

Strahlenschutzforschung

Programmreport 2017

Bericht über das vom Bundesamt für Strahlenschutz fachlich begleitete und administrativ umgesetzte Forschungsprogramm Strahlenschutz des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit

Schriften

Redaktion:

Annemarie Schmitt-Hannig

Dr. Angelika Löbke-Reinl

Dr. Josef Peter

Angela Trugenberger-Schnabel

BfS-SCHR-64/18

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

urn:nbn:de:0221-2018071915600

Zur Beachtung:

BfS-Berichte und BfS-Schriften können von der Internetseite des Bundesamtes für Strahlenschutz unter <http://www.bfs.de> kostenlos als Volltexte heruntergeladen werden.

Salzgitter, Juli 2018

Strahlenschutzforschung

Programmreport 2017

Bericht über das vom Bundesamt für Strahlenschutz fachlich begleitete und administrativ umgesetzte Forschungsprogramm Strahlenschutz des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit

Schriften

INHALT

ZUSAMMENFASSUNG	IX
VORBEMERKUNG	IX
EINFÜHRUNG	IX
ZUSAMMENFASSUNG DER FORSCHUNGSERGEBNISSE 2017	X

ERGEBNISSE (ABSCHLUSSBERICHTE)

RESULTS (FINAL REPORTS)

THEMENBEREICH 01

NATÜRLICHE STRAHLENEXPOSITION

SUBJECT AREA 01

NATURAL RADIATION EXPOSURE

Erstellung einer Bioprobendatenbank der an Lungenkrebs verstorbenen Wismutarbeiter aus dem Wismut Pathologiearchiv	2
<i>Establishment of a biobank based on the Wismut pathology archive of former Wismut workers who died of lung cancer</i>	
3614S10015	

Ermittlung von potenziellen Strahlenexpositionen durch Ableitungen aus NORM-relevanten Industriezweigen	6
<i>Determination of potential exposure to radiation due to discharges from NORM relevant industrial sectors</i>	
3615S12232	

Ermittlung der Unsicherheiten der Strahlenexpositionsabschätzung in der Wismut-Kohorte - Teil I	10
<i>Determination of uncertainties in radiation exposure assessment in the Wismut Cohort - part I</i>	
3616S12223	

Ermittlung und Quantifizierung der durch die Umsetzung der Euratom-Direktive von Pflichten betroffenen Arbeitsplätze	16
<i>Identification and quantification of work places affected by the implementation of the Euratom Directive</i>	
3616S12340	

Ermittlung und Bewertung der Strahlenexposition an Arbeitsplätzen mit natürlich vorkommenden radioaktiven Stoffen (NORM)	19
<i>Investigation and assessment of radiation exposures at workplaces with naturally occurring radioactive materials (NORM)</i>	
3616S12343	

THEMENBEREICH 02

STRAHLENSCHUTZTECHNIK

SUBJECT AREA 02

RADIATION PROTECTION TECHNIQUES

Schaffung einer operationellen Infrastruktur zur Analyse von Spektren aus Halbleiterdetektoren mit mittlerer Energieauflösung	24
<i>Supply of an operational infrastructure for analysis of spectrum obtained with semiconductor detector of intermediate resolution</i>	
3615S22530	

THEMENBEREICH 03
STRAHLENBIOLOGIE - WIRKUNG VON IONISIERENDER UND NICHTIONISIERENDER STRAHLUNG,
STRAHLENEMPFINDLICHKEIT

SUBJECT AREA 03

RADIATION BIOLOGY - EFFECTS OF IONISING AND NON-IONISING RADIATION, RADIOSENSITIVITY

Genomweite Analyse genetisch bedingter Strahlenempfindlichkeit in Wismut Bergarbeitern:
Datenauswertung und Bewertung der Assoziationsanalysen 34
*Genome wide analysis of radiation sensitivity in former uranium miners of SDAG Wismut -
Data analysis and assessment of the association analyses*
3615S32253

THEMENBEREICH 04

MEDIZINISCHE STRAHLENEXPOSITION / RÖNTGENVERORDNUNG

SUBJECT AREA 04

MEDICAL RADIATION EXPOSURES / X-RAY ORDINANCE

Verbesserung der Inhalationsdosimetrie am Arbeitsplatz 42
Improvement of the inhalation dosimetry at work places
3614S40015

Untersuchung des Brustkrebsrisikos nach Radioiodtherapie eines Schilddrüsenkarzinoms -
Machbarkeitsstudie 49
Assessment of breast cancer risk following radioiodine treatment for thyroid cancer - feasibility study
3615S42421

THEMENBEREICH 05

RADIOÖKOLOGIE

SUBJECT AREA 05

RADIOECOLOGY

Messtechnische und modellbasierte Abschätzung des Eintrags von I-131 in die OSPAR-Regionen
auf Grund der nuklearmedizinischen Anwendungen von Radioiod in Deutschland 56
*Measurements and modelling of I-131 fluxes from nuclear medical applications in Germany into
the OSPAR region*
3614S50015

THEMENBEREICH 06

NOTFALLSCHUTZ

SUBJECT AREA 06

EMERGENCY MANAGEMENT

Entscheidungsregeln bei kerntechnischen Unfällen: Anwendung von Entscheidungskonzepten für
dringende Schutzmaßnahmen 64
Decision rules at nuclear accidents: application of decision concepts for urgent safety measures
3615S62536

Anpassung eines Entscheidungshilfesystems für die Zwecke der Nuklearspezifischen Gefahrenabwehr
an neue Anforderungen in der urbanen Umgebung 68
*Adaptation of a decision support system for nuclear-specific security purposes to new requirements
in the urban environment*
4716R01652
(3616R01652)

THEMENBEREICH 07
VORHABEN MIT ALLGEMEINER BEDEUTUNG FÜR DEN STRAHLENSCHUTZ

SUBJECT AREA 07
PROJECTS OF GENERAL IMPORTANCE TO RADIATION PROTECTION

Überarbeitung von technischen Strahlenschutznormen aus dem Bereich des Normenausschuss Materialprüfung (NMP)	76
<i>Revision of technical radiation protection standards in the range of the Materials Testing Standards Committee (NMP)</i>	
3614S70005	

THEMENBEREICH 08
NICHTIONISIERENDE STRAHLUNG

SUBJECT AREA 08
NON-IONISING RADIATION

Synergetische Wirkung hochfrequenter elektromagnetischer Felder in Kombination mit kanzerogenen Substanzen - Kokanzerogenität oder Tumorpromotion?	80
<i>Synergetic effect of radiofrequency electromagnetic fields in combination with carcinogenic substances - cocarcinogenity or tumor promotion?</i>	
3615S82431	
Nebenwirkungen bei Anwendungen optischer Strahlung in der Kosmetik - repräsentative Umfrage	85
<i>Side effects of using optical radiation in cosmetics - representative survey</i>	
3616S82432	
Internationaler Workshop zum Zusammenhang zwischen neurodegenerativen Erkrankungen und Magnetfeldexposition – Stand des Wissens und Forschungsperspektiven	90
<i>International Workshop: Relationship between neurodegenerative diseases and magnetic field exposure - State of knowledge and research perspectives</i>	
3617I02410	

STATUSBERICHTE
STATUS REPORTS

THEMENBEREICH 01
NATÜRLICHE STRAHLENEXPOSITION

SUBJECT AREA 01
NATURAL RADIATION EXPOSURE

Erfassung der biokinetischen und dosimetrischen Unsicherheiten bei der Dosisermittlung nach Inkorporation von Uran und Radon-Folgeprodukten und deren Anwendung bei Bergbau-Arbeitern und Uran-Aufbereitern der WISMUT-Kohorte	98
<i>Evaluation of the biokinetic and dosimetric uncertainties on the dose assesement following intake of uranium and radon progeny, and their application to miners and millers of the WISMUT-cohort</i>	
3615S12230	
Qualifizierung der Luftdichtheitsmessung an Gebäuden zur Ableitung eines Prüfwertes im Hinblick auf die Unterschreitung des Referenzwertes der mittleren Radonkonzentration in Innenräumen	101
<i>Qualification of the air-tightness measurements of buildings by deriving a test value for the exceedance of a reference value for the average indoor radon concentration</i>	
3616S12241	

THEMENBEREICH 02
STRAHLENSCHUTZTECHNIK

SUBJECT AREA 02
RADIATION PROTECTION TECHNIQUES

Entwicklung eines kombinierten aero-gammaspektrometrischen Mess- und Beprobungssystems 106
Development of a combined aero-gammaspectrometric system for measurement and sampling
3616S22540

THEMENBEREICH 03
STRAHLENBIOLOGIE - WIRKUNG VON IONISIERENDER UND NICHTIONISIERENDER STRAHLUNG,
STRAHLENEMPFINDLICHKEIT

SUBJECT AREA 03
RADIATION BIOLOGY - EFFECTS OF IONISING AND NON-IONISING RADIATION,
RADIOSENSITIVITY

Identifizierung strahlenspezifischer Biomarker in Brusttumorpatienten - zu Grunde liegende
molekulare Mechanismen der strahleninduzierten Mammakarzinogenese 110
Identification of radiation-specific biomarkers in breast cancer patients -molecular mechanisms
underlying radiation-induced breast carcinogenesis
3615S32454

Charakterisierung von Exosomen nach In-vitro- und In-vivo-Bestrahlung als Marker der
Strahlenexposition 113
Characterisation of exosomes after in vitro and in vivo irradiation as biomarker for radiation exposure
3616S32260

Strahlenresistenzmechanismen in Tumorstammzellen 115
Mechanisms of radioresistance in cancer stem cells
3616S32262

Untersuchung des Risikos für kardiovaskuläre Erkrankungen nach einer Strahlenexposition mit
niedrigen Dosen an Biopsieproben von Majak-Arbeitern 117
Investigation of cardiovascular disease risk after low dose radiation using biopsy samples of
Mayak workers
3617S32261

THEMENBEREICH 04
MEDIZINISCHE STRAHLENEXPOSITION / RÖNTGENVERORDNUNG

SUBJECT AREA 04
MEDICAL RADIATION EXPOSURES / X-RAY ORDINANCE

Erstellung und Überarbeitung von technischen Normen für den Strahlenschutz und die Qualitäts-
sicherung in der medizinischen Radiologie 122
Preparation and revision of technical standards for radiation protection and quality assurance in
medical radiology
3615S42320

Erhebung der Medizinischen Strahlenexposition in der Nationalen Kohorte 125
Survey of medical radiation exposure in the German National Cohort
3616S42233

Bewertung des Einsatzes von Dosismanagement-Systemen zur Optimierung von Röntgen-
anwendungen in verschiedenen Röntgeneinrichtungen 127
Evaluation of the implementation of dose-management-systems used for optimising diagnostic
X-ray applications in different facilities
3616S42432

Erfassung der Häufigkeiten und Expositionsparameter in der pädiatrischen Radiologie 130
Collecting relative frequencies and assessing radiation doses of pediatric radiology procedures involving ionising radiation
3617S42441

THEMENBEREICH 05
RADIOÖKOLOGIE

SUBJECT AREA 05
RADIOECOLOGY

Experimentelle und theoretische Untersuchungen zu radioaktiven Quellen und Gegenständen im Stahlschrott 134
Orphan sources and radioactive materials in steel scrap (experimental and theoretical studies)
3615S52320

Experimentelle Bestimmung von Kd-Werten für endlagerrelevante Radionuklide und REFESOL-Böden 137
Experimental determination of Kd-values for final depository relevant radionuclides and REFESOL-soils
3616S52530

THEMENBEREICH 06
NOTFALLSCHUTZ

SUBJECT AREA 06
EMERGENCY MANAGEMENT

Fortschreibung des Szenarienkatalogs für behördliche Notfallübungen und Durchführung von Schulungen für die Notfallorganisationen des BfS und BMUB 142
Extrapolation of the catalogue of exercise scenarios for emergency response planning by authorities and training courses for emergency response organisations of BfS and BMUB
3615S62506

Verfahren zur optimierten Standortauswahl für spektrometrierende Sonden und zur Generierung von Messaufträgen für Notfallschutzübungen 144
Optimisation procedure for the selection of locations of spectroscopic probes and for the generation of measurement tasks for emergency exercises
3615S62540

Umsetzung von Informationsstrategien und Konzepten in konkrete Handlungsempfehlungen und Informationsangebote unter Berücksichtigung moderner internetbasierter Kommunikationsformen 149
Conversion of information strategies and concepts into concrete recommendations for action and information offerings, taking into account modern internet-based forms of communication
3617S62555

Wechselwirkung zwischen Ausbreitung von radioaktiven Substanzen nach Freisetzung in Gebäuden und der freien Atmosphäre in gekoppelten Simulationsmodellen 151
Interaction between the dispersal of radioactive material after release in buildings and the free atmosphere in linked simulation models
4716R01651

THEMENBEREICH 07
VORHABEN MIT ALLGEMEINER BEDEUTUNG FÜR DEN STRAHLENSCHUTZ

SUBJECT AREA 07
PROJECTS OF GENERAL IMPORTANCE TO RADIATION PROTECTION

Fortschreibung der Untersuchung und Bewertung der tätigkeitsbezogenen Strahlenexposition in Anlagen nach AtG, standortnahen Zwischenlagern für radioaktive Abfälle und nichtkerntechnischen Einrichtungen nach StrlSchV und RöV 156
Update and evaluation of task-related exposure in nuclear facilities and other radiation relevant installations under the aspect of optimisation

3615S22301

Modellbasierte Ermittlung des Eintrags von I-131 in die OSPAR-Regionen des Nordostatlantiks auf Grund von nuklearmedizinischen Anwendungen mit Radioiod in Deutschland 159
Model based estimation of I-131 input into the OSPAR regions due to the nuclear medicinal application of radioiodine in Germany
3616S72570

Weiterentwicklung des atmosphärischen Ausbreitungsmodells ARTM bezüglich weiterer Anwendungsbereiche, Windfeld- und Grenzschichtmodell, Dokumentation 162
Enhancement of the atmospheric dispersion model ARTM considering additional areas of application, wind field and boundary layer models, and documentation
3616S72575

Studie zu Aktivitäts- und Partikelgrößenverteilungen im Nano- und Millimeterbereich in der Fortluft kerntechnischer Anlagen mit und ohne Vollfilterung 165
Study on the distribution of activity and particle sizes in the nano- and millimetre range in gaseous effluents from nuclear installations with and without filter
3617S72572

THEMENBEREICH 08

NICHTIONISIERENDE STRAHLUNG

SUBJECT AREA 08

NON-IONISING RADIATION

Einfluss hochfrequenter elektromagnetischer Felder auf die Gehirnaktivität, Schlaf und kognitive Leistungsfähigkeit älterer Männer 170
Effect of high frequency electromagnetic fields on brain activity, sleep and cognitive performance in elderly men
3616S82430

Exposition und Wirkungen der elektromagnetischen Felder neuartiger Technologien im Zwischenfrequenzbereich - systematische Review 173
Exposure and effects of electromagnetic fields of new technologies operating in the intermediate frequency range - a systematic review
3616S82437

Leukämie im Kindesalter - Einfluss des Immunsystems auf die Entstehung der Erkrankung (experimentelle Studie an einem geeigneten Tiermodell) 176
Childhood leukemia - influence of the immune system on the development of the disease (experimental study in a suitable animal model)
3616S82440

Messung und Bewertung für die Allgemeinbevölkerung relevanter optischer Strahlenquellen: Abschätzung von Risiken für das Auge, insbesondere Blaulichtgefahr und Blendung 179
Measurement and evaluation of optical radiation sources relevant for the general population: Estimation of risks for eye damage, in particular blue light hazard and glare
3617S82441

Kosmetik, Wellness und die Gesundheit - EMF-Quellen außerhalb der Medizin. Systematische Erfassung und Charakterisierung von hoch- und niederfrequenten Quellen einschl. Ultraschall im gewerblichen Bereich und in der Anwendung für zuhause 181
Cosmetics, wellness and health - EMF sources outside medicine. Systematic acquisition and characterisation of high and low frequency sources including ultrasound in commercial and consumer applications
3617S82444

2017 BEGONNENE FORSCHUNGSVORHABEN, ZU DENEN NOCH KEINE ERGEBNISSE VORLIEGEN

Research projects initiated in 2017 of which results are not available yet

Erarbeitung von DIN-Normen bez. baulicher Maßnahmen für den Radonschutz <i>Development of DIN-standards with regard to architectural measures for the radon protection</i> 3617S12250	188
Verifizierung internationaler Berechnungen der individuellen Strahlendosis bei externer Umgebungsstrahlung <i>Verification of international calculations of the individual radiation dose due to environmental exposures</i> 3617S22252	189
Betrieblicher Umgang mit (bedeutsamen) Vorkommnissen bei medizinischen Anwendungen radioaktiver Stoffe in der Nuklearmedizin und praktische Erprobung der Meldekriterien <i>Operational handling of relevant accidental and unintended exposures in nuclear medicine and testing of the notification criteria</i> 3617S42332	190
Betrieblicher Umgang mit (bedeutsamen) Vorkommnissen bei medizinischen Anwendungen ionisierender Strahlung in der Röntgendiagnostik und interventionellen Radiologie und praktische Erprobung der Meldekriterien <i>Operational handling of relevant accidental and unintended exposures in diagnostic and interventional radiology and testing of the notification criteria</i> 3617S42333	191
Evaluation der Brustkrebsmortalität im deutschen Mammographie-Screening-Programm - 1. Teil der Hauptstudie <i>Evaluation of breast cancer mortality in the German mammography-screening-program - main study I</i> 3617S42402	192
Erhebung von Häufigkeit und Dosis für nuklearmedizinische Untersuchungsverfahren <i>Assessment of the frequency and the associated doses of nuclear medicine diagnostic examinations</i> 3617S42443	193
Erfassung der aktuellen Kontaminationssituation bei Wildschweinen in Deutschland <i>Assessment of contamination levels of wild boar (Sus scrofa) in Germany</i> 3617S52531	194
Freigabekonzepte einer neuen Strahlenschutzverordnung nach Euratom-Grundnormen 2013 in der Anwendung <i>Concepts for clearance according to a new radiation protection ordinance based on the Euratom Basic Safety Standards of 2013 in practice</i> 4717E03510	195
Überarbeitung von technischen Strahlenschutznormen aus dem Bereich des Normenausschusses Materialprüfung (NMP) bzw. aus dem K967 des DKE <i>Revision of technical radiation protection standards in the range of the Materials Testing Standards Committee (NMP) and from the working group K967 of the German Commission on Electrical Engineering</i> 3617S72381	196
Untersuchungen zur tätigkeitsbezogenen Strahlenexposition bei der mobilen Radiographie <i>Survey of activity-related occupational dose exposure during mobile radiography</i> 3617S72382	197

Entwicklung eines Dosimeters zur Messung der gesetzlichen Messgrößen Umgebungs-Äquivalentdosis $H^*(10)$ sowie Richtungs-Äquivalentdosis $H'(0,07)$, insbesondere für eine Photonenenergie unterhalb von 30 keV	198
<i>Development of a dose meter for dose-equivalent $H^*(10)$ and $H'(0,07)$, in particular for photon energies less than 30 keV</i>	
3617S72384	
Verzeichnis der Abbildungen und Tabellen	199
Abkürzungen	203
Kontaktadressen	204

ZUSAMMENFASSUNG

Das Bundesamt für Strahlenschutz (BfS) vergibt im Auftrag des Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit (BMU), bis März 2018 Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit (BMUB), Forschungsvorhaben auf dem Gebiet des Strahlenschutzes. Die Ergebnisse dieser Vorhaben dienen als Entscheidungshilfen bei der Erarbeitung von Strahlenschutzvorschriften und bei der Erfüllung sonstiger Fachaufgaben im Bereich Strahlenschutz. Die Planung, fachliche und administrative Vorbereitung, Vergabe, Begleitung sowie fachliche Bewertung der Ergebnisse der Untersuchungsvorhaben ist grundsätzlich Aufgabe des Bundesamtes für Strahlenschutz. Der vorliegende Bericht informiert über Ergebnisse (in Form von Abschlussberichten) bzw. Zwischenergebnisse (in Form von Statusberichten) von Strahlenschutzvorhaben des BMU/BMUB-Umweltforschungsplans, die im Jahr 2017 erzielt wurden.

Vorbemerkung

Der Schutz von Mensch und Umwelt vor den Gefahren der ionisierenden und nichtionisierenden Strahlung ist eine zentrale Aufgabe des BMU/BMUB und des Bundesamtes für Strahlenschutz. Die Wahrnehmung dieser Aufgabe sowie insbesondere die Erarbeitung von Strahlenschutzvorschriften und die Aufsicht des Bundes über den Vollzug des Atom- und Strahlenschutzrechts durch die Länder ist nur auf einer breiten wissenschaftlich-technischen Grundlage möglich. Dabei sind sowohl grundsätzliche Fragestellungen als auch solche im Zusammenhang mit der Durchführung einzelner Strahlenschutzmaßnahmen zu untersuchen und zu beantworten. Zur Gewinnung von Entscheidungshilfen und zur sachgerechten Erfüllung der Fachaufgaben müssen Untersuchungsvorhaben zu einem weitgespannten Themenspektrum durchgeführt werden (Ressortforschung).

Einführung

Im Folgenden werden die **Themenbereiche** dieses Berichts näher erläutert:

Eine vordringliche Aufgabe besteht darin, die **zivilisatorische und natürliche Strahlenexposition** von Mensch und Umwelt zu erfassen und zu bewerten. So müssen etwa Anreicherungsprozesse natürlicher radioaktiver Stoffe (z. B. Radon) oder Entwicklungstendenzen bei der zivilisatorischen Nutzung radioaktiver Stoffe und ionisierender Strahlung rechtzeitig erkannt und bewertet werden, damit frühzeitig mit geeigneten Maßnahmen einer Gefährdung von Mensch und Umwelt entgegengewirkt werden kann.

Eine Voraussetzung für viele Untersuchungen, aber auch für den Nachweis der Einhaltung der Dosisgrenzwerte, ist die Verfügbarkeit entsprechender Messtechniken und Verfahren zur Dosismessung. Die vielfältigen und komplizierten Messaufgaben der **Strahlenschutztechnik** führen dazu, dass bestehende Messsysteme verbessert, neue Systeme entwickelt sowie dosimetrische Modelle und Daten ständig überprüft und angeglichen werden müssen.

Die Strahlenschutzverordnung enthält Grenzwerte für den Schutz von Einzelpersonen in der Bevölkerung und für den Schutz beruflich strahlenexponierter Personen. Diese Grenzwerte basieren auf wissenschaftlichen Erkenntnissen, die im Interesse eines möglichst umfassenden Strahlenschutzes ständig zu aktualisieren und dem Stand naturwissenschaftlicher und medizinischer Forschung anzupassen sind. Die **biologische Reaktion auf ionisierende und nichtionisierende Strahlung** kann individuell sehr unterschiedlich sein und muss deshalb weiter untersucht und bewertet werden. Insbesondere müssen Verfahren zur Erkennung individueller **Strahlenempfindlichkeit** weiterentwickelt werden.

Die heutige „Philosophie“ des Strahlenschutzes im Bereich der ionisierenden Strahlung wird entscheidend durch die Grundsätze bestimmt, Tätigkeiten und Arbeiten, die zu zivilisatorischen Strahlenexpositionen führen, nur dann zuzulassen, wenn diese gerechtfertigt sind (Rechtfertigungsgebot) und gleichzeitig die Strahlenexposition gerechtfertigter Tätigkeiten und Arbeiten auch unterhalb der Strahlenschutzgrenzwerte soweit zu senken, wie das mit vernünftigem Aufwand möglich ist (Optimierungsgebot). Beide Grundsätze sind in der Strahlenschutzverordnung verankert. Ihre Einhaltung wird im Rahmen der Zweckmäßigkeitsschau überprüft.

Da die zivilisatorische Strahlenexposition der Bevölkerung zum überwiegenden Teil durch die **medizinische Strahlenexposition** moderner Diagnosemethoden bestimmt wird, ist diese ein weiterer Schwerpunkt der Projekte im BMUB-Umweltforschungsplan 2017. Hier kommt es vor allem darauf an, dass der gesundheitliche Nutzen einer Anwendung am Menschen gegenüber dem Strahlenrisiko überwiegt. Nutzen und Risiken von

Untersuchungsverfahren sind abzuwägen, nach risikoärmeren Alternativverfahren ist zu suchen und die Strahlenexposition ist durch geeignete Verfahren zu reduzieren.

Für die Abschätzung der Strahlenexposition von Einzelpersonen in der Bevölkerung ist es wichtig zu wissen, wie sich radioaktive Stoffe in der Umwelt verhalten, wie sie sich in Luft und Wasser ausbreiten, in den verschiedenen Ökosystemen anreichern und über die Ernährungsketten auf den Menschen einwirken. Deshalb werden Detailkenntnisse der **Radioökologie** benötigt.

Überall, wo mit radioaktiven Stoffen oder ionisierender Strahlung gearbeitet wird, kann es auf Grund menschlichen und/oder technischen Versagens zu Zwischenfällen kommen, bei denen radioaktive Stoffe freigesetzt und/oder Personen Strahlung ausgesetzt werden. Deshalb ist die Ermittlung und Optimierung von Vorsorge-maßnahmen zur Vermeidung von Störfällen und Unfällen eine ständige Aufgabe des BfS. Der **Notfallschutz** ist ständig zu verbessern und die Effektivität der Schutzmaßnahmen bis hin zu medizinischen Maßnahmen im Falle einer schädigenden Exposition ist laufend zu optimieren.

Darüber hinaus werden in einer Reihe von Vorhaben Fragen von **allgemeiner Bedeutung für den Strahlenschutz** untersucht.

In den letzten Jahrzehnten haben Änderungen im Freizeitverhalten und neue Modetrends dazu geführt, dass sich immer größere Teile der Bevölkerung immer länger der Sonne aussetzen sowie künstlich erzeugte UV-Strahlung in Solarien nutzen. Dieser Wandel macht neue Konzepte und Forschungsvorhaben im Bereich des Schutzes vor UV-Strahlung erforderlich.

Die Umgebung des Menschen ist in zunehmendem Maße geprägt durch die Gegenwart und den Einsatz elektrischer Geräte sowie durch die rasante Entwicklung bei den elektronischen Medien und der drahtlosen Kommunikation. Diese sich noch ausweitende Entwicklung hat zu neuen Aufgaben im Bereich des Schutzes vor der Wirkung **nichtionisierender Strahlung** geführt.

Neben den bisher vorliegenden fundierten wissenschaftlichen Erkenntnissen über gesundheitliche Beeinträchtigungen gibt es Hinweise auf mögliche weitere, wissenschaftlich noch nicht verstandene biologische Wirkungen bei Feldintensitäten unterhalb der geltenden Grenzwerte. Deshalb wurden im **Deutschen Mobilfunk-Forschungsprogramm (DMF)** in systematischen Untersuchungen Wirkungen der verschiedenen Anwendungen nichtionisierender Strahlung auf den Menschen weiter erforscht. Die Untersuchungsvorhaben des DMF lagen schwerpunktmäßig in den Bereichen Biologie, Epidemiologie, Dosimetrie und Risikokommunikation. Die Vorhaben, die zu gleichen Teilen vom Bundesumweltministerium und den Betreibern der Mobilfunknetze in Deutschland finanziert wurden, wurden allein vom BfS vergeben und fachlich betreut, so dass interessensgesteuerte Einflüsse ausgeschlossen waren. Das vom BfS initiierte DMF lief Ende 2008 aus. Unter Vergabe und fachlicher Betreuung durch das BfS werden nun noch einzelne Folgeprojekte im Rahmen des sogenannten DMF II finanziert.

Zusammenfassung der Forschungsergebnisse 2017

Im Folgenden wird über Ergebnisse im Jahr 2017 abgeschlossener Forschungsvorhaben berichtet:

THEMENBEREICH 01 - NATÜRLICHE STRAHLENEXPOSITION

Ziel der Studie „**Erstellung einer Bioprobandatenbank der an Lungenkrebs verstorbenen Wismutarbeiter aus dem Wismut Pathologiearchiv**“ (3614S10015) war die Isolierung von DNA und RNA aus Formalin-fixierten Paraffin-eingebetteten (FFPE) Geweben von männlichen Lungenkrebspatienten des Wismut-Pathologiearchivs. Die Qualitätsmerkmale des isolierten Materials (jeweils Tumor- und Nicht-Tumorgewebe) und die verfügbaren medizinischen und epidemiologischen Daten wurden erfasst und zusammen mit den Bioproben an das Bundesamt für Strahlenschutz (BfS) übergeben. Die Qualität der isolierten Nukleinsäuren aus Tumor- und Nicht-Tumorgewebe erscheint für weiterführende molekularbiologische Untersuchungen grundsätzlich geeignet, allerdings ist die Eignung der isolierten Nukleinsäuren abhängig von den eingesetzten klassischen und molekularbiologischen Untersuchungsmethoden. Alle Bioproben sowie die gemessenen und erhobenen Daten liegen nun bereit, um in die im vorangegangenen Projekt „Aufbau einer Bioproben-Bank von ehemaligen Beschäftigten der SAG/SDAG Wismut – Pilotstudie“ (3608S04532) entwickelte Bioprobenbank integriert zu werden.

Bei der Umsetzung der Europäischen Grundnormenrichtlinie in nationales Recht fordert Artikel 23 von den Mitgliedsstaaten unter anderem, Kategorien oder Arten von Tätigkeiten zu identifizieren, die mit natürlich vor-

kommendem radioaktivem Material verbunden sind und die zu einer Exposition von Arbeitskräften oder Einzelpersonen der Bevölkerung führen, die unter Strahlenschutzgesichtspunkten nicht außer Acht gelassen werden können (häufig als NORM-Industrien bezeichnet). Ableitungen sind Teil der Tätigkeiten und können einer strahlenschutzrechtlichen Überwachung unterliegen. Das Vorhaben „**Ermittlung von potenziellen Strahlenexpositionen durch Ableitungen aus NORM-relevanten Industriezweigen**“ (3615S12232) diente der Erfüllung dieser spezifischen Forderung der Grundnormenrichtlinie. Im Rahmen dieses Projekts wurden Staub, Radon und Wasser aus NORM-Industrien untersucht. Die Untersuchung umfasste die 16 in Anhang VI des BSS aufgeführten Industriezweige sowie weitere Wirtschaftsbereiche in Deutschland, von denen bekannt ist, dass sie möglicherweise von radiologischer Bedeutung sind. Insgesamt wurden 26 Industriezweige analysiert und mehrere Ableitungen festgestellt, bei denen grundsätzlich eine effektive Dosis für die allgemeine Bevölkerung von mehr als 100 $\mu\text{Sv/a}$ auftreten kann.

Das Bundesamt für Strahlenschutz führt eine Kohortenstudie an etwa 60 000 ehemaligen Beschäftigten des Uranbergbaubetriebs „Wismut“ durch. Im Vorhaben „**Ermittlung der Unsicherheiten der Strahlenexpositionsabschätzung in der Wismut-Kohorte - Teil I**“ (3616S12223) wurden potenzielle Quellen für Unsicherheiten in den Expositionsabschätzungen für Radon und seine Folgeprodukte identifiziert und hinsichtlich ihrer möglichen Bedeutsamkeit vorläufig qualitativ bewertet. Zunächst wurde das Vorgehen bei der Schätzung der individuellen Strahlenexposition detailliert dokumentiert und formalisiert. Die individuelle Strahlenexposition in der Wismut-Kohorte wurde retrospektiv anhand einer Job-Exposure-Matrix (JEM) geschätzt, die in einem mehrstufigen Prozess auf der Grundlage von Expertenschätzungen und Radon-(Folgeprodukt-)Konzentrationsmessungen sowie individuellen Daten zum Berufsverlauf entwickelt wurde. Bei der anschließenden Bewertung möglicher Quellen von Unsicherheiten wurden Fehler durch die Verallgemeinerung von einzelnen Expositionsmessungen (Generalisierungsfehler) und Parameterunsicherheiten im Vergleich zu anderen Fehlern, wie Schätzfehlern und Zuordnungsfehlern, als besonders relevant erachtet.

In vielen Ländern liegen Daten zum Thema „Radon am Arbeitsplatz“ vor, die jedoch auf Grund der unterschiedlichen Herangehensweise bei der Erhebung sehr heterogen und daher nur schwer miteinander vergleichbar sind. Für Planungszwecke wurde im Projekt „**Ermittlung und Quantifizierung der durch die Umsetzung der Euratom-Direktive von Pflichten betroffenen Arbeitsplätze**“ (3616S12340) versucht, die Anzahl und räumliche Verteilung von Arbeitsplätzen in Deutschland zu ermitteln. Ein diesbezüglicher deutschlandweiter Datensatz existiert nicht. Daher wurde eine Abschätzung der Zahl der Personen vorgenommen, die sich hier zum Zwecke der beruflichen Tätigkeit aufhält. Hierfür wurden Daten verschiedener Quellen (z. B. Bundesagentur für Arbeit, Statistisches Bundesamt) verwendet und - soweit möglich - auf Gemeindeebene zusammengeführt. In der Summe wurden ca. 90 % der Beschäftigten in Deutschland erfasst, der überwiegende Teil davon gemeindebezogen. Zudem wurde eine Liste von Arbeitsplätzen erstellt, an denen auf Grund spezifischer Arbeitsplatzcharakteristika möglicherweise eine potenziell erhöhte Radonbelastung am Arbeitsplatz auftreten kann. Die Zahl betroffener Personen wird fast ausnahmslos als niedrig eingeschätzt.

Die Regelungen des Strahlenschutzgesetzes (StrlSchG) vom 27. Juni 2017 betreffen auch Strahlenexpositionen durch natürlich vorkommende radioaktive Stoffe (NORM) in festgelegten Tätigkeitsfeldern. Für einige dieser Tätigkeitsfelder lagen bisher keine ausreichenden Informationen über die Höhe der Strahlenexpositionen, die Expositionspfade sowie über die Anzahl der betroffenen Arbeitnehmer vor. Das Ziel des Forschungsvorhabens „**Ermittlung und Bewertung der Strahlenexposition an Arbeitsplätzen mit natürlich vorkommenden radioaktiven Stoffen (NORM)**“ (3616S12343) war es, die entsprechenden Informationen für diese Tätigkeitsfelder zu erheben, um den künftigen Umfang der strahlenschutzrechtlichen Maßnahmen zur Gewährleistung des Gesundheitsschutzes beruflich strahlenexponierter Personen festzustellen. Im Ergebnis wurde festgestellt, dass in den untersuchten Tätigkeitsfeldern für etwa 300 bis 1000 Beschäftigte eine Expositionsabschätzung nach § 55 StrlSchG erforderlich sein kann. Bei etwa 50 bis 150 Beschäftigten könnte die effektive Dosis den Wert von 1 mSv im Kalenderjahr übersteigen und eine Pflicht zur Anzeige der Tätigkeit bei der Strahlenschutzbehörde und zur Expositionsermittlung gemäß § 56 StrlSchG vorliegen. Die vorgenannten Anzahlen hängen in hohem Maße von der Konservativität der anzuwendenden Methoden der Dosismodellierung ab. Als ein besonderes Problem wurde die Expositionsabschätzung bzw. -ermittlung von Mitarbeitern externer Firmen erkannt, die bei Wartungsarbeiten eingesetzt werden.

THEMENBEREICH 02 - STRAHLENSCHUTZTECHNIK

Von grundlegender Bedeutung für eine fachlich adäquate Bewertung der radiologischen Lage ist der räumlich und zeitlich hoch aufgelöste Pegel der Ortsdosisleistung (ODL) im Überwachungsgebiet. Von gleicher Bedeutung ist die Kenntnis der beitragenden Radionuklide. Das BfS betreibt seit mehr als 20 Jahren ein ODL-Messnetz mit ca. 1800 ODL-Sonden in Deutschland. Inzwischen wurden neue Detektormaterialien entwickelt, die es ermöglichen, relativ kostengünstige spektroskopische Gamma-Detektoren zu realisieren. Die Energieauflösung dieser Systeme ist dabei ausreichend gut, um eine Spektralinformation zu gewinnen, die eine Nuklid-Analyse ermöglicht. Für eine operationelle Nutzung von spektroskopischen on-line-Messsystemen ist eine weitgehend automatische und qualitativ hochwertige Analyse der gewonnenen Spektren unabdingbar. Im Rahmen des Forschungsvorhabens „**Schaffung einer operationellen Infrastruktur zur Analyse von Spektren aus Halbleiterdetektoren mit mittlerer Energieauflösung**“ (3615S22530) wurden Auswertemethoden entwickelt und in entsprechende Software-Pakete umgesetzt. Ziel ist die Verfügbarkeit operationeller DV-Methoden zur Ergänzung der mit Hilfe des ODL-Messnetzes gewonnenen Daten durch zusätzliche Information über die beitragenden Radionuklide. Dies bedeutet eine wesentliche Verbesserung der Kernaufgabe des BfS im Rahmen des Radiologischen Lagezentrums des Bundes bei der Bewertung der radiologischen Lage.

THEMENBEREICH 03 - STRAHLENBIOLOGIE - WIRKUNG VON IONISIERENDER UND NICHTIONISIERENDER STRAHLUNG, STRAHLENEMPFLINDLICHKEIT

Das Ziel des Forschungsvorhabens „**Genomweite Analyse genetisch bedingter Strahlenempfindlichkeit in Wismut Bergarbeitern: Datenauswertung und Bewertung der Assoziationsanalysen**“ (3615S32253) bestand in der Suche nach genetischen Varianten, die im Zusammenhang mit Strahlung zu einem erhöhten Lungenkrebsrisiko beitragen können. Im Rahmen zweier Vorgängerprojekte des BfS (3614S10013 und 3614S10014) wurden die DNA-Proben von 463 Wismut-Bergarbeitern untersucht. Dabei wurde die individuelle genetische Disposition von 456 699 Einzelnukleotid-Polymorphismen (SNPs, engl. Single Nucleotide Polymorphisms) mit dem OncoArray bestimmt. Die gesamte in diese Untersuchung eingehende Stichprobe bestand aus 28 599 kaukasischen Studienteilnehmern - 463 Studienteilnehmer waren Wismut-Bergarbeiter, 946 Lungenkrebspatienten (im Folgenden Fälle genannt) und krebsfreie Personen (im Folgenden Kontrollen genannt) stammten von der German Lung Cancer Study und 27 187 stammten vom OncoArray-Konsortium ILC-CO/TRICL (International Lung Cancer Consortium/Transdisciplinary Research in Lung Cancer). Davon waren 49 der 15 077 (0,3 %) Fälle und 259 der 13 522 Kontrollen (1,9 %) einer erhöhten, berufsbedingten Belastung durch das Edelgas Radon ausgesetzt. Für eine genomische Region - Chromosom 1p31.3 - konnte eine genomweit signifikante, das Lungenkrebsrisiko modifizierende Interaktion einer genetischen Disposition und einer berufsbedingten Radon-Exposition beobachtet werden. Diese Region überdeckt das Gen UBE2U (ubiquitin-conjugating enzyme E2 U). Ebenso konnten die molekularen Signalwege der „DNA dealkylation involved in DNA repair“ (Gen-Set GO:0006307) und GO:0016020 „Membrane (cellular-component)“ im Rahmen einer Gen-Set-Analyse als unter Radonexposition mit Lungenkrebs assoziiert beobachtet werden.

THEMENBEREICH 04 - MEDIZINISCHE STRAHLENEXPOSITION / RÖNTGENVERORDNUNG

Inhalation ist der häufigste Inkorporationsweg an Arbeitsplätzen mit Umgang von radioaktiven Stoffen. Die resultierende Strahlendosis hängt stark von den physiko-chemischen Eigenschaften der radioaktiven Aerosole ab, die nur begrenzt bekannt sind. Im Projekt „**Verbesserung der Inhalationsdosimetrie am Arbeitsplatz**“ (3614S40015) wurden neben den Aktivitätskonzentrationen solche Aerosolparameter an charakteristischen Arbeitsplätzen während verschiedener Arbeitsprozesse bestimmt: Tschernobyl (Bau des Reaktorschutzgebäudes), Fukushima (Dekontaminationsarbeiten) und eine Schweißwerkstatt (Wolfram-Inertgas-Schweißen mit dotierten Schweißelektroden). Es wurde Gesamtstaub, größenfraktionierter Staub und größenfraktionierter, personenbezogener Staub gesammelt sowie die Löslichkeit in simulierter Lungenflüssigkeit von Gesamtstaubproben getestet. Mit Hilfe der Software „IMBA Professional“ wurden aus den Messungen in Tschernobyl und Fukushima die Dosiskoeffizienten berechnet, die teilweise von den Standardkoeffizienten der internationalen Strahlenschutzkommission abweichen. Die experimentellen Löslichkeitsparameter deuten für Cs-137 auf einen signifikanten Beitrag des Absorptionstyps S hin, was einen höheren Dosiskoeffizienten nach sich ziehen würde. Die Ergebnisse zeigen, wie wichtig die genaue Charakterisierung der Aerosolparameter für eine zuverlässige Dosisabschätzung ist.

Nach dem aktuellen Stand von Wissenschaft und Technik kann das Risiko von Brustkrebs nach Radiodtherapie (RIT) eines Schilddrüsenkarzinoms im jüngeren Lebensalter auf Grund widersprüchlicher Resultate von Studien häufig unzureichender Qualität nicht eindeutig beurteilt werden. Das Ziel der „**Untersuchung des Brustkrebsrisikos nach Radioiodtherapie eines Schilddrüsenkarzinoms - Machbarkeitsstudie**“ (3615S42421) war deshalb die Erkundung der Rahmenbedingungen für eine systematische internationale Folgestudie an größeren Kohorten von Patientinnen und Kontrollen zur Abschätzung des Risikos von Brustkrebs als Zweitumor bei Schilddrüsenkarzinom-Patientinnen nach RIT im Kindes- bzw. Jugendalter. Auf Basis der Fallzahlberechnung und statistischen Analyse sollten für die Folgestudie mindestens 4 340 Fälle und 660 Kontrollen rekrutiert werden. Für die Folgestudie wurden geeignete Kohorten aus 10 nationalen und internationalen Zentren identifiziert und ihre Charakteristika beschrieben. Bei Anhebung des Alters zum Zeitpunkt der RIT von 18 auf 40 Jahre finden sich derzeit 3 300 Fälle und 500 Kontrollen in den jeweiligen Registern. Für die Machbarkeitsstudie wurden zur Erprobung des praktischen Arbeitsablaufs einer Folgestudie Erhebungsinstrumente erarbeitet sowie Untersuchungsmethoden und Qualitätssicherungsprogