE DUALE AUSBILDUNG VON STRAHLENSCHUTZINGENIEUREN IN KARLSRUHE

FROM 'BERUFSAKADEMIE' (1977) TO 'BADEN-WUERTTEMBERG COOPERATIVE STATE UNIVERSITY (DHBW) KARLSRUHE' (2012) : 35 YEARS OF EXPERIENCE IN SUCCESFULLY TEACHING HEALTH PHYSICS ENGINEERING

J.Erb[1], W. Kraut[1], W. Schwarz[1]

[1] Duale Hochschule Baden Württemberg Karlsruhe, Studiengang Sicherheitswesen

Zusammenfassung — *Das Markenzeichen der ehemaligen Berufsakademie (BA), das duale Ausbildungs- und Studienmodell im Strahlenschutz, d.h. theoretisches Studium und gleichzeitige Umsetzung des Wissens in der Praxis der Ausbildungsfirma, wird auch durch die Dualen Hochschule weiterhin beibehalten. Die Duale Hochschule wird auch zukünftig durch ihren intensivem Praxisbezug als Alternative zu einem reinen theoretischen Studium besonderen Wert auf die betrieblich notwendigen Qualifikationen und Anforderungen im Strahlenschutz legen. Der Studiengang Sicherheitswesen wird dadurch auch den zunehmenden Anforderungen durch die erfolgreiche Re-Akkreditierung einerseits wie auch den zukünftigen Anforderungen an ein Studium (Radiation Protection Officer (RPO) bzw. Radiation Protection Expert (RPE)) andererseits gerecht werden. Ebenso werden Anforderungen aus dem klinischen Strahlenschutz, hier insbesondere zum Medizinphysik-Experten (MPE), in seinem Studienangebot verstärkt berücksichtigt und die Synergien aus den parallel angebotenen Studienrichtungen Arbeitssicherheit und Umwelttechnik genutzt werden. Die Studieninhalte wurden stetig an neue technische Inhalte und rechtliche Anforderungen angepasst.*

Schlüsselwörter — *Duale Hochschule Karlsruhe, Strahlenschutz, Sicherheitswesen*
Keywords — *Cooperative State University Karlsruhe, Safety, Health Physics*

1. Anforderungen an eine Ausbildung im Strahlenschutz im Rückblick und aus heutiger Sicht

Eine frühes Anforderungsprofil zur Qualifikation eines Strahlenschützers (ICRP, Publication 9 von 1966, Empfehlung (108), [1]) lautet:

"In any establishment or operation the authority in charge should identify a technically competent person or persons to provide advice on all relevant aspects of radiation protection, and to provide such technical services as are needed in the application of appropriate recommendations for radiation protection. …"

D.h. ein wesentliches Qualifikationsmerkmal eines Strahlenschützers war damals schon sein übergreifendes Wissen in allen Belangen des Strahlenschutzes und seine technische Kompetenz! Der Verantwortliche des Unternehmens hatte diese Person zu bestimmen.

Anforderungen an einen Strahlenschützer werden heute in der Strahlenschutzverordnung StrlSchV [2] in §30 Abs. 1 definiert:
„Die erforderliche Fachkunde im Strahlenschutz … wird in der Regel durch eine für den jeweiligen Anwendungsbereich geeignete Ausbildung, praktische Erfahrung und die erfolgreiche Teilnahme an von der zuständigen Stelle anerkannten Kursen erworben. Die Ausbildung ist durch Zeugnisse, die praktische Erfahrung durch Nachweise und die erfolgreiche Kursteilnahme durch eine Bescheinigung zu belegen. Der Erwerb der Fachkunde wird von der zuständigen Stelle geprüft und bescheinigt. Die Kursteilnahme darf nicht länger als fünf Jahre zurückliegen. …“
Der Nachweis der Kompetenz wird heute im Gegensatz zu früher wesentlich mehr durch formalisierte Regularien geführt. Letztendlich wird die Qualifikation im Sinne der StrlSchV erst durch die zuständige Behörde festgestellt.

Dieser Übergang von der Bewertung der Qualifikation durch den Unternehmer hin zu behördlichen Maßgaben gab eigentlich den Anlass zur Gründung des Studiengangs Strahlenschutz an der Berufsakademie, Die Berufsakademien in Baden-Württemberg wurden offiziell nach einer Probephase (ab 1971) am 1. Oktober 1974 gegründet und nahmen in Stuttgart und Mannheim ihren Betrieb auf. Berufsakademien gehören dem tertiären Bildungsbereich an; sie bieten eine Alternative zum Studium an Fachhochschulen und Universitäten.

Die Gründung des Studienganges Strahlenschutz, zunächst in Mannheim (1977) - die Berufsakademie Karlsruhe gab es erst ab 1979 - ging wesentlich auf die Initiative von Prof. Dr. Hans Kiefer (Abb.1), den ehemaligen Leiter der Hauptabteilung Sicherheit des Kernforschungszentrums Karlsruhe zurück. Einigen Älteren von uns ist Professor Kiefer vielleicht noch als Präsident des Fachverbandes Strahlenschutz (1966+67) und als Mitglied des Direktoriums (1983-86) bekannt.

Für die meisten Anforderungen an eine zuverlässige und für den Routineeinsatz in einem Forschungszentrum taugliche Messtechnik im Strahlenschutz gab es keine Standards und vieles musste deshalb erst in Eigenregie entwickelt und erprobt werden. Deshalb betrieb das Kernforschungszentrum schon recht früh eine eigene betriebliche Qualifizierung seiner Mitarbeiter im Strahlenschutz, um so die notwendigen Praktiker zu gewinnen. Mit zunehmenden rechtlichen Forderungen im Strahlenschutz erwies es sich immer mehr als Handicap, dass die betriebsinterne Qualifizierung keinem staatlichen Abschluss entsprach. So kam das Modell der Berufsakademien für Prof. Kiefer gerade zur rechten Zeit, um im Strahlenschutz Ingenieure für das Forschungszentrum zu gewinnen [3].

Abb. 1: Prof. Dr. Kiefer an seinem 80. Geburtstag

Man kann an dieser Stelle ruhig den Begriff „Strahlenschutz made in Karlsruhe“ gebrauchen, denn nicht nur das Forschungszentrum, sondern neben der damaligen Landesanstalt für Umweltschutz sahen insbesondere auch die Karlsruher Kliniken die Möglichkeit als Partnerfirma der Berufsakademie den Bedarf an Strahlenschutzingenieuren für den klinischen Betrieb im Bereich der Nuklearmedizin, der Strahlentherapie und der Diagnostik zu rekrutieren (*Abb. 2*).

Abb. 2: Die ersten Partnerfirmen des Studiengangs Strahlenschutz

2. Struktur und Ziele im Studiengang Sicherheitswesen (SHE : Safety, Health & Environment)

Aus den Forderungen der Strahlenschutzverordnung einerseits und den Fachkunderichtlinien andererseits kann man sich eine Wissensvermittlung im Strahlenschutz ohne eine geübte Praxis nur schwer vorstellen. Deshalb ist das duale Studienmodell der DHBW insbesondere

für den Studiengang Sicherheitswesen unserer Meinung nach unverzichtbar! (Eine Beschreibung des Dualen Modells der DHBW siehe z.B. [4]).

Das erklärte Ziel der Bologna Reform, die Berufsfähigkeit („employability“) wäre ebenso ohne praktische Ausbildungszeiten nicht erreichbar. Diese Berufsfähigkeit in den Kernkompetenzen Strahlenschutz, Arbeitssicherheit und Umwelttechnik wird darüber hinaus auch durch den zusätzlichen Erwerb betrieblicher Fachkunden während des Studiums, z.B. gemäß den einschlägigen Fachkunderichtlinien im Strahlenschutz, dem Fachaufsichtsschreiben des BMA zur Ausbildung von Fachkräften für Arbeitssicherheit etc., durch die Hochschule gefördert.
Typischerweise lassen sich den Absolventen folgende Berufsbilder zuordnen:

Strahlenschutzingenieur (z.B. als Strahlenschutzbeauftragter)
Sicherheitsingenieur (z.B. als Fachkraft für Arbeitssicherheit)
Ingenieur im Bereich Umwelttechnik (z.B. als Umwelt-Beauftragter)

Das Curriculum nimmt bewusst davon Kredit, das viele sicherheitsrelevante Studieninhalte gemeinsam in allen 3 Studienrichtungen von Bedeutung sind (siehe Abb. 4).

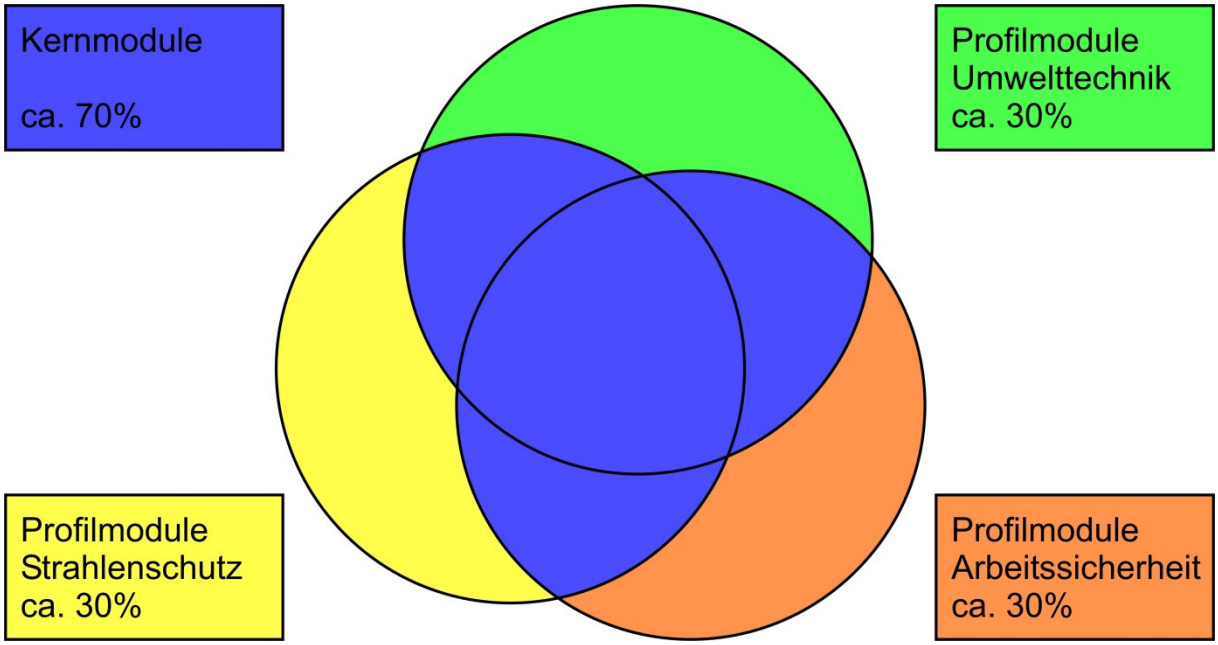


Abb. 4: Studienanteile durch Kern- und spezielle Profilmodule

3. Curriculum

Das Studium ist modular aufgebaut: Kernmodule und Profilmodule. Die Kernmodule bilden das Rüstzeug eines naturwissenschaftlich-technischen Ingenieursstudiums. Hierzu zählen insbesondere Mathematik, Physik, Chemie, Werkstoffe, Elektrotechnik. Als Kernmodule zählen aber auch für alle Studienrichtungen die Grundlagenvorlesungen zum Strahlenschutz, Arbeitssicherheit, Umwelttechnik, Recht, Projektmanagement und Betriebswirtschaft. Ohne alle Profilmodule im Strahlenschutz aufzählen zu wollen, gehören insbesondere dazu: Strahlenmedizin und Strahlenbiologie, Dosimetrie, Messtechnik, Strahlenphysik,

Radioökologie und Notfallschutz sowie semesterbegleitende Labors an der DHBW Karlsruhe und in den Karlsruher Kliniken St.Vincentius-Krankenhaus und Städtisches Klinikum.

Das Studium an der DHBW umfasst jeweils 6 Theoriesemester und 6 Praxisphasen. Die Abfolge der Theorie bzw. Praxisphasen ist inhaltlich miteinander verzahnt. Es wird grundsätzlich darauf geachtet, dass die Anforderungen an die Leistungen in den Praxisphasen (z.B. Projektarbeiten, Bachelorarbeit) gekoppelt sind mit dem Lernfortschritt in den theoretischen Fächern. Auch Projektarbeiten aus den verschiedenen Praxisphasen müssen einer Leistungsbeurteilung unterworfen werden. Eine Dokumentation der gesamten Module kann unter der Web-Adresse [5] eingesehen werden.

Die Anlage 1 vermittelt einen Überblick über die Bandbreite der in den Bachelorarbeiten bearbeiteten Themen.

4. Qualitätssicherung

Die Studiengänge der DHBW erfüllen mit ihrem Studienangebot die Vorgaben der deutschen Akkreditierungsagentur ZEVA [6]. Die Erstakkreditierung erfolgte bereits 2006. Die Duale Hochschule Baden-Württemberg hat mittlerweile auch als erste Hochschule des Landes ihr gesamtes Qualitätsmanagementsystem einer Systemakkreditierung unterwerfen lassen und am 13.12.2011 vom Akkreditierungsrat einen positiven Bescheid erhalten. Sie kann somit ihre Studienangebote künftig selbst akkreditieren. Last but not least, unterzieht sich die DHBW schon seit 2001 einer externen Akkreditierung durch die Open University Validation Services (OUVS) [7]. Absolventen können deshalb schon seit einigen Jahren einen Bachelor of Honours Degree durch die Open University erwerben. Im Rahmen des Qualitätsmanagements der DHBW übernimmt die OU die Rolle eines External Examiners für die Lehre und das Prüfungswesen.

Bachelor of Science (B.Sc.) | Bachelor of Science with Honours, B.Sc. (hons)

Zentrale Evaluations- und Akkreditierungsagentur Hannover

Open University Validation Service (OUVS)

Abb. 4: Akkreditierungen der DHBW

5. Zukünftige Entwicklungen

Durch die mittlerweile gestuften Hochschulabschlüsse Bachelor bzw. Master wird zukünftig auch ein originäres Masterprogramm für den Studiengang Sicherheitswesen zwangsläufig

sein. Angebote über Masterprogramme zum Thema Strahlenschutz, Kerntechnik, Medizinphysik etc. existieren bereits an anderen Hochschulen, so dass derzeit für unsere Absolventen genügend Möglichkeiten einer zusätzlichen Weiterqualifikation (auch berufsbegleitend als Fernstudium) bestehen. Grundsätzlich wird die DHBW, analog zum Bachelor Studium, versuchen nur duale, von den Firmen mitgetragene Masterprogramme zu etablieren. Ein eigenes Masterprogramm profitiert von den bereits durch den DHBW-Bachelor erworbenen 210 ECTS Punkten. Üblicherweise werden mit dem Bachelor Abschluss 180 ECTS Punkte vergeben, für ein Bachelor- und Masterprogramm sind insgesamt 300 ECTS notwendig. Die Studienrichtung Strahlenschutz wird versuchen, sich beim Thema Masterprogramm insbesondere an den zukünftigen europäischen Anforderungen an einen Radiation Protection Expert (RPE) zu orientieren.

Weitere interessante Studienmodelle im Strahlenschutz zeichnen sich auf europäischer Ebene (z.B. ENETRAP, EUTERP) ab, nur - europäische Mühlen mahlen offenbar sehr langsam!

6. Literaturverzeichnis

[1] Recommendations of the International Commission on Radiological Protection, ICRP Publication 9, Pergamon Press, 1966

[2] Strahlenschutzverordnung vom 20. Juli 2001 (BGBl. I S. 1714; 2002 I S. 1459)

[3] private Mitteilung Prof. Dr. Hans Kiefer

[4] mwk.baden-wuerttemberg.de/uploads/tx_ttproducts/.../DHBW.pdf

[5] www.dhbw-karlsruhe.de/allgemein/studiengaenge-technik/sicherheitswesen/

[6] www.zeva.org/

[7] www.open.ac.uk

Anlage

Themenspektrum vergangener Bachelorarbeiten (Jahrgänge 2010 und 2011)

-Optimierung des Ätzprozesses für passive Radondosimeter im Hinblick auf ein neues Spurenzählsystem in einem Radonlabor
-Routinetaugliche numerische Ermittlung von Dosis-Umrechnungsfaktoren miVoxel-modellen
-Modernisierung der Abluftüberwachungsanlage eines Schwerionensynchrotrons
-Validierung einer kommerziellen Software zur Überprüfung der Dosisberechnung von Bestrahlungsplänen
-Implementierung des Optimizer Modul des Bestrahlungsplanungssystems Oncentra für die inverse Bestrahlungsplanung bei der IMRT mit 6 MV Photonen
-Gammaspektrometrische Messungen als Voraussetzung für die Freigabe aktivierter Teile aus medizinischen Elektronenbeschleunigern
-Bestimmung der Gesamt- Alpha-Aktivität wässriger Proben mittels Flüssigszintillations-Messtechnik und Actinide Resin TM

-Entwicklung und Erprobung eines Messaufbaus zur Messung von Bodenflächen mittels der In-situ-Gammaspektrometrie vor dem Hintergrund der Freigabe von Bodenflächen
-Auswirkung der Atembewegung auf die Zähleffizienz von in vivo Messsystemen bei Lungenteilkörpermessungen
-Entwicklung eines genehmigungsfähigen Verfahrens zur gammaspektrometrischen Analyse von Screening-Tests mittels parametrisch korregierter ISOCS-Kalibrierdaten
-Konzeptionierung eines Schleusverfahrens für kerntechnische Anlagen mit integriertem Materialmanagement
-Qualifizierung des In-Situ-Gammaspektrometers für Freigabemessungen an Bauschuttcontainern
-Strahlenbelastung von Herzschrittmachern der neuesten Generation bei modernen Bestrahlungstechniken
-Bestimmung des Aktivitätsinventars von Abfallfässern mittels In-Situ-Gammaspektrometrie (ISOCS)
-Bestimmung der Eta-Faktoren in einer Verbrennungsanlage
-Erweiterung eines MCNPX Quellenmodells zur Anpassungsfähigkeit an geänderte Quelleneigenschaften
-Einsatz und Erprobung ferngesteuerter Aerosolsammler
-Personendosimetrie des Personals bei der Therapie mit Y-90 bei der Selektiven Internen Radiotherapie (SIRT)
-Erstellung und Validierung eines Voxelmodells eines physikalischen Kalibrierphantoms in der in vivo Messtechnik
-Charakterisierung von Detektoren im In-vivo Messlabor und Optimierung der zugehörigen Monte Carlo-Modelle
-Übersicht über die strahlenschutztechnische Überwachung eines Brennelementschadens vor und während der Revision am Beispiel des KKW's …
-Recycling von Reaktor-bestrahltem Yb-176
-Freimessen von Gebäudestrukturen mittels INSITU-Gammaspektrometrie
-Untersuchungen der Temperaturstabilität von Bialkali- und Hochtemperatur-Photomultipliern zur Verwendung in Hochtemperaturdetektoren in der Prozessmesstechnik
-Technische Analyse und Bewertung der Raumstrahlungsüberwachung in einem Siedewasserreaktor
-Die Optimierung der Radonbestimmung wässriger Proben unter Anwendung der Technik des Liquid Scintillation Counting und die Implementierung in den Routinebetrieb

VALIDIERUNG DES VERFAHRENS ZUR C-14 FORTLUFT-ÜBERWACHUNG AM KIT (KARLSRUHER INSTITUT FÜR TECHNOLOGIE)

VALIDATION OF THE METHOD FOR C-14 EXHAUST AIR MONITORING AT KIT (KARLSRUHE INSTITUTE OF TECHNOLOGY)

S. Nees, C. Greul, P. Steinbach, U. Hoeppener-Kramar

Karlsruher Institut für Technologie KIT, Deutschland

Zusammenfassung *— Am KIT wird die Fortluft aller auf dem Gelände befindlicher kerntechnischer Betriebe überwacht. Hierfür kommen Verfahren zum Einsatz, die zum Teil auf Entwicklungen aus den 80iger Jahren des damaligen Forschungszentrum Karlsruhe zurückgehen [1], [2]. Im vorliegenden Beitrag wird die Fortluft-Überwachung auf C-14 vorgestellt. Dieses Verfahren beruht auf der Adsorption von CO_2 auf Molekularsieb. Die Messaufgaben bei der Validierung eines neuen Molekularsiebes für diese Anwendung werden exemplarisch beschrieben.*

Summary *— The exhaust air of all nuclear plants at the site of KIT are monitored continuously. For this purpose methods are used, which in part originate from developments of the former nuclear research centre in Karlsruhe in the 80th. In this paper, the airborne surveillance of C-14 is presented. This method is based on the adsorption of CO_2 on a molecular sieve. The measurement tasks in the validation of a new molecular sieve for this application are described as examples.*

Schlüsselwörter *—Fortluftüberwachung, CO_2 Adsorption, Validierung*
Keywords *—airborne surveillance, CO_2 adsorption, validation*

1. Fortluftüberwachung am Standort Karlsruhe Institut für Technologie Campus Nord

Die Probenahme für die C-14 Fortluftüberwachung in den Kaminen von kerntechnischen Anlagen am Standort des KIT Campus Nord erfolgt durch Adsorption von CO_2 auf Molekularsieb in einem Bypass des Kamins. Alle kohlenstoffhaltigen Verbindungen in der Abluft werden vor der Adsorption mittels eines Katalysators zu CO_2 oxidiert. Die Feuchte wird auf einem vorgeschalteten Molekularsieb mit kleineren Porendurchmessern abgeschieden. Das auf dem Molekularsieb adsorbierte CO_2 wird anschließend mit Säure ausgetrieben und in Natronlauge absorbiert. Die Messung des C-14 erfolgt mittels Flüssigszintillationsspektroskopie direkt aus der alkalischen Lösung [3].

Dieses Verfahren wurde 1990 am damaligen Kernforschungszentrum entwickelt, und hat sich seither durch Robustheit und Schnelligkeit im Routinebetrieb der wöchentlichen Fortluftkontrolle mehrerer Kamine ausgezeichnet.

2. Validierung eines neuen Molekularsiebes

Das bisher zur CO_2 Adsorption verwendete Molekularsieb wurde jetzt durch den Hersteller vom Markt genommen. Damit ergibt sich die Notwendigkeit in Zukunft ein anderes Molekularsieb einzusetzen. Zur Zeit wird dieses für die Anwendung sowohl im Labor- als auch in Feldversuchen validiert.

Für diese Validierung wurde eine Laborapparatur zur gezielten Beladung des Molekularsiebes mit CO_2 unter kontrollierten Randbedingungen aufgebaut und das Verhalten, u.a.. das Durchbruchsverhalten in Abhängigkeit von der Beaufschlagungsrate, getestet. Untersuchungen zur Temperaturabhängigkeit, zum Resorptionsverhalten und zu weiteren Eigenschaften werden folgen.

Parallel dazu soll im Kamin einer C-14 emittierenden Anlage ein Parallelstrang zur bestehenden C-14 Überwachung errichtet werden. Die Messungen erlauben dann den direkten Vergleich des Verhaltens des bisherigen Materials mit dem des neuen Materials unter realen Bedingungen.

Im Labor wurde das Verhalten des neuen Molekularsiebes bei der Aufarbeitung der Abluftproben, also der Desorption des Analyten, sowohl mit CO_2 als auch mit C-14 als Analyt getestet.

Auf Grund der durchgeführten Untersuchungen kann das gesamte Verfahren, von der Probennahme im Kamin bis zur Analyse des C-14 im Flüssigszintillationszähler für die Anwendung in der Fortluftüberwachung validiert werden.

3. Literaturverzeichnis

[1] B.Dres: $^{14}CO_2$ in der Fortluft kerntechnischer Anlagen. Studienarbeit KT87ST, Kernforschungszentrum Karlsruhe, 1990

[2] S.Nuss; H.Schüttelkopf: Probenahmesysteme für 14C und 3H. TT-Primärbericht 50U015.0P02A, Kernforschungszentrum Karlsruhe, 07/1989

[3] K.Vogl; P.Gesewsky: Verfahren zur Bestimmung der mittleren Aktivitätskonzentration von Kohlenstoff-14 in der Fortluft kerntechnischer Anlagen. Messanaleitungen für die „Überwachung radioaktiver Stoffe in der Umwelt und externer Strahlung“, J-C-14-ALUFT-01, 05/2009

ENTWICKLUNG UND EINRICHTUNG EINES NEUEN AUF HPGE-DETEKTOREN BASIERTEN KÖRPERZÄHLERS, DER AUCH NIEDERENERGETISCHE PHOTONENSTRAHLER DETEKTIEREN KANN

DESIGN AND SETUP OF A NEW HPGE DETECTOR BASED BODY COUNTER CAPABLE OF DETECTING ALSO LOW ENERGY PHOTON EMITTERS

O. Marzocchi[1], D. Mostacci[2], M. Urban[3], B. Breustedt[1,4]

[1] Institut für Nukleare Entsorgung, Karlsruher Institut für Technologie
[2] DIENCA Department, Faculty of Engineering, University of Bologna (Italy)
[3] WAK GmbH, Karlsruhe
[4] KIT-Sicherheitsmanagement, Karlsruher Institut für Technologie

Zusammenfassung *— Diese Arbeit beschreibt die komplette Neuentwicklung für HPGe Detektoren des am KIT (Abteilung IVM) installierten Ganzkörperzählers und die erste Ergebnisse seiner Anwendung.*
Zuerst mussten die Detektoren mit MCNPX modelliert werden, danach wurden die Teilkörper-Messkonfigurationen definiert. Dieser Schritt wurde mithilfe von Voxelmodellen des menschliches Körpers durchgeführt. Die ausgewählte Konfigurationen waren die Basis der Definition der Forderungen der neuer Detektor-Mechanik. Die Ganzköper Konfigurationen wurden entwickelt mithilfe MC Simulationen von verschiedenen Organen, Phantomen und Energien. Die verschiedene Ergebnisse wurden zusammengefasst und der Durchschnittwert und die Standardabweichung berechnet. Diese wurden zusammen benutzt, um die Konfigurationen zu definieren.
Verschiedene Überprüfungen wurden mit dem neuen System probiert. Zuerst wurde die Verbesserung der Nachweisgrenze des neuen System mithilfe eines Referenz-Phantom quantifiziert. Messungen mit Probanden mit potenziellen ^{210}Pb Kontaminationen im Skelett wurden benutzt, um die Leistungen in der niederenergetischer Bereich zu prüfen. Die Messungen von deutschen Probanden aus Japan waren die erste echte Ganzkörper-Unfälle.
Alle Schritte der Routineoperation wird bei einer für dieses System spezifischer entwickelter Software handgehabt. Die Software bindet mit der alter Datenbank des Labors ein, aber erweitert die, um eine höhere Flexibilität und zukünftige Ausweitung anzubieten.

Summary *This work describes the complete redesign around four new HPGe detectors of the body counter previously installed at IVM (KIT, Karlsruhe) and the first results of its application.*
First step was the modelling of the detectors using MCNPX, followed by the definition of the partial-body counting configurations. This process was performed with the aid of voxel models of the human body. The chosen configurations were used to define the requirements for the new mechanics to support the detectors. The whole-body counting configurations were investigated using MC simulations of different organs, phantoms and energies. The different results were aggregated to calculate average values and standard deviation, values used to optimise the counting setups.

Different tests were performed with the final system. First, a reference phantom was used to quantify the improvement in the detection limit compared to the previous system. Later, two subjects potentially contaminated with ^{210}Pb were measured on the skull. A last test involved the measurement of subjects returning from Japan after the Fukushima accident, with mixed results.
All the steps of the routine operation will be handled by software written specifically for the purpose. The software integrates with the old database in use in the laboratory, but enhances it to provide more flexibility and future expansion.

Schlüsselwörter *— HPGe Detektoren, Monte Carlo Simulationen, Körperzähler, niederenergetische Emitter*
Keywords *—HPGe detectors, Monte Carlo simulations, body counting, low energy emitters*

1. Introduction

The IVM laboratory (KSM department) at KIT was equipped with phoswich detectors: they are characterized by a good efficiency, but the attainable resolution is poor or very poor: the identification of nearby peaks and the correct estimation of their peak area is difficult. To solve this issue, four high purity germanium detectors have been introduced: their efficiency is lower due to the smaller crystal size, but the improved resolution compensates and makes the identification of closely spaced peaks possible.
The development of the system was performed using Monte Carlo simulations as primary tool: they allow for faster development and can produce more accurate results.
Accurate results are however possible only with proper Monte Carlo models of the detectors, but the technical drawings were not accurate/reliable enough. Measurements of point sources and manual tuning were used to improve the initial models and the final agreement between simulations and measurements is better than 5% [1].

2. Partial-body counter development

Goal of partial body counting is to attain the lowest detection limit for low-energy emitters located in specific organs.
To define the counting configurations, different phantoms were loaded homogeneously with ^{40}K and the resulting photon flux around the phantoms was tracked. This flux was used to estimate the Compton background that increases the number of counts in the regions of interest and therefore worsens the detection limit.
Additional simulations with only specific organs loaded with low-energy radionuclides were used to obtain the photon flux related to the counting efficiency (see figure 1). The stronger the flux, the lower the detection limit for a given number of background counts.
Detection limits were calculated for different detector positions and the best counting configurations for lungs, liver (see figure 2) and skeleton were defined for both sitting and stretched setup. The attainable detection limits were compared and the sitting configuration was found to be the best. Appropriate mechanics was developed around a newly acquired wellness stretcher, configurable in both arc (sitting-like) and stretched setup [2].

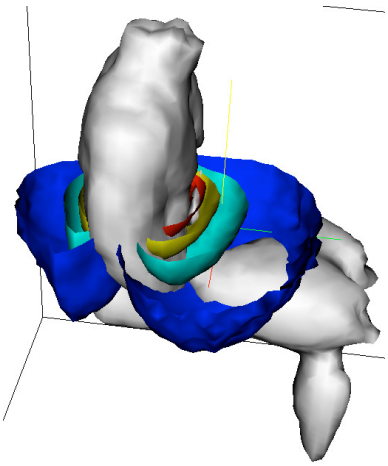


Figure 1 – Iso-flux surfaces originated by a source located in liver, MeetMan phantom [3]

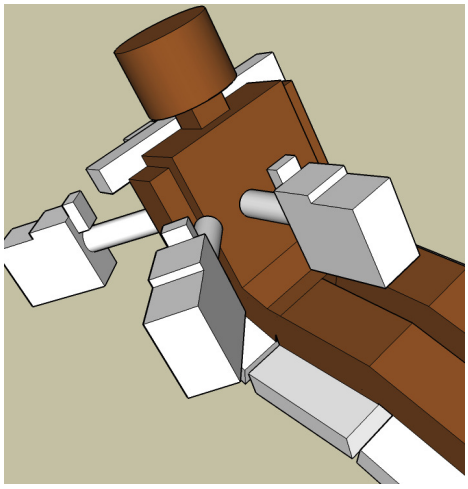


Figure 2 – Sketch of a counting configuration for liver.

3. Whole-body counter development

Goal of whole body counting is achieving a low detection limit but also a uniform counting efficiency for sources located in different parts of the body.
Different set of simulations with different phantoms, organs and energies were performed and the photon flux around the phantoms was tracked, just like in the previous partial-body simulations. In this case, however, the results were grouped according to specific criteria (e.g. same phantom, or same emission energy). Within each group, the average photon flux and its standard deviation were calculated. The former is related to the expected counting efficiency, the latter to the homogeneity of the dependence of the counting efficiency on the free variables within the specific group of simulations (typically the position of the source).
The two values can be used to determine a good position for the detectors, but it was chosen to merge them into a new composite value, to be able to more easily determine the compromise between high counting efficiency (close to the phantom) and low standard deviation (farther away from the phantom).
The final configuration is made of two detectors placed near the optimal region, a detector on the left side of the phantom for better thyroid sensitivity, a detector placed close to the spine to detect even the smallest contaminations, that would require further measurements. More information is available on [4].

4. Testing

Different tests were performed with the final system (see figure 5). A measurement of uncontaminated subjects proved the new quality of the system, able to achieve with only two detectors in lung configuration the same detection limit of the previous system with phoswiches.
Different measurements were performed on German subjects coming back from Japan after the Fukushima accident. Only one subjects was found contaminated with radionuclides released during the accident and it was found that only the germanium detectors were able to correctly detect and estimate the activities: the spectra contained closely spaced peaks and the resolution of the scintillators was insufficient to resolve them.

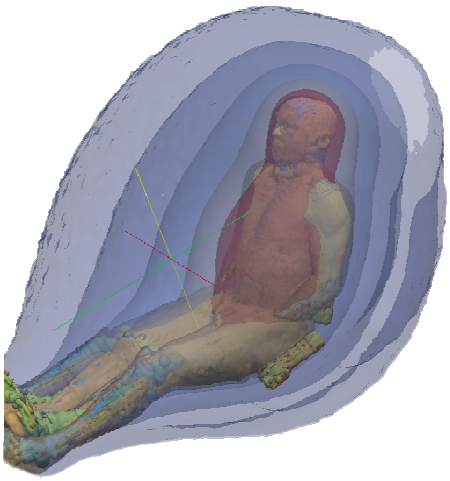


Figure 3 – Example of averaged iso-flux surfaces.

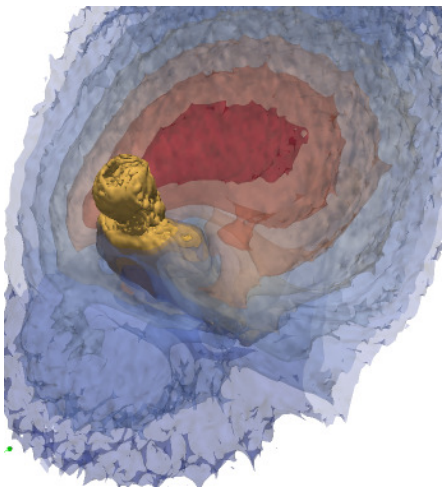


Figure 4 – Plot of the value obtained by merging average fluxes and standard deviation. The red region defines the preferred location of the detectors.

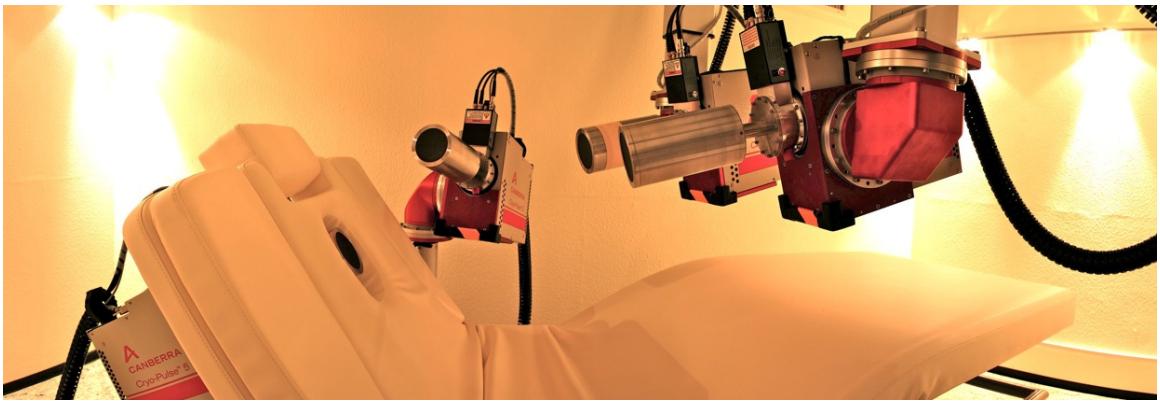


Figure 5 – Panoramic photo of the final system installed in the counting chamber.

5. References

[1] Marzocchi, O., Breustedt, B. and Urban, M. Characterisation, modelling and optimisation of the model of a HPGe detector with the aid of point sources. Appl Radiat Isot, 2009. Doi: 10.1016/j.apradiso.2009.11.022

[2] Marzocchi, O., Breustedt, B., Mostacci, D. et al. Comparison of stretched and sitting configurations for partial-body measurements. Applied Radiation and Isotopes, In Press, 2010. Doi: 10.1016/j.apradiso.2010.11.012

[3] Sachse, F. B., Werner, C. D., Meyer-Waarden, K. and Dossel, O. Development of a human body model for numerical calculation of electrical fields. Comput Med Imaging Graph, 2000. Doi: 10.1016/S0895-6111(00)00016-1

[4] Marzocchi, O., Breustedt, B., Mostacci, D. et al. Theoretical Assessment of Whole Body Counting Performances Using Numerical Phantoms of Different Gender and Sizes. Radiat Prot Dosimetry, 2010. Doi: 10.1093/rpd/ncq319

BESTIMMUNG VON ORGANDOSEN AUS SELBSTBERICHTETEN RETROSPEKTIVEN DATEN ZUR MEDIZINISCHEN STRAHLEN-EXPOSITION

ESTIMATION OF ORGAN DOSES FROM SELFREPORTED DATA OF MEDICAL EXPOSURES

Anye Ningo[1], Saskia Pöttgen[3], Florence Samkange-Zeeb[3], Hiltrud Merzenich[2], Nadia Obi[3], Hajo Zeeb[3], Martin Fiebich[1], Joachim Breckow[1]

[1]Institut für Medizinische Physik und Strahlenschutz, Technische Hochschule Mittelhessen, Deutschland
[2]Institut für Medizinische Biometrie, Epidemiologie und Informatik, Johannes Gutenberg Universität Mainz, Deutschland
[3]Institut für Epidemiologie und Präventionsforschung, Universität Bremen, Deutschland

Zusammenfassung
Zurzeit gibt es keine praktikable Möglichkeit zur systematischen individuellen medizinischen Datenerfassung der Strahlenexposition für die Abschätzung des Krebsrisikos. Deshalb wurden im Rahmen einer Machbarkeitsstudie die retrospektive Erfassung der medizinischen Strahlenexposition und eine Methodik zur Abschätzung der Organdosis untersucht. Drei Methoden wurden entwickelt, die je nach Zusammensetzung der Daten implementiert werden können. Zunächst wurde die Einfallsdosis berechnet und daraus mithilfe der Konversionsfaktoren die Organdosis ermittelt. Die Häufigkeitsverteilung der Effektiven Dosis pro Teilnehmer zeigte, dass 90% der Teilnehmer eine Dosis im Bereich von 0 bis 0,3 mSv bei Röntgenuntersuchungen und 0 - 4,5 mSv bei CT-Untersuchungen erhalten haben. Obwohl mehr Röntgenuntersuchungen als CT-Untersuchungen durchgeführt wurden, tragen die CT-Untersuchungen zu dem größten Teil der Strahlenexposition bei. Anhand selbstberichteter Daten besteht die prinzipielle Möglichkeit, unter Berücksichtigung der unterschiedlichen Kalenderperioden, eine Dosisabschätzung bzw. Dosisrekonstruktion durchzuführen.

Summary
Currently there is no feasible way for systematic data collection of individual medical radiation exposure for the assessment of cancer risk. Therefore in the frame of a feasibility study, the retrospective registration of medical radiation exposure and a methodology for estimating the organ dose has been investigated. Three methods have been developed that can be implemented for the organ dose calculation depending on the data available. Firstly, the entrance dose was calculated and thereafter, using conversion factors the organ dose was calculated. The most common X-ray examinations were Dental (80%) followed by radiographs of the chest area (58%). Less than half of all participants in the study (45%) had undergone a CT scan with head examinations (21%) having the highest frequency. The frequency distribution of the effective dose for each participant showed that 90% of all participants received a dose between 0 to 0,3 mSv from X-ray and 0 – 4,5 mSv from CT examinations. Although more X-ray examinations were performed, the CT examinations accounted for the most of the radiation exposure. In principle, using self-reported data, dose assessment and dose reconstruction can be carried out taking into account the different calendar periods.

Schlüsselwörter *— Dosisabschätzung, Patientenexposition, Dosisrekonstruktion*
Keywords *— dose estimation, patient exposure, dose reconstruction*

1. Einleitung

Eine Trendanalyse der medizinischen Strahlenexposition der vergangen Jahrzehnte zeigte eine stetige Zunahme der medizinischen Strahlenexposition. Dies ist im Wesentlichen auf die Zunahme an Computertomographie (CT)-Untersuchungen zurückzuführen. Zurzeit gibt es keine praktikable Möglichkeit zur systematischen individuellen medizinischen Datenerfassung der Strahlenexposition, die für Abschätzungen des Krebsrisikos genutzt werden können. Im Rahmen einer Machbarkeitsstudie für die Nationale Kohorte wurde die retrospektive Erfassung der medizinischen Strahlenexposition untersucht. Hier berichten wir über Methodik und erste Ergebnisse der Abschätzung der Organdosen der Studienteilnehmer auf der Basis selbstberichteter Röntgenuntersuchungen.

2. Methoden

Für die Dosisberechnung wurden drei Methoden entwickelt, die je nach Datenzusammensetzung implementiert werden können. Diese Methoden sind in Abbildung 1 zu sehen. Methode1 ist implementierbar, wenn patientenspezifische Daten vom RIS (Radiologisches Informations-System) für die Dosisberechnung zur Verfügung stehen. Wenn nur Angaben zur Untersuchungsart und Jahr vorkommen, wird Methode 2 benutzt. Bei fehlenden Angaben zum Untersuchungsjahr wird Methode3 eingesetzt.

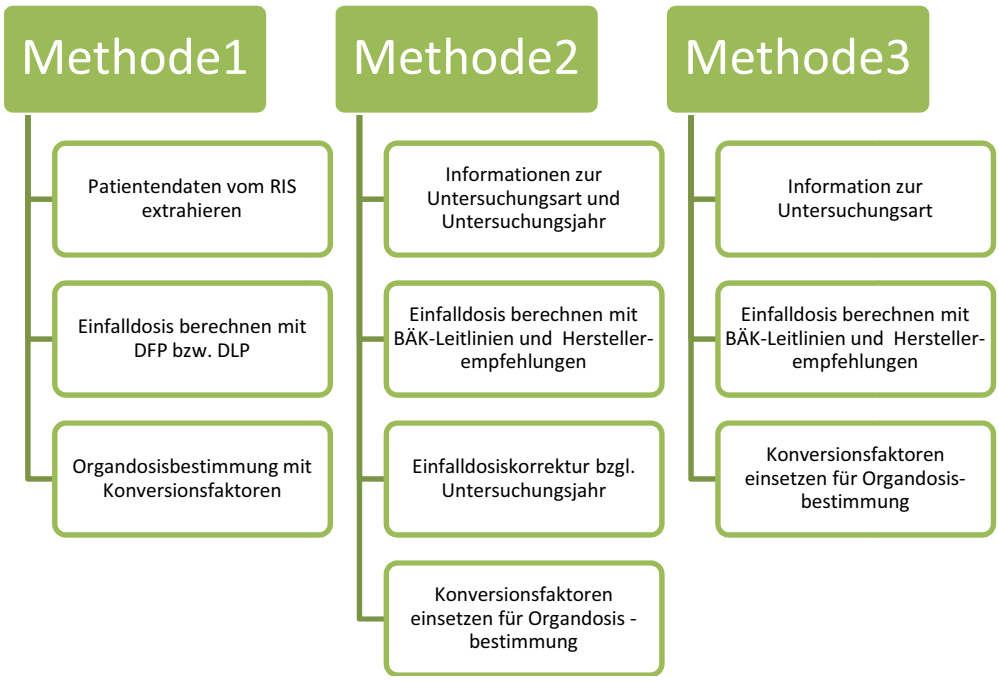


Abbildung1: Darstellung der Methoden zur Dosisberechnung

Weil die selbstberichteten Daten nur Angaben zur Untersuchungsart, Jahr und der Häufigkeit, mit der jeder Teilnehmer untersucht wurde, lieferten, wurde zunächst Methode2 eingesetzt. Die fehlenden patientenspezifischen Informationen für die Röntgenuntersuchungen wurden mithilfe

der Leitlinien der Bundesärztekammer zur Qualitätssicherung in der Röntgendiagnostik und Hersteller Empfehlungen zu Aufnahmetechniken bzw. Einstelltechniken ergänzt.
Die Organdosis wurde mithilfe der unten stehenden Formeln aus der DIN 6809-3 bestimmt. Zuerst wurde mithilfe von entweder (1) oder (2) die Einfalldosis bestimmt. Danach wurde die berechnete Einfalldosis mit organspezifischen Konversionsfaktoren aus Drexler et al [2] multipliziert um die Organdosis zu erhalten.

$$Einfalldosis_1 = \frac{(DFP)}{(A_{R.F})} * \left(\frac{(FFA)}{(FHA)}\right)^2 \quad (1)$$

DFP : Dosis-Flächen-Produkt
FHA : Film-Haut-Abstand
FFA : Film-Fokus-Abstand
A_{RF} : Bestrahlte Fläche

$$Einfalldosis_2 = Y_{100} * I_T * t * \left(\frac{100\,cm}{(FHA)cm}\right)^2 \quad (2)$$

Y_{100} : Dosisausbeute
I_T*t : Stromzeitprodukt

$$Organdosis = H_{Organ} * Einfalldosis_{1/2} * f_t(org) \quad (3)$$

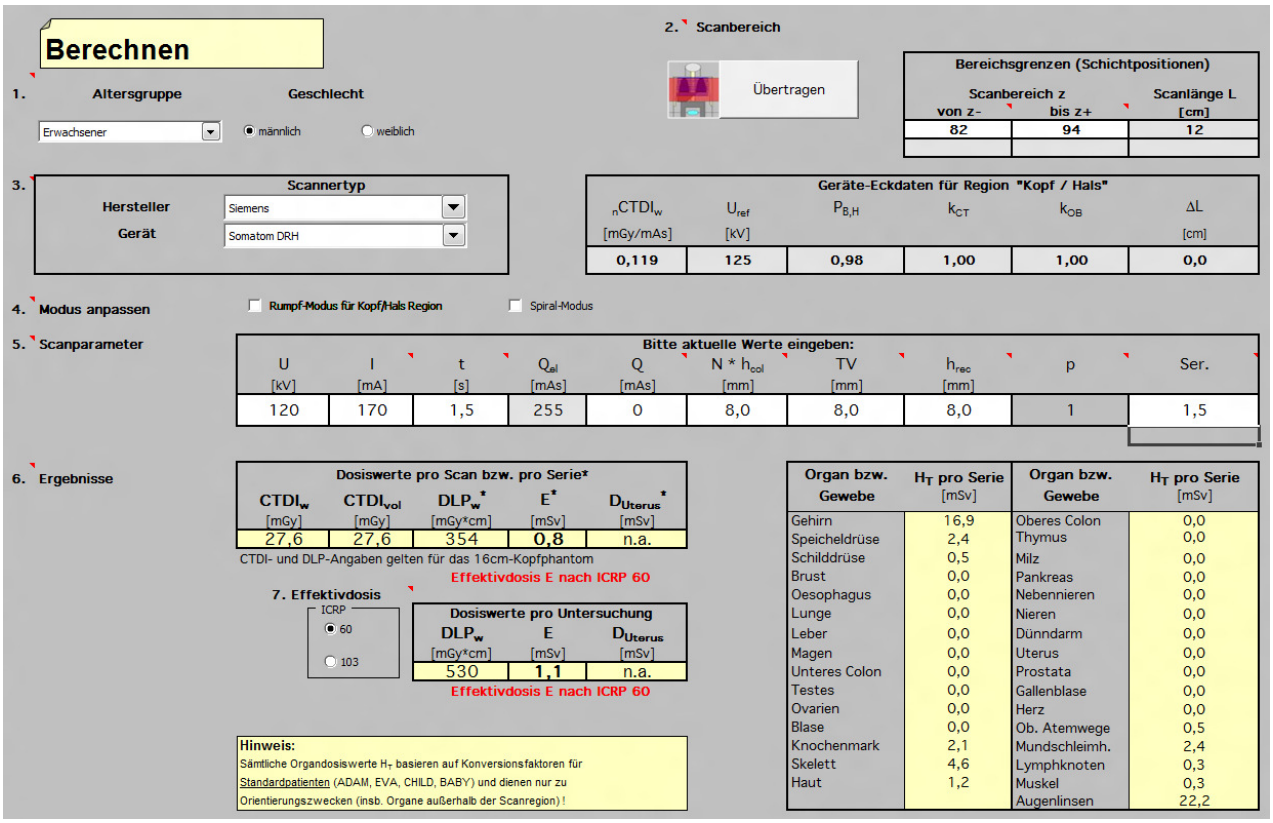


Abbildung 2: Berechnungsmodul von CT-Expo für die Organdosisbestimmung

Bei den CT-Untersuchungen wurde die Organdosis mit dem Programm CT-Expo berechnet. Scannertyp, Scanparameter sowie die Standard CT-Untersuchungsregionen mit Angabe der anatomischen und geometrischen Grenzen des Scanbereichs wurden aus [5] entnommen. Sie wurden in das Berechnungsprogramm (Abbildung 2) eingegeben, um die Organdosis zu erhalten.

3. Ergebnisse

Die selbstberichteten durchgeführten Röntgenuntersuchungen und CT-Untersuchungen sind in Abbildung 3 dargestellt. Bei Röntgenuntersuchungen waren am häufigsten Zahnaufnahmen (80% der Teilnehmer), gefolgt von Untersuchungen des Brustraums (58%), sowie oberen Extremitäten wie Elle (32%), Hand (27%) und Schulterbereich (26%). Knapp unter die Hälfte (45%) aller Studienteilnehmer hatten jemals eine CT-Untersuchung. Am meisten wurden Untersuchungen des Kopfes (21%) gefolgt von denen des Lendenwirbelsäule (11%), und Brustraum beziehungsweise Bauchraum mit jeweils (8 %) durchgeführt.

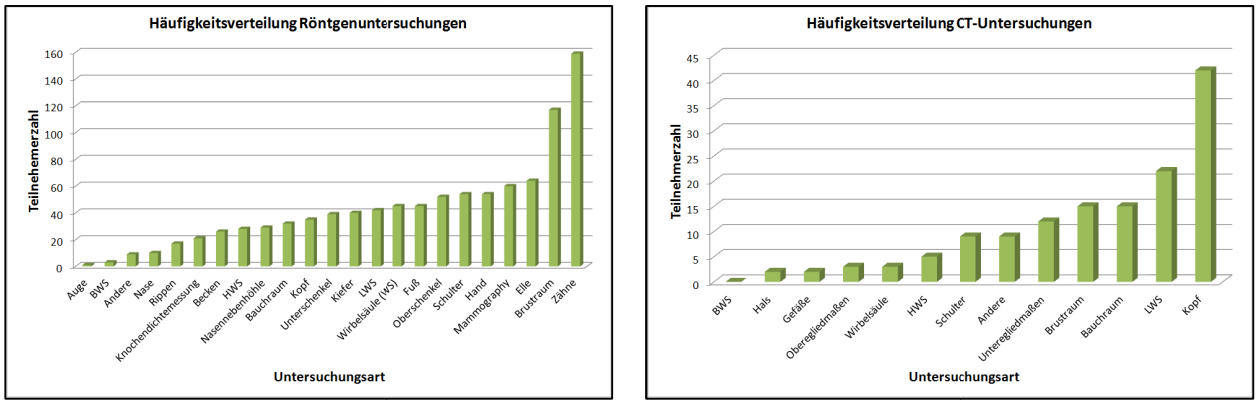


Abbildung 3: Häufigkeitsverteilung selbstberichteter Untersuchungen

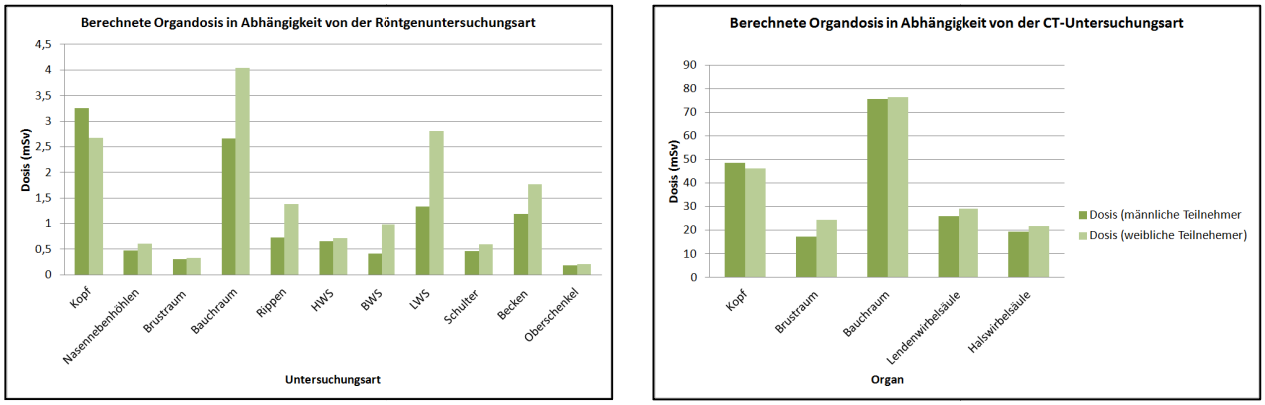


Abbildung 4: Dosis per berechneter Röntgen- bzw. CT-Untersuchungsart für die männlichen und weiblichen Teilnehmer

Für 11 Röntgenuntersuchungsarten sowie für 5 CT-Untersuchungsarten wurde eine Dosisberechnung durchgeführt. Dies ist in Abbildung 4 zu sehen. Im Durchschnitt ist die Organdosis bei CT-Untersuchungen ein Faktor 10 höher als bei einer Röntgenuntersuchung. Bei allen Untersuchungsarten, ausgenommen der Kopfuntersuchung, haben weibliche Teilnehmer mehr

Dosis als die männlichen Teilnehmer erhalten. Abbildung 5 zeigt anhand des Beispiels der Kopfuntersuchung die Organdosis Zuordnung. In beiden Fällen wurde die höchste Dosis an den Augenlinsen appliziert. Ein Vergleich der Dosen zeigt, dass im Durchschnitt bei der CT-Untersuchung eine Faktor 10 höhere Dosis appliziert wurde.

Abbildung 6 stellt die Häufigkeitsverteilung der Effektiven Dosis aller Teilnehmer durch Röntgen- und CT-Untersuchungen dar. In beiden Fällen haben die meisten Teilnehmer durch Röntgenuntersuchungen eine Effektive Dosis von 0,3 mSv oder weniger bzw. durch CT-Untersuchungen 4,5 mSv oder weniger pro Teilnehmer erhalten

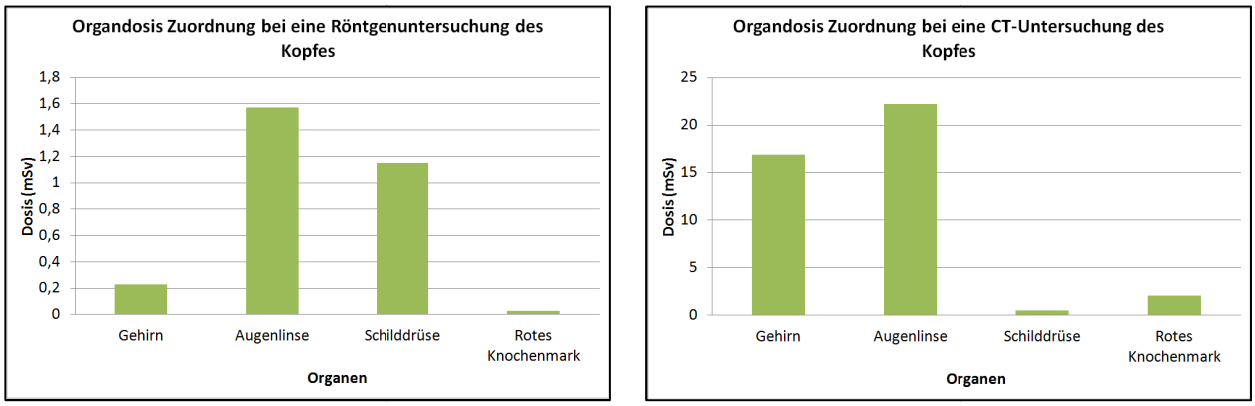


Abbildung 5: Dosiszuordnung einer Röntgen- bzw CT-Untersuchung des Kopfes am Gehirn, Augenlinse, Schilddrüse und Rotes Knochenmark

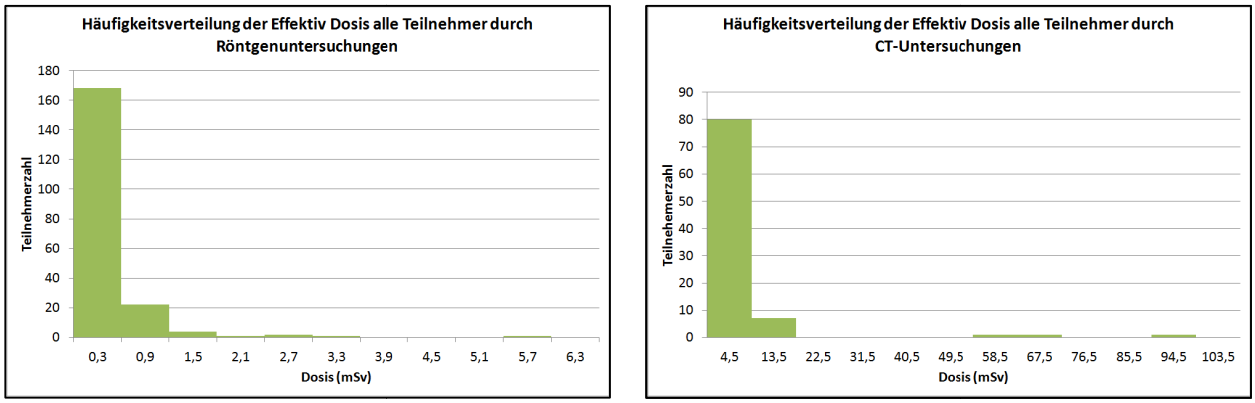


Abbildung 6: Häufigkeitsverteilungen der Effektiven Dosen aller Teilnehmer durch Röntgen- und CT-Untersuchungen

4. Diskussion

Trotz des relativ geringen Untersuchungsaufkommens der CT-Diagnostik im Vergleich zur Röntgendiagnostik, trägt die CT-Diagnostik am meisten zur Strahlenexposition bei. Auf der Grundlage der mit Fragebogen ermittelten Daten besteht die prinzipielle Möglichkeit, unter Berücksichtigung der unterschiedlichen Kalenderperioden, eine Dosisabschätzung bzw. Dosisrekonstruktion durchzuführen.

5. Literaturverzeichnis

[1] Umweltradioaktivität und Strahlenbelastung im Jahr 2009. Quelle: http://nbn-resolving.de/urn:nbn:de:0221-201103305424

[2] Drexler G, Panzer W, Stieve FE, Widenmann L, Zankl M. Die Bestimmung von Organdosen in der Röntgendiagnostik. Berlin: H. Hofmann GmbH-Verlag, 1993

[3] Nagel HD (Hrsg), Galanski M, Hidajat N, Maier W, Schmidt Th. Strahlenexposition in der Computertomographie – Grundlagen, Einflußfaktoren, Dosisermittlung, Optimierung, Zahlenwerte, Begriffe. 3. Überarbeitete und aktualisierte Auflage. Hamburg: CTB-Publications, 2002

[4] Galanski M, Nagel HD, Stamm G. Expositionsdosis bei CT-Untersuchungen: Ergebnisse einer bundesweite Umfrage im Jahre 1999. Fortsch. Röntgenstr. 2001; 173: R1 – R66

[5] Galanski M, Nagel HD, Stamm G. CT-Expositionspraxis in der Bundesrepublik Deutschland – Ergebnisse einer bundesweiten Umfrage im Jahre 1999

[6] Bundesärtzekammer. Leitlinien der Bundesärtzekammer zur Qualitätssicherung in der Computertomographie

[7] Bundesärtzekammer. Leitlinien der Bundesärtzekammer zur Qualitätssicherung der Röntgendiagnostik

MULTIKOLLEKTOR-MASSENSPEKTROMETRIE MIT INDUKTIV GEKOPPELTEM PLASMA – ALS EINE METHODE FÜR DIE RADIONUKLIDBESTIMMUNG IM sub-mBq-AKTIVITÄTSBEREICH

MULTICOLLECTION INDUCTIVELY COUPLED PLASMA MASS-SPECTROMETRY – AS A TOOL FOR DETERMINATION OF LONG-LIVED RADIONUCLIDES IN sub-mBq ACTIVIY-LEVEL

M.V. Zoriy[1], M. Burow[1], P. Hill[1], R. Lennartz[1]

[1] Forschungszentrum Jülich GmbH, Wilhelm-Johnen-Straße, D-52425 Jülich

Zusammenfassung
In den letzten Jahren hat sich die induktiv gekoppelte Plasma Massenspektrometrie (ICP-MS) zu einer schnellen und nachweisstarken Multielement-Analysentechnik entwickelt. Sie wird zur Bearbeitung einer Vielzahl von analytischen Aufgaben, insbesondere im Bereich der Elementspurenanalytik, eingesetzt. In dieser Arbeit wird die Leistungsfähigkeit eines Multikollektor-Massenspektrometers mit induktiv gekoppeltem Plasma (MC-ICP-MS Neptune/Plus) für die Bestimmung von langlebigen Radionukliden im sub-mBq Aktivitätsbereich untersucht. Die Ergebnisse der erste Messung (Stabilität, Genauigkeit, Robustheit, Reproduzierbarkeit, Nachweisgrenzen) des MC-ICP-MS im FZJ sind präsentiert. Die Resultate sind in guter Übereinstimmung mit erwarteten Werten und zeigen dass die Nachweisgrenzen in der Höhe von 1.66E-6 Bq/L, 4.4E-08 Bq/L und 1.88E-8 Bq/L entsprechend für U-234, U-235 und U-238 erreicht werden können. Weitere Ergebnisse für die Nachweisgrenzen von ausgewählten Radionukliden wie z.B. Cm-244, Np-237, Ra-226 und Tc-99 liegen in mBq L^{-1} Aktivitätsbereich und sind abhängig von der spezifischer Aktivität (bzw. HWZ) des bestimmendes Radionuklides.

Summary
In the last few years inductively coupled plasma has become one of the most suitable and quick multielemental analytical technique. It will be successfully established in many application fields, in particular, in the elemental analytic in ultra-trace concentration level. In current work the capability of Multi-Collector Inductively Coupled Plasma Mass Spectrometer (MC-ICP-MS, Neptune/Plus) for determination of long-lived Radionuclides in sub-mBq activity levels will be examined. The results of the validation (stability, accuracy, robustness, reproducibility) of the MC-ICP-MS FZJ are presented. The Results are in a good agreement with the expected values and shows that with the developed procedure the LOD for U-234, U-235 and U-238 of 1.66E-6, 4.4E-08 and 1.88E-8, respectively could be achieved. Further results for the LODs of the selected radionuclides, for example, Cm-244, Np-237, Ra-226 und Tc-99 are in the mBq L^{-1} activity region and are dependent on the specific activity of the determined radionuclide.

Schlüsselwörter *—MC-ICP-MS, Nachweisgrenze, Uran, Cm-244, Np237, Ra-226,Tc-99*
Keywords *—MC-ICP-MS, Limit of Detection, Uran, Cm-244, Np237, Ra-226,Tc-99*

1. Einleitung

Auf dem Gebiet der Strahlenschutz und Strahlenüberwachung werden zurzeit überwiegend radioanalytische Messtechniken eingesetzt, wozu die Alpha-, Beta- und die Gammaspektrometrie gehören. Für die Bestimmung kurzlebiger Radionuklide sind diese Analysentechniken sehr effizient und nicht zu ersetzen.
Für die Charakterisierung schwach radioaktiven Probenmaterials, welches überwiegend langlebige Radionuklide mit einer Halbwertszeit von mehr als 10^4 Jahren enthält, sind diese Analysentechniken in vielen Fällen weniger vorteilhaft. Bedingt durch lange Messzeiten ist der Probendurchsatz gering.
In den letzten Jahren hat sich die induktiv gekoppelte Plasma Massenspektrometrie (ICP-MS) zu einer schnellen und nachweisstarken Multielement-Analysentechnik entwickelt. Sie wird zur Bearbeitung einer Vielzahl von analytischen Aufgaben, insbesondere im Bereich der Elementspurenanalytik, eingesetzt[1]. Aufgrund ihrer universellen Einsetzbarkeit eignet sich die ICP-Massenspektrometrie auch für die Bestimmung von langlebigen Radionukliden[2-3].
In dieser Arbeit wird die Leistungsfähigkeit eines Multikollektor-Massenspektrometers mit induktiv gekoppeltem Plasma für die Bestimmung von langlebigen Radionukliden im sub-mBq Aktivitätsbereich untersucht (in besonders für die Inkorporation- und Umweltüberwachung untersucht und über die erste Messungen bereichtet).

2. Experimentelles und Methodenbesreibung

Zum Einsatz kommt ein Multikollektor ICP-MS-System „Neptune/Plus“ installiert im Forschungszentrum Jülich GmbH, Geschäftsbereich Sicherheit und Strahlenschutz. Die Methode ist über einen großen Konzentrationsbereich sehr empfindlich. Unter Berücksichtigung der spezifischen Aktivitäten müssen aus der ermittelten Massenkonzentration die Aktivitätskonzentration errechnet werden.
Eine schematische Aufbauzeichnung des MS-ICP-MS zeigt Abb. 1.

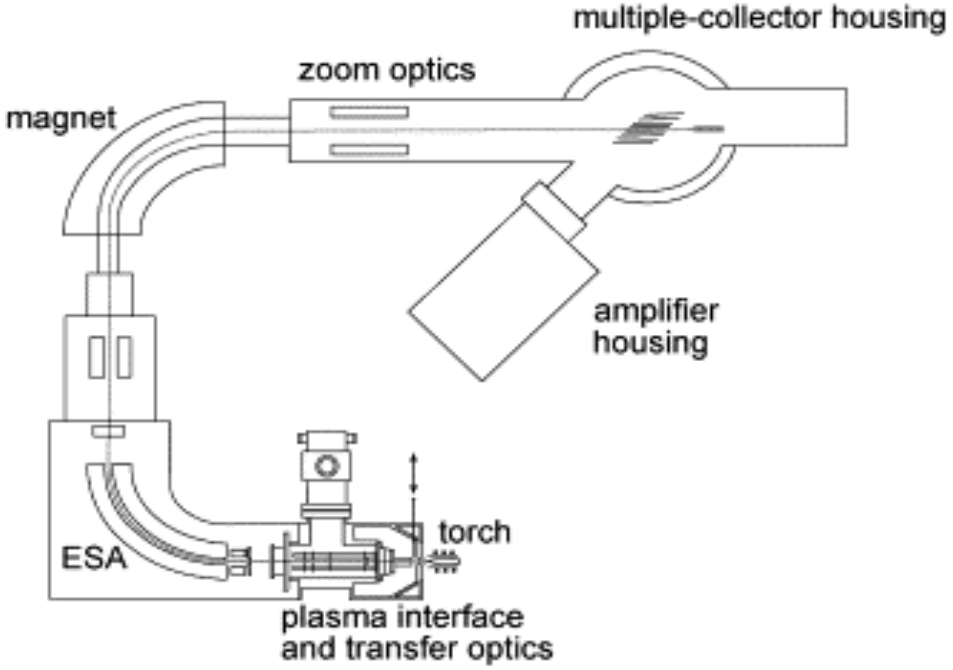


Abb. 1: Schematische Aufbauzeichnung des Multikollektor-ICP-MS „Neptune/Plus“ Thermo Fisher Scientific [operating manual]

Die wässrigen Proben zur ICP-MS-Analytik (werden) mittels eines MicroFlow Zerstäuber (ESI Elemental Service & Instruments GmbH) direkt eingesetzt. Im Zerstäuber erzeugt die turbulente Strömung des Zerstäubergasflusses aus der zugepumpten Probenflüssigkeit ein Aerosol das in das Plasma geleitet wird. Dabei verdampfen zunächst die Lösungsmittel, danach schmelzen und verdampfen die gelösten Substanzen. Beim weiteren Durchströmen des Plasmas werden die entstandenen Moleküle atomisiert und hauptsächlich durch Elektronenstoß ionisiert.
Aus dem Plasmasinterface werden die Ionen dann in den dahinter liegende Hochvakuum – Bereich gesogen. Der Ionenstrahl wird vor Erreichen des Massenfilters in der Ionenlinse fokussiert.
Im Massenfilter erfolgt die Auftrennung der Ionen nach dem Verhältnis von Masse zu Ladung mittels der Wirkung des Elektrostatischen und des Magnetfeldes auf bewegte Ladungsträger.
Nach erfolgtem Trennschritt erreichen die Ionen das Detektor System (im vorhandenen MC-ICP-MS „Neptune/Plus“ Instrument besteht aus Reihe von Faraday Cups sowie auch einen Photoelektronenvervielfacher) und werden detektiert.

3. Ergebnisse und Zusammenfassung

3.1 Ansprechemfindlichkeit

Die Ansprechempfindlichkeit des MC-ICP-MS mit einer U(nat) Standardlösung mit einer Konzentration von 10 ng l^{-1} getestet worden. Abb. 2 zeigt das Signal von $^{238}U^{+}$, wobei zunächst Blinwerte, dann U-238 (10ppt) und abschließend zur Bestimmung von Gedächtnis-Effekten wieder Blindwerte gemessen wurden („BLW-10ppt U-BLW“ Verfahren).

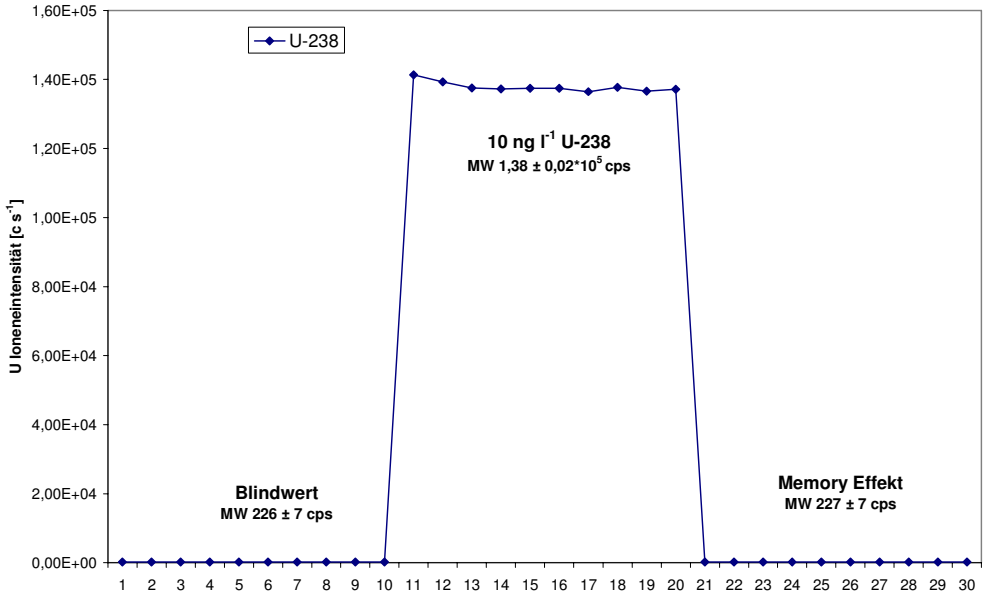


Abb.2: Transientes $^{238}U^{+}$ Signal während der kontinuierlichen Messung von „BLW-10ppt U-BLW“ Verfahren

Die Uran Ansprechempfindlichkeit des MC-ICP-MS “Neptune” wird wie folgt berechnet (s. Gl. 1).

$$S_U = (I_{st} - I_b)/(C_{st} * Abb_U) \quad (1)$$

$$S_U=(1{,}38*10^5-227)/(10*0.9999) = 1{,}38*10^4 \ [cps\ ppt^{-1}]$$

wobei

I_{st} Zählrate der Standardlösung [cps]

I_b Zählrate des Blindwertes [cps]

C_{st} Konzentration der Standardlösung [ppt]

S_U Ansprechempfindlichkeit des MC-ICP-MS [cps ppt^{-1}]

Abb_U Häufigkeit des gemessenen Isotope

ist.

3.2 Nachweisgrenze

Anhand der in Abb.2 ermittelten Werte kann mit Hilfe der "Blindwertmethode" die Nachweisgrenze für Uran berechnet werden (s. auch G 2):

$$NWG_{Ux} = 3*\sigma_{bx}/S_{Ux} \quad (G\ 2)$$

wobei

NWG_{Ux} – Nachweisgrenze für Uran"Ux"

σ_{bx} – Standardabweichung der gemessenen ^{X}U-Intensität in der Blindprobe [cps]

S_{Ux} – Ansprechempfindlichkeit des MC-ICP-MS [cps ppt^{-1}], ist.

Mit Hilfe der Gleichung 1 wird die NWG_{U-238} für U-238 wie folgt berechnet:

$$NWG_{U-238} = 3*7/1{,}38*10^4 = 1{,}5*10^{-3}\ ppt = 1{,}52\ fg/ml^{-1}$$

Mit Hilfe der spezifischen Aktivität werden die NWG der U Isotope in Bq l^{-1} umgerechnet so dass die NWG für U-234, U-235 und U-238 in der Höhe von NWG_{U234}=2 µBq L^{-1}, NWG_{U235}=44 nBq L^{-1}, NWG_{U238}=20 nBq L^{-1}, entsprechend sind. Alle NWG sind in Tab. 1 aufgeführt:

Tab. 1:Berechnete NWG verschiedener U-Isotope analysiert mit dem "Neptune/Plus" MC-ICP-MS

	Specifische Aktivität *Bq/g*	Standard – Abweichung des Blindwertes *cps*	MC-ICP-MS Empfindlichkeit		NWG	
			Cps ppt^{-1}	*cps Bq^{-1}*	*fg ml^{-1}*	*Bq L^{-1}*
^{234}U	$2{,}29*10^8$	$8{,}0*10^{-2}$	$1{,}38*10^4$	$6{,}03*10^7$	$7{,}2*10^{-3}$	$1{,}66*10^{-6}$
^{235}U	$8{,}00*10^4$	2,47	$1{,}38*10^4$	$1{,}73*10^{11}$	$5{,}37*10^{-1}$	$4{,}40*10^{-8}$
^{238}U	$1{,}24*10^4$	7,0	$1{,}38*10^4$	$1{,}11*10^{12}$	1,52	$1{,}88*10^{-8}$

Die NWG sind ermittelt worden aus „matrix-freier“ wässriger Lösung. Bei realen Proben können die NWG bedingt durch den Matrixeffekt signifikant höher sein. Die NWG kann man entsprechend verbessern indem man vor der Messung eine selektive Radionuklidtrennung vornimmt (z.B. mit Hilfe der Automatisierten Trennungssystem[4]).

3.3 Genauigkeit

Die Genauigkeit der Uran-Bestimmung mittels MC-ICP-MS ist in Abb. 3 dargestellt. Die Ergebnisse zeigen eine sehr gute Übereinstimmung zwischen gemessenem und erwarteten Werten. Die Genauigkeiten der Messung in NIST 2670, SRL-1 und SRL-2 Standard Lösungen sind im Bereich von 0% bis 2.8%.

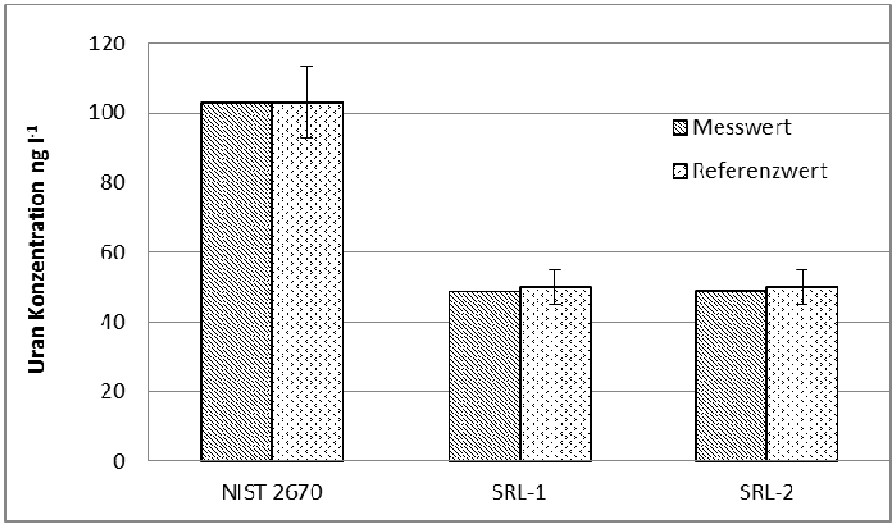


Abb. 3 Gemessene Uran Konzentrationen in Referenzmaterialien

3.4 Stabilität

Die Stabilität der Messungen der Urankonzentration wurde mit einer 5-stündigen Messzeit erfasst. Abbildung 4 stellt die Signalstabilität des ^{238}U Isotope dar und zeigt dass die Präzision der Messung im Bereich von -1,1% zu 1,8% stabil ist.

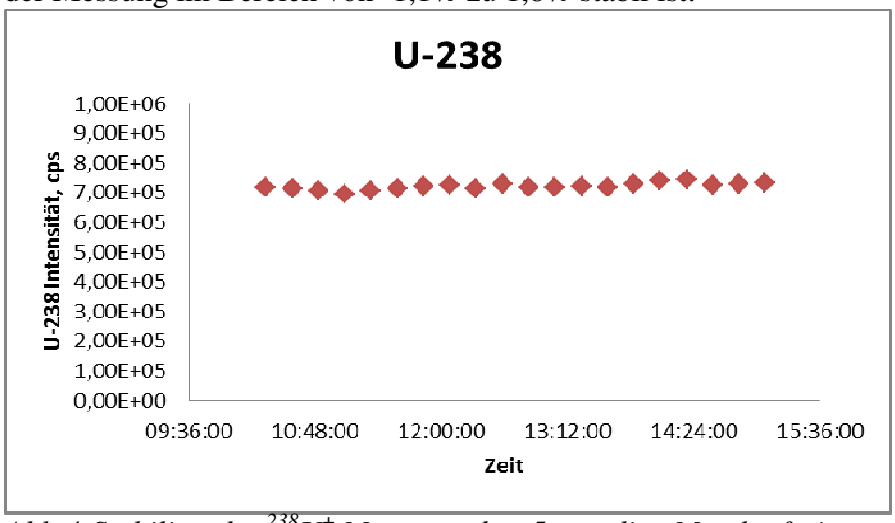


Abb.4:Stabilität der $^{238}U^{+}$ Messung über 5-stundige Messlaufzeit.

3.5 Leistungsfähigkeit des MC-ICP-MS für die Bestimmung von weiteren Radionukliden

Auch die Leistungsfähigkeit des MC-ICP-MS für die Bestimmung anderer spezifischer Radionklide wie z.B. Cm-244, Ra-226, Np-237 sowie Tc-99 wurde mit Standardlösungen getestet (siehe Tabelle 2)

Nuklid	HWZ, a	NWG	
		fg ml^{-1}(10^{-15}g ml^{-1})	Bq L^{-1}
^{244}Cm	18,10	$8,92*10^{-2}$	$2,67*10^{-1}$
^{226}Ra	1600	$2,03*10^{-1}$	$7,43*10^{-3}$
^{237}Np	$2,14*10^{6}$	1,49	$3,89*10^{-6}$
^{99}Tc	$2,10*10^{5}$	4,3	$2,74*10^{-3}$

Tab. 2:Berechnete NWG für Cm-244, Ra-226, Np-237 und Tc-99 Radionukliden gemessenen mittels MC-ICP-MS „Neptune/Plus“

Es wurde gezeigt das die erreichten Nachweisgrenzen (berechneten mit Hilfe des „Blindwertwert Methode“) für ausgewählte Radionuklide im mBq L^{-1} Aktivitätsbereich (liegen) und abhängig von der spezifischen Aktivität (bzw. HWZ) des Radionuklids sind. Die gesamte Messzeit für jede Messung beträgt ca. 2 min (ohne Probenvorbereitung)

Bemerkung: Die NWG sind ermittelt worden aus „matrix-freier“ wässriger Lösung. Bei realen Proben können die NWG bedingt durch den Matrixeffekt signifikant höher sein. Die NWG kann man entsprechend verbessern indem man vor der Messung eine selektive Radionuklidtrennung vornimmt (eine zusätzliche Aufkonzentrierung, z.B. mit Hilfe eines Automatisierten Trennungssystem4 führ) direkt proportional zur NWG Verbesserung).

4. Literaturverzeichnis

[1] S. Becker, Handbook: Inorganic Mass Spectrometry, John Wiley: Chichester. .2010

[2] Zoriy, M. et. all Int. J. Mass Spectrom. 264 (2007) 175-180

[3] Zoriy, et all, Int. J. of Mass Spectrom., 242 (2005), 203 – 209

[4] Burow, et all, Leben mit Strahlung – von den Grundlagen zur Paxis, Tagungsbeiträge, 6 Gem.Tagung des ÖVS und FS. (2009), 100-105

DIE STRAHLENMESSSTELLE DES LIA.NRW

C. Scholl[1], W. Lieberz[1], A. Vetter[1], K. Wunschik[1], T. Rack[1], S. Blinda[1], T. de Boer[1], K. Große-Klußmann[1], J. Langwald[1], B. Zipper[1]

[1] Landesinstitut für Arbeitsgestaltung des Landes Nordrhein-Westfalen

Zusammenfassung

Das Labor der Fachgruppe Strahlenschutzdienste des Landesinstituts für Arbeitsgestaltung des Landes Nordrhein-Westfalen (LIA.NRW) ist eine überwachende unabhängige Messstelle. Zu den Aufgaben der Strahlenmessstelle gehören die Umweltüberwachung im Rahmen des Strahlenschutzvorsorgegesetzes (StrVG) für den Regierungsbezirk Düsseldorf und die Überwachung kerntechnischer Anlagen in Nordrhein-Westfalen gemäß der Richtlinie zur Emissions- und Immissionsüberwachung kerntechnischer Anlagen (REI). Die Strahlenmessstelle des LIA.NRW ist eine behördlich bestimmte Messstelle für die Inkorporationsüberwachung gemäß der Richtlinie für die physikalische Strahlenschutzkontrolle zur Ermittlung der Körperdosis (RiPhyKo) und betreibt einen Ganzkörperzähler und Ausscheidungsanalytik. Weiterhin unterhält das LIA.NRW eine Strahlenschutz-Rufbereitschaft und ist Ansprechpartner der Ordnungsbehörden in NRW für Fälle der nuklearen Nachsorge und der nuklearspezifischen Gefahrenabwehr.

AUTOMATISIERTES SCHNELLVERFAHREN ZUR BESTIMMUNG VON NI-63 IN RÜCKBAU- UND UMWELTPROBEN

AUTOMATED RAPID METHOD FOR THE DETERMINATION OF NI-63 IN DECONSTRUCTION OF NUCLEAR FACILITIES- AND ENVIRONMENTAL SAMPLES

M. Bach, R. Flucht, M. Burow, M.V. Zoriy

Forschungszentrum Jülich GmbH, S-BA, 52425 Jülich, Deutschland

Zusammenfassung

Da der Rückbau von kerntechnischen Anlagen in den nächsten Jahren stetig voranschreitet, ist ein Schnellverfahren zur Bestimmung von Ni-63 in Rückbauproben notwendig. Das im radiochemischen Labor der Abteilung Sicherheit und Strahlenschutz entwickelte Verfahren, basierend auf der Bestimmung von Nickel-63 im Abwasser mit extraktionschromatographischen Verfahren aus dem Jahr 2000[1], optimiert die Probenvorbereitung. Proben verschiedener Matrizes werden mittels nasschemischer Verfahren für die extraktionschromatographische Trennung vorbereitet.

Die Proben werden manuell mittels Schlauchpumpe oder mit einem automatisierten Trennsystem auf eine extraktionschromatographische Trennsäule aus Ni-Resin[2] gegeben. Nickel bildet einen Dimethylglyoximkomplex (DMG) und kann chromatographisch getrennt werden. Die Aktivität des Ni-63 wird anschließend im Flüssigszintillationszähler (LSC) gemessen, die Ausbeutebestimmung erfolgt mittels MC-ICP-MS. Die Ausbeuten des Ni-Träger sind größer 90% bei einer Wiederholgenauigkeit von unter 15%.

Das Verfahren ermöglicht eine einfache und schnelle Probenvorbereitung mit einer Nachweisgrenze von 0,1 Bq/l.

Summary

Because of the increasing demand on the deconstruction of nuclear facilities in the last few years, a rapid method for the determination of Ni-63 in einvironmental samples is required. At Jülich, Division of Safety and Radiation Protektion we have establisched a routine method, based on the determination of Ni-63 in the environmental samples using extraction chromatography separation from 2000[1] and optimize the sample preparation. Samples of different matrices were prepared by wet chemical methods for the extraction chromatography separation. For the separation the samples were introduced manually via a peristaltic pump or by using developed automated separation system equiped with the extraction chromatography column of Ni-Resin. Nickel[2] forms a Dimethylglyoximkomplex (DMG) and can be separated. The activity of the Ni-63 then were measured bei means of liquid scintillation counter (LSC), the recovery was determined using MC-ICP-MS. The yields of the Ni-carrier for the develped procure was higher than 90% with the accuracy below 10%. The developed method allows the relatively simple and fast determination of Ni-63 in environmental samples with a detection limit of 0.1 Bq / l.

Schlüsselwörter *— Bestimmung von Ni-63, Automatisiertes Trennverfahren, Schnellverfahren, extraktionschromatographische Trennung*

Keywords *— Determination of Ni-63, Automated separation technique, rapid method, extraction chromatographic separation*

1.Einleitung

Während der Laufzeit eines Atomkraftwerks fallen durch den Kernzerfall große Mengen radioaktiven Abfalls in Form von kontaminierten Gebäudeteilen an. Die während des Rückbaus auf die emittierten Nuklide hin gemessen werden. Eines der Elemente, das als Aktivierungsprodukt im Reaktor entsteht, ist Ni-63. Dieses kann sowohl in den Emissionen eines Kraftwerkes als auch in den während der Rückbauphase anfallenden Materialien nachgewiesen werden.
Während der Stilllegungs- und Rückbaumaßnahmen wird ein erhöhtes Probenaufkommen erwartet. Zu diesem Zweck wurde eine schnelle und einfache Ni-63 Probenvorbereitung entwickelt, die es einem Labor erlaubt, nach wenigen Stunden Ni-63 mittels LSC zu messen. Durch eine weitgehende Automatisierung des Verfahrens wurden der Chemikalienverbrauch sowie der Zeitaufwand minimiert und die Reproduzierbarkeit gesteigert.

2.Material und Probenvorbereitung

Als Nickel-Trägerlösung wurde eine CentriPur® Ni-Standardlösung 1000mg/L der Firma Merck KGaA (Darmstadt, Deutschland) verwendet. Die verwendeten Säuren und Oxidationsmittel sind alle pro analysis grade (Merck).
Die Waschlösung, 0,2 Ammoniumcitrat mol/l wurde aus Ammoniumcitrat der Firma Sigma-Aldrich Chemie GmbH (Schnelldorf, Deutschland) hergestellt und der pH-Wert mit Ammoniak von Merck eingestellt. Das verwendete Ni-Resin wurde bei Eichrom Technologies, LLC (Lisle, USA) erworben. Das verwendete Wasser zum Eluieren und verdünnen der Säuren, ist hoch reines deionisiertes Wasser (18 MΩ cm-1), welches von einer Millipore Direct-Q-8 Wasseraufbereitungsanlage gewonnen wurde (Merck Millipore Billerica, USA).
Für die Ni-63 Messung mittels LSC wurde der Flüssigszintillator Ultimagold von Perkin Elmer ((Waltham, Massachusetts, USA) benutzt.

2.2 Geräte und Verbrauchsmaterial

Zum Eindampfen der Proben wurde ein Handelsüblicher Oberflächenverdampfer genutzt.
Zur Messung des Ni-63 wurde der Flüssigszintillationszähler, HIDEX 300SL verwendet (FCI Frenzel Consulting & Instruments). Die chemische Ausbeute wurde mittels NEPTUNE Plus high-performance multicollector ICPMS bestimmt (Thermo Fisher Scentific GmbH).

2.3 Probenaufbereitung

Zur Ausbeutebestimmung werden zum Aliquot der Probe 1mg Ni gegeben.
Bei festen Matrices wird 1/3 der Probe verascht und anschließend schwach sauer mit Salzsäure ausgelaugt. Zur Abtrennung des Eisens muss die Probe über TRU-Resin extraktionschromatographisch vorbehandelt werden.
Die Probe wird in einer Quarzschale unter einem Oberflächenverdampfer bis zur vollständigen Trockenheit eingeengt und in wenig konzentrierter Salzsäure gelöst. Anschließend werden 2-3 Tropfen Hydrogenperoxid zugesetzt und die Probe abgeraucht. Dieser Vorgang wird 3-4mal wiederholt. Anschließend wird die Probe in 2ml konzentrierter Salzsäure aufgenommen und in ein 10ml PE-Röhrchen überführt. Die Probe wird mit 0,2 M

Ammoniumcitratlösung (pH = 8-9) auf 10ml aufgefüllt. Der pH-Wert wird mit Ammoniak 25% zwischen 8,5 und 9 eingestellt.
Eine Säule mit Ni-Resin wird vorbereitet und mit 20ml 0,2 M Ammoniumcitratlösung (pH = 8-9) konditioniert wird. Danach wird die Probe (10 ml) auf die Säule gegeben, mit 20ml 0,2 M Ammoniumcitratlösung (pH = 8-9) gewaschen und die Lösung verworfen. Das Nickel wird mit 3 ml konzentrierter Salpetersäure und 7ml deion. Wasser in ein 10ml PE-Zentrifugenröhrchen eluiert.
Die Trennung über die Säule erfolgt über ein automatisiertes Trennsystem.
Die Ausbeutebestimmung erfolgt für Ni mit einer 1:1000 Verdünnung aus den Eluaten mittels MC- ICP-MS Messung.

5ml des Eluates werden in ein 20 ml Szintillationsgefäß pipettiert, mit 2ml 25%ige Ammoniaklösung und mit 13 ml eines Szintillators (z. B. UltimaGold)versetzt und gut vermischt.

2.4 Automatisiertes Trennsystem TSM [5]

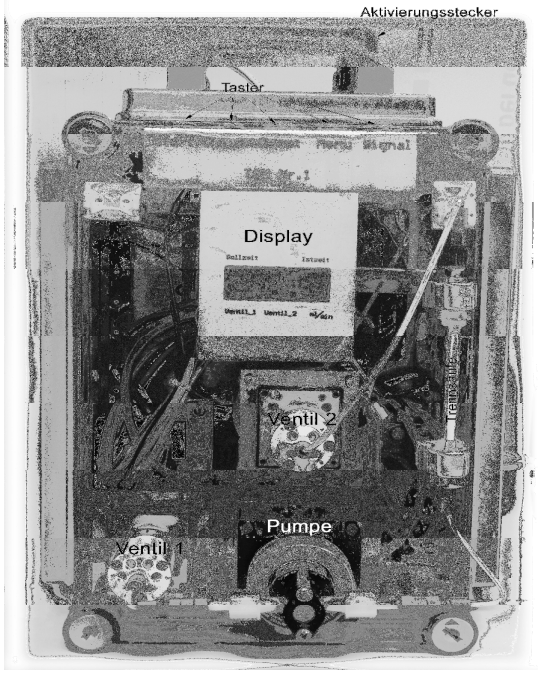


Abb.1: TSM (Trennsäulen Modul) Automatisiertes Trennsystem

Das automatisierte Trennsystem TSM ermöglicht bei einer einfachen Bedienung einen hohen Probendurchsatz, so wie auch gute Reproduzierbarkeit der Ausbeuten.

Automatisierte Funktionen für die Ni-Trennung sind:

- Konditionierung der Säule
- Laden der Probe auf die Säule
- Waschen der Säule
- Eluieren des Ni-63

Über die mit LabVIEW™ (National Instruments Germany GmbH) programmierte Oberfläche lassen sich Parameter für die automatisierte Trennung festlegen. Die Parameter werden über einen USB-Anschluss auf das Trennsystem (TSM) gespielt. Es ist möglich vier verschiedene Programme auf einem TSM zu speichern.
Das TSM erlaubt es dem Benutzer bis zu sechs Lösungen inkl. der Probenlösung automatisch auf die Säule zu geben oder die Säule zu waschen und in vier Auffangbehälter zu spülen.

In der folgenden Abbildung 2 ist schematisch das Belegen der Säule durch Probe- bzw. Wasch- und Elutionslösungen für Ni dargestellt.

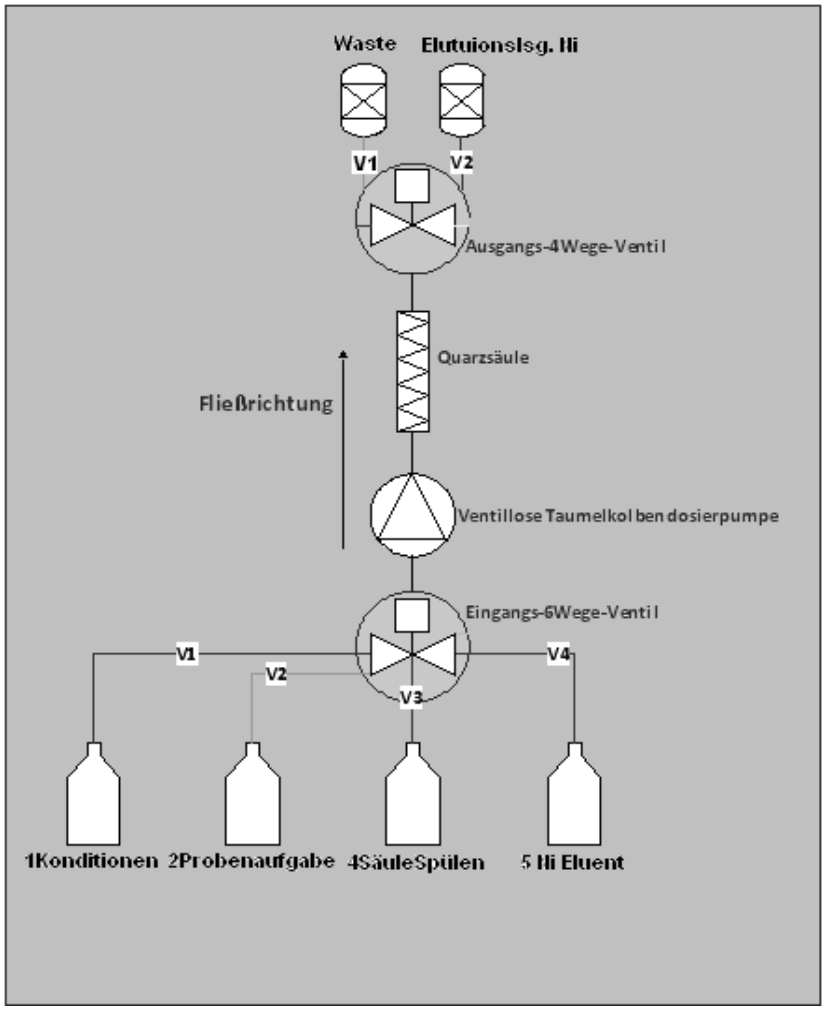


Abb.2: Fließschema der Hauptkomponenten und Verbindungen des TSM (Exemplarisch für 1 Säule Ni)

4. Ergebnisse und Zusammenfassung

Durch gleich bleibend ablaufende Bedingungen bei der Probenvorbereitung, sowie konstante Parametereinstellungen am TSM wie Fließgeschwindigkeit, Volumina der Wasch- und Elutionslösungen, wurden chemische Ausbeuten des Ni-Träger von größer 90% bei einer Wiederholgenauigkeit von unter 15%. Die Ausbeutebestimmung erfolgte mittels MC-ICP-MS.

In Tabelle 1 sind einige der Ergebnisse der Versuchsmessungen von Ni-63 zusammengestellt. Es wurden Proben mit unterschiedlicher Aktivität über 600s gemessen, die aus einer Standardlösung angesetzt wurden. Die Abweichung zwischen Messwert und zu erwartendem Wert beträgt 5-10%.

Tab. 1: Versuchsmessung von Ni-63 in Wässriger Lösung

Proben-Nr.	Sollwert Ni-63 [Bq]	Messwert Ni-63 [Bq]	Abweichung [%]
1	0	-	-
2	5,7	5,4	5%
3	11,4	10,4	9%
4	22,8	20,7	10%

5. **Danksagungen**

Die Autoren danken Dr. Peter Hill für seine kritische Durchsicht der Arbeit und Frau Martina Froning für wertvolle Hinweise.

6. **Literaturverzeichnis**

[1] M. Beyermann, D. Obrikat, *Bestimmung von Eisen-55 und Nickel-63 im Abwasser mit extraktionschromatographischen Verfahren H-Fe-55/Ni-63-AWASS-01*, Version Oktober 2000, www.bmu.de

[2] Nickel Resin, NI-B50A, Triskem International, http://www.triskem-international.com

[3] M.Froning (AKI), private Mitteilung

[4] Xiaolin Hou *Radiochemical Analysis of 3H, 14C, 55Fe, 63Ni in Waste and Environmental Samples, Risø National Laboratory for Sustainable Energy,* Technical University of Denmark, www.nks.org

[5] C.Schumacher, M.Burow, R.Flucht, P.Hill, M.Zoriy, *Entwicklung eines portablen, automatisierten Systems für die Trennung von Radionukliden mittels Säulenchromatographie* (in diesem Band)

ENTWICKLUNG EINES PORTABLEN, AUTOMATISIERTEN SYSTEMS FÜR DIE TRENNUNG VON RADIONUKLIDEN MITTELS SÄULENCHROMATOGRAPHIE

DEVELOPMENT OF A PORTABLE, AUTOMATED SYSTEM FOR THE SEPARATION OF RADIONUCLIDES BY COLUMN CHROMATOGRAPHY

C. Schumacher, M. Burow, R. Flucht, P. Hill, M. Zoriy

Forschungszentrum Jülich GmbH, S-BA, 52425 Jülich, Deutschland

Zusammenfassung
Die Bestimmung der chemischen Ausbeute ist eine der wichtigsten Aufgaben in der Radioanalytik. Kleine Änderungen im pH-Wert und Temperaturschwankungen führen zu unkontrollierbaren Prozessbedingungen. Um die Reproduzierbarkeit der chemischen Trennung zu verbessern wurde im radiochemischen Labor in JÜLICH ein separates Trennsäulenmodul (TSM) entwickelt. Mit diesem System ist es möglich, auch in sehr salzhaltigen Proben wie Urin, durch Anwendung von unterschiedlichen Eluenten und Ionenaustauschern verschiedene Elemente zu trennen. Bisher wurden die Methoden für die Elemente Am, Pu und U erfolgreich entwickelt. Die Automatisierung ermöglicht einen größeren Durchsatz an Proben und eine erhebliche Zeitersparnis. Durch den Einsatz von größeren Probenmengen können die erreichbaren Nachweisgrenzen reduziert werden (die Trennungszeit steigt). Es wurden Parameter wie Fließgeschwindigkeit und chemische Ausbeute untersucht. In dieser Arbeit wurde versucht, ein kompaktes, portables und einfach zu bedienendes Gerät zu entwickeln. Das neue System ermöglicht durch einfache Bedienung per Laptop eine schnelle Durchführung diverser Trennverfahren.

Summary *The determination of the chemical recovery is one of the most important challenges in the radiochemical analysis. Small changes at the pH-value and temperature changes lead to uncontrollable conditions in process. To improve the reproducibility of the chemical determination a separate separating column system (TSM) was developed at the analytic laboratory at JÜLICH . Using the TSM it is possible to separate nuclides by applying variable eluents and ion exchangers also in samples with a very high salt content like urine. Up to now the methods are developed for the elements U, Am and Pu. The automation provides a bigger number of analysed samples per working day and a remarkable economy of time. Due to the increasing of the sample volume it is possible to improve the detection limit of overall analytical procedure (time needed for separation increases). Experimental parameters like rate of flow and chemical recovery were tested.*
In this progress it was tried to develop a dense portable system which is easy to use. This new TSM allows a realisation of various separating processes by the easy handling via laptop.

Schlüsselwörter *: separates Trennsäulenmodul, Americium, Plutonium, Uran*
Keywords *: separate separating column system, americium, plutonium, uranium*

1. Einleitung

Im Laboralltag ist es von großer Bedeutung, die Arbeitsprozesse ständig zu modernisieren und zu beschleunigen.
Besonders im Strahlenschutz ist es wichtig, dass auch Proben, die einer aufwändigeren Vorbereitung bedürfen, schnellstmöglich untersucht werden können. Gerade bei Zwischenfällen muss das Analysenergebnis so schnell wie möglich vorliegen, um eine Inkorporation von radiotoxischen Elementen auszuschließen bzw. Maßnahmen einzuleiten. Doch nicht nur für Ausnahmefälle, sondern auch für ein großes Aufkommen an Routineproben muss ein geeignetes und effizientes Verfahren eingesetzt werden.
Ein wichtiger Schritt ist dabei die Automatisierung des Trennverfahrens. Dabei ist jedoch zu beachten, dass bestimmte Kriterien wie die Reproduzierbarkeit und die Einhaltung von Nachweisgrenzen gewährleistet werden [1].
Im Folgenden wird ein Trennsäulenmodul (TSM) vorgestellt, welches in der α-Spektrometrie zur Personenüberwachung in Form der Ausscheidungsanalyse eingesetzt wird.

2. Material und Probenvorbereitung

Die zu untersuchende Urinprobe wird mit internem Standard versetzt und im Rotationsverdampfer eingeengt. Anschließend wird sie im Muffelofen verascht, in 100 mL der benötigten Säure gelöst und filtriert.
Durch den Zusatz bestimmter Chemikalien wird die Wertigkeit einzelner Nuklide eingestellt. Die Probenlösung wird auf vorkonditioniertes Resin aufgegeben. Durch die Vorbehandlung werden störende Anionen und Kationen der Alkali - und Erdalkaligruppe schon von der Matrix getrennt. Die auf dem Austauscher verbleibenden Nuklide werden mit den entsprechenden Säuren eluiert ([1] - [5]).

2.1 Chemikalien und Lösungen

Für die säulenchromatografische Trennung wurden die Ionenaustauscher „DGA normal“ und „DGA branched“ der Firma Triskem International verwendet.
Folgende Säuren werden für die Trennung benötigt:
HCL 4 M
HCL 1 M
HCL 0,025 M
HNO_3 5 M
HNO_3 3 M
HNO_3 konz. sb. Merck
Die verwendeten Säuren sind alle pro analysis grade Merck. Zur Verdünnung wird hoch reines deionisiertes Wasser aus einer Millipore Direct-Q-8 Wasseraufbereitungsanlage verwendet.
Bei der Probenvorbereitung werden zusätzlich folgende Chemikalien der Firma Merck benötigt:
Ammoniumoxalat 0,05 M
Natriumnitrit
Ascorbinsäure
Eisen(III)-chlorid 0,5 M
Interne Standards; ^{232}U, ^{233} U, ^{242}Pu, ^{243}Am,

2.2 Trennsäulenmodul TSM

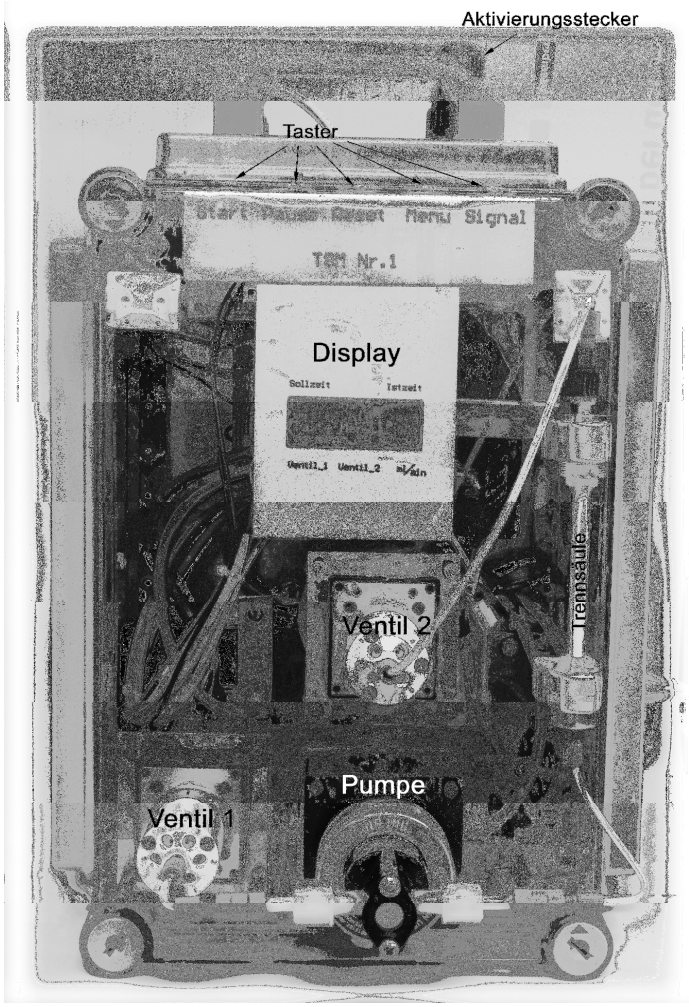


Abb.1: Trennsäulenmodul
- Ventil 1: Eingangsventil mit 6 Positionen; wird elektronisch angesteuert über RS232-Schnittstelle
- Pumpe: ventillose Taumelkolbendosierpumpe; wird elektronisch angesteuert über PWM-Signal
- Trennsäule
- Ventil 2: Ausgangsventil mit 4 Positionen; wird elektronisch angesteuert über RS232-Schnittstelle
- Tasten: "Start", "Pause", "Rest", "Menü", "Signal"

Das Trennsäulenmodul wird durch die Software "LabView 2012 ™ (National Instuments)“ gesteuert. Es können bis zu vier verschiedene Programmdateien über eine USB-Schnittstelle auf das Modul übertragen und gespeichert werden. Folgende Parameter können verändert werden:

- Pos. 1: Volumen der benötigten Proben- bzw. Säuremenge in ml
- Pos. 2: Trennungsschritte
- Pos. 3: Pause ja/nein
- Pos. 4: Ansteuerung Ventile Eingang

- Pos. 5: Ansteuerung Ventile Ausgang
- Button 6: Durchflussgeschwindigkeit
- Button 7: Programm über Dateiname einlesen
- Button 8: Datei speichern
- Button 9: Konfigurieren

Der Benutzer hat die Option, Pausen einzubauen und sich durch ein Warnsignal darauf aufmerksam machen zu lassen oder das Gerät völlig selbstständig das gesamte Trennverfahren durchlaufen zu lassen.
Durch die Ansteuerung der verschiedenen Ein- und Ausgangsventile könne vor Trennungsbeginn alle Auffanggefäße sowie alle benötigten Lösungen in Position gebracht werden, sodass die Trennung nicht beaufsichtigt werden muss. Dadurch kann das TSM auch völlig selbstständig z. B. über Nacht arbeiten.

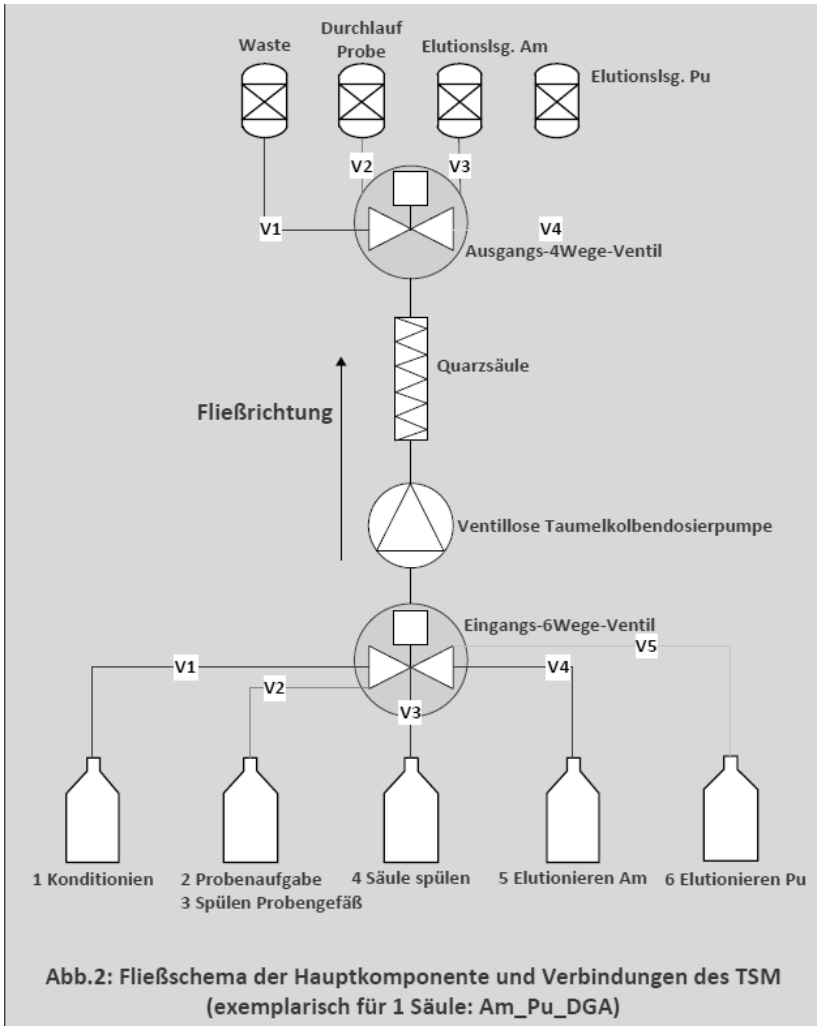


Abb.2: Fließschema eines TSM exemplarisch für die Trennung von Americium und Plutonium in einer Probe

Bei der Bestimmung mehrerer Nuklide in einer Probe wie Am oder Pu werden diese nacheinander eluiert. Durch das luftdichte Gehäuse kann auch mit konzentrierteren Säuren gearbeitet werden, ohne dass die empfindliche Elektronik angegriffen wird.

Im Display wird der aktuelle Arbeitschritt ständig angezeigt und eine Zeitanzeige gibt eine Übersicht über die verbleibende Programmdauer. Durch einen Pausen-Knopf kann das Programm jederzeit angehalten und wieder fortgesetzt werden. Jedes Programm gliedert sich grundsätzlich in folgende Einzelschritte [6]:

- Konditionieren
- Probenaufgabe
- Probengefäß spülen
- Säule spülen
- Eluieren

In Abbildung 2 ist der schematische Aufbau eines TSM zu sehen.

3. Ergebnisse und Zusammenfassung

Es wurden jeweils 6 Urinproben sowohl für die Uranbestimmung, als auch für die Am-/Pu-Bestimmung analysiert. Tabellen 1 und 2 zeigen die erreichten Ausbeuten und Erkennungsgrenzen bzw. Nachweisgrenzen.
Es wurde Uran in jeder der 6 Proben mit der α-Spektrometrie sowie mit der induktiv gekoppelten Massenspektrometrie (ICP-MS) simultan bestimmt. Außerdem wurden die Nuklide Americium und Plutonium jeweils nebeneinander in 6 weiteren Proben bestimmt.

Tab. 1: Erzielte Ausbeuten für die parallele Uranbestimmung in Urin mittels induktiv gekoppelter Massenspektrometrie (ICP-MS) und der Alpha-Spektrometrie. Es sind die mit der ICP-MS erreichten Nachweisgrenzen[1], sowie die mit der Alpha-Spektrometrie erzielten Erkennungsgrenzen[2] angegeben.

Nr	Uran							
	ICP-MS				Alpha			
		U-234	U-235	U-238		U-234	U-235	U-238
	Ausbeute	NWG	NWG	NWG	Ausbeute	EKG	EKG	EKG
	%	Bq/Probe	Bq/Probe	Bq/Probe	%	Bq/Probe	Bq/Probe	Bq/Probe
1	67	1,00E-04	1,00E-04	1,00E-04	59,6	1,60E-04	3,10E-04	1,30E-04
2	68	1,00E-04	1,00E-04	1,00E-04	99,2	1,80E-04	1,70E-04	1,40E-04
3	53	2,10E-04	1,00E-04	1,00E-04	68,7	2,80E-04	2,50E-04	2,10E-04
4	75	1,00E-04	1,00E-04	1,00E-04	92,4	1,50E-04	1,40E-04	7,50E-05
5	65	1,00E-04	1,00E-04	1,00E-04	92,8	4,10E-04	1,30E-04	1,20E-04
6	56	1,00E-04	1,00E-04	1,00E-04	99,3	1,30E-04	1,20E-04	6,40E-05

[1] Nachweisgrenze für ICP-MS nach DIN 32645 mit k=3
[2] Erkennungsgrenze gemäß DIN 25482 Teil 1 Zählstatistische Messung ohne Berücksichtigung des Probenbehandlungseinflusses;

Tab. 2: Ausbeuten und Erkennungsgrenzen[2] der simultanen Am- und Pu-Bestimmung mittels Alphaspektrometrie

Nr.	Americium		Plutonium		
		Am-241		Pu-238	Pu-239
	Ausbeute	EKG	Ausbeute	EKG	EKG
	%	Bq/l	%	Bq/l	Bq/l
7	98,4	2,70E-04	57,9	3,90E-04	3,20E-04
8	92,5	3,50E-04	75,3	3,80E-04	1,90E-04
9	79,5	3,50E-04	67,6	8,30E-05	1,30E-04
10	86,1	2,50E-04	79,7	2,10E-04	2,90E-04
11	107,1	2,80E-04	63,3	2,70E-04	3,80E-04
12	95,7	2,90E-04	79,1	3,60E-04	1,80E-04

Die erhalten Ausbeuten sind alle höher als 50 % und liegen zum größten Teil weit darüber. Die Erkennungsgrenzen sind alle weit unter einem mBq. Somit lässt sich feststellen, dass sich die Einführung dieser automatischen Trennsäulenmodule in die Routineanalytik als sehr nützlich erwiesen hat.
Durch eine Überprüfung der Durchflussgeschwindigkeiten der Taumelkolbenpumpe (2mL/min) wurde sichergestellt, dass die Abweichung dauerhaft unter 10 % liegt. Zusätzlich wurde eine Blindwertkontrolle der TSM ohne Matrix (Untergrundmessung) durchgeführt.
Nach Spektrenauswertung der α -Spektrometrie im Energiebereich von 3 bis 7 MeV wurden keine Signale detektiert.

4. Danksagung

Wir danken Herrn Gerhard Henschke für die technische Realisierung der Trennsäulenmodule.

5. Literaturverzeichnis

[1] M. Burow, R. Flucht, P. Hill, P. Ostapczuk, P. Zoriy, R. Lennartz *Automatisierung der Nuklidtrennung für Alpha- und Beta- Bestimmung in gesättigten Salzlösungen* In: Leben mit Strahlung – von den Grundlagen zur Praxis. TÜV-Verlag (2009) pp. 100 – 105

[2] Eikenberg J_, Jaggi M, Beer H, Ruthi M, Zumsteg I. *Separation techniques for low-level determination of actinides in soil samples*, Applied Radiation And Isotopes **2009**, 67(5), 776-780.

[3] Becker JS, Burow M, Zoriy MV, Pickhardt C, Ostapczuk P, Hille R. *Determination of uranium and thorium at trace and ultratrace levels in urine by laser ablation ICP-MS*, Atomic Spectroscopy **2004**, 25(5), 197-202.

[4] Extraktions Chromatographie, Triskem Sharing Innovation

[5] C.Dirks, B. Scholten, S.Happel et al., *Characterization of a Cu selective resin and its application to the prodcution of Cu-64,* J. of Radioanal. Nucl. Chem, 286 (2010) 671-674

[6] G.Henschke, *Betriebsanleitung TSM* (FZJ S-M; Stand vom 28.02.2012)

Autorenverzeichnis

Name Seite

A
Azzam Jai, T. 107, 113

B
Bach, M. 169
Biegard, N. 136
Blinda, S. 168
Boer, T. de 168
Breckow, J. 107, 113, 156
Breustedt, B. 17, 136, 152
Burow, M. 162, 169, 174

C
Cordes, G. 136

E
Ehret, V. 107, 113
Erb, J. 143
Eschner, W. 17

F
Fiebich, M. 156
Flucht, R. 169, 174
Froning, M. 119, 124, 130

G
Gehrcke, K. 3
Gerstmann, U. 119
Giessing, R. 54
Greul, C. 150
Große-Klußmann, K. 168

H
Hartmann, M. 119
Hill, P. 124, 130, 162, 174
Hingmann, H. 107, 113
Hoeppener-Kramar, U. 150

J
Jach, N. 107, 113
Jahn, S.-G. 62

K
Kloth, M. 99
Kraut, W. 143

Name Seite

L
Langwald, J. 168
Lennartz, R. 162
Lieberz, W. 168

M
Marzocchi, O. 152
Merzenich, H. 156
Michel, R. 30
Mohr, U. 136
Mostacci, D. 152
Müller, W.-U. 13

N
Nees, S. 150
Ningo, A. 156
Nosske, D. 17

O
Obi, N. 156
Oehm, J. 99
Orovwighose, T. 107, 113

P
Pöttgen, S. 156

R
Rack, T. 168
Reidenbach, H.-D. 74
Rößler, F. A. 107, 113

S
Samkange-Zeeb, F. 156
Schanze, T. 107, 113
Schläger, M. 130
Scholl, C. 168
Schumacher, C. 174
Schwarz, W. 143
Severitt, S. 99
Sobetzko, T. 99
Spittel, G. 140
Steinbach, P. 150
Stuhlfauth-Vonderau, H. 140

U
Urban, M. 152

Name Seite

V
Vahlbruch, J.-W. 62
Vetter, A. 168
Völkle, H. 42

W
Wunschik, K. 168

Z
Zeeb, H. 156
Zipper, B. 168
Zoriy, M. 119, 130, 162, 169, 174
Zürcher, M. 9

Publikationen des Fachverbandes für Strahlenschutz e. V.

*FS-04-127-AKSIGMA **Nachweisgrenzen und Erkennungsgrenzen bei Kernstrahlungsmessungen: Spezielle Anwendungen**
Hrsg.: R. Michel, TÜV Media GmbH, Köln, August 2004, ISSN 1013-4506, ISBN: 3-8249-0836-0

*FS-04-128-T **Nichtionisierende Strahlung – Sicherheit und Gesundheit**
36. Jahrestagung des Fachverbandes für Strahlenschutz Köln, 31. August bis 2. September 2004, ‚Bandhrsg.: H.-D. Reidenbach, K. Dollinger, J. Hofmann, TÜV Media GmbH, Köln, August 2004, ISSN 1013-4506

*FS-05-129-AKSIGMA **Determination of the Detection Limit and Decision Threshold for Ionising Radiation Measurements: Fundamentels and Particulars Application (Proposal for a Standard)**
K. Weise, K. Hübel, R. Michel, E. Rose, M. Schläger, D. Schrammel, M. Täschner, TÜV Media GmbH, Köln 2005, ISSN 1013-4506

Leitfäden „Nichtionisierende Strahlung“ (Download: www.fs-ev.de unter AKNIR):

FS-05-130-AKNIR **Sonnenstrahlung**, Stand: 25.1.2006
FS-05-131-AKNIR **Ultraviolettstrahlung künstlicher Quellen**, Stand: 25.2.2005
FS-05-132-AKNIR **Sichtbare und infrarote Strahlung**, Stand: 25.2.2005
FS-05-133-AKNIR **Laserstrahlung**, Stand: 25.2.2005
FS-05-134-AKNIR **Lichteinwirkung auf die Nachbarschaft**, Stand: 25.2.2005
FS-05-135-AKNIR **Elektromagnetische Felder**, Stand: 25.2.2005
FS-05-136-AKNIR **Infraschall**, Stand: 25.2.2005
FS-05-137-AKNIR **Ultraschall**, Stand: 5.4.2005

*FS-05-138-AKE **Leitfaden für die praktische Umsetzung des § 29 StrlSchV (Freigabeleitfaden)**
Ausgabe 3, Stand: 8. Dezember 2005, Arbeitskreis Entsorgung, TÜV Media GmbH, Köln 2005, ISSN 1013-4506, Download unter www.fs-ev.de

*FS-05-139 –T **Strahlenschutz-Aspekte bei der Entsorgung radioaktiver Stoffe**
37. Jahrestagung des FS gemeinsame mit dem ÖVS, Basel 20.–23.9.2005, Bandhrsg.: A. Zuberbühler, M. Baggenstos, N. Zoubek, A. Janett, TÜV Media GmbH, Köln, September 2005, ISSN 1013-4506, ISBN 3-8249-0961-8

FS-06-140/CD **Chronik 1966–2006 – Daten, Fakten und Notizen zur 40-jährigen Geschichte des FS**
Juni 2006, Redaktion: D. E. Becker, H. H. Brunner, K. Henrichs, R. Maushart, Download unter www.fs-ev.de

*FS-06-141-T **Strahlenschutzaspekte bei natürlicher Radioaktivität**
38. Jahrestagung des FS, 19.-22.9.2006 in Dresden, Bandhrsg.: E. Ettenhuber, R. Giessing, E. Beier, A. Bayer, TÜV Media GmbH, Köln, September 2006, ISBN 978-3-8249-1024-3

*FS-07-142-AKN **Vorkehrungen und Maßnahmen bei radiologischen Ereignissen**
5. Seminar des Arbeitskreises Notfallschutz Augsburg, 25.–27. April 2007 Bandhrsg.: A. Bayer, H. Faleschini, S. Krüger, Chr. Strobl, TÜV Media GmbH, Köln, ISSN 1013-4506, ISBN 978-3-8249-1053-3

*FS-07-143-AKNAT **Optimierung der Auswahl von Messmethoden zur Bestimmung natürlicher Radionuklide**
Arbeitskreis natürliche Radioaktivität, T. Heinrich, L. Funke, M. Köhler, U.-K. Schkade, F. Ullrich, W. Löbner, J. Höpner, D. Weiß, TÜV Media GmbH, Köln 2007, ISSN 1013-4506, ISBN 978-3-8249-1066-3

*FS-07-144-T **Ion Beams in Biology and Medicine**
39. Jahrestagung des FS vom 26. zum 29. September 2007 in Heidelberg and 11th workshop of Heavy Charged Particles in Biology and Medicine Bandhrsg.: J. Debus, K. Henrichs, G. Kraft, TÜV Media GmbH, Köln 2007, ISSN 1013-4506, ISBN 978-3-8249-1071-7

FS-07-145-AKA **AKA-Prüfungskatalog**
Arbeitskreis Ausbildung, 2007, Download: www.fs-ev.de unter AKA

*FS-08-146-AKN **Fragen des radiologischen und nuklearen Notfallschutzes aus medizinischer Sicht**
Gemeinsames Seminar des Arbeitskreises Notfallschutz und des Deutschen WHO REMPAN-Zentrums 2.–4.4.2008 in Würzburg, Bandhrsg.: A. Bayer, W. Kirchinger, Chr. Reiners, R. Schneider, TÜV Media GmbH, Köln 2008, ISSN 1013-4506, ISBN 978-3-8249-1133-2

*FS-08-147-AKU **Moderne Routine- und Schnellmethoden zur Bestimmung von Sr-89 und Sr-90 bei der Umweltüberwachung**
Bericht einer Ad-hoc-Arbeitsgruppe des Arbeitskreises Umweltüberwachung, TÜV Media GmbH, Februar 2008, ISSN 1013-4506, ISBN 978-3-8249-1119-6

FS-08-148-AKE **Stilllegungsvarianten für Anlagen, die nach Atom- oder Strahlenschutzrecht genehmigt wurden**
Positionspapier des Arbeitskreises Entsorung, 2008, Download: www.fs-ev.de unter AKE

*FS-08-149-T **Kompetenz im Strahlenschutz – Ausbildung, Weiterbildung und Lehre**
40. Jahrestagung des Fachverbandes für Strahlenschutz e. V.; Johannes Gutenberg-Universität Mainz – 15.–19. September 2008; Bandhrsg.: R. Michel, M. Täschner und H.-G. Vogt, TÜV Media GmbH, Köln 2008, ISSN 1013-4506, ISBN 978-3-8249-1193-6

*FS-09-150-T **Leben mit Strahlungen – von den Grundlagen zur Praxis**
41. Jahrestagung des Fachverbandes für Strahlenschutz e. V. in Kooperation mit dem ÖVS, Alpbach, Tirol, 21. bis 25. September 2009; Bandhrsg.: F. J. Maringer, R. Czarwinski, T. Geringer, A. Brandl, A. Steurer, TÜV Media GmbH, Köln 2009, ISSN 1013-4506, ISBN 978-3-8249-1316-9

FS-09-151-AKU **Die Richtlinie zur Emissions- und Immissionsüberwachung kerntechnischer Anlagen – Ein kommentierter Vergleich der Fassungen von 1993/96 und 2006**
erarbeitet von einer Ad-hoc-Arbeitsgruppe des Arbeitskreises Umweltüberwachung, E.-M. Friedland, L. Izquierdo, P. Klein, A. Lochte, Th. Steinkopff, A. Wicke, M. Winter, 2010, Download: www.fs-ev.de unter AKU

*FS-2010-152-AKN **Übungen zum radiologischen und nuklearen Notfallschutz – Planung, Durchführung – Auswertung**
7. Seminar des Arbeitskreises Notfallschutz, Augsburg, 10. bis 12. März 2010 Bandhrsg.: A. Bayer, J. Faleschini, K. Gölling, R. Stapel, Chr. Strobl, TÜV Media GmbH, Köln 2010, ISSN 1013-4506, ISBN: 978-3-8249-1147-9

*FS-2010-153-T **Natürliche und künstliche Radionuklide in unserer Umwelt**
42. Jahrestagung, des Fachverbandes für Strahlenschutz e. V., Borkum, 26.–30. September 2012, Bandhrsg.: A. Neu, A. Bayer, T. Steinkopff, TÜV Media GmbH, Köln 2012, ISSN 1013-4506, ISBN 978-3-8249-1389-3

*FS-2011-154 **Berufsbilder im Strahlenschutz. Beispiele für berufliche Tätigkeiten im Strahlenschutz und die vielfältigen Wege dorthin**
Hrsg: R. Maushart, TÜV Media GmbH, Köln 2012, ISSN 1013-4506, ISBN 978-3-8249-1450-0, Download: www.fs-ev.de unter Literatur

*FS-2011-155-T **Nichtionisierende Strahlung in Arbeit und Umwelt**
43. Jahrestagung des Fachverbandes für Strahlenschutz e. V., Dortmund, 19.–21. September 2011, Bandhrsg.: H.-D. Reidenbach, K. Dollinger, G. Ott, TÜV Media GmbH, Köln 2011, ISSN 1013-4506, ISBN 978-3-8249-1458-6

FS-2011-156-AKNIR **Sonnenstrahlung**
Arbeitskreis Nichtionisierende Strahlung, in Vorbereitung

FS-2011-157-AKNIR **UV und künstlicher Quellen**
Arbeitskreis Nichtionisierende Strahlung, in Vorbereitung

FS-2011-158-AKNIR **Leitfaden „Sichtbare und infrarote Strahlung“**
Arbeitskreis Nichtionisierende Strahlung, Download: www.fs-ev.de, AKNIR

FS-2011-159-AKNIR **Leitfaden „Laserstrahlung“**
Arbeitskreis Nichtionisierende Strahlung; Download: www.fs-ev.de, AKNIR

FS-2011-160-AKNIR **Lichteinwirkung auf die Nachbarschaft**
Arbeitskreis Nichtionisierende Strahlung, in Vorbereitung

FS-2011-161-AKNIR **Elektromagnetische Felder**
Arbeitskreis Nichtionisierende Strahlung, in Vorbereitung

FS-2011-162-AKNIR **Infraschall**
Arbeitskreis Nichtionisierende Strahlung, in Vorbereitung

FS-2011-163-AKNIR **Ultraschall**
Arbeitskreis Nichtionisierende Strahlung, in Vorbereitung

FS-2011-164-AKA-Netz **Hinweise für die Durchführung von Unterweisungen für Tätigkeiten nach RöV und StrlSchV**
Arbeitskreis Ausbildung, Oktober 2004, Download: www.fs-ev.de unter AKA

FS-2011-165-AKA-Netz **Muster-Strahlenschutzanweisungen für den Betrieb und die Prüfung, Erprobung, Wartung und Instandsetzung von Röntgeneinrichtungen und Störstrahlern nach §§ 3, 4, 5 und 6 RöV**
Arbeitskreis Ausbildung, Mai 2010, Download: www.fs-ev.de unter AKA

Mit * bezeichnete Publikationen sind über den Buchhandel, die übrigen bei den im Sigel angegebenen Arbeitskreisen. bzw. von der Webseite des Fachverbandes für Strahlenschutz e. V. zu beziehen.

<u>StrahlenschutzPRAXIS</u>, die Vierteljahres-Fachzeitschrift des Fachverbandes für Strahlenschutz e. V. – aktuell, interessant, informativ!
TÜV Media GmbH, Köln, www.tuev-media.de
www.strahlenschutzpraxis.com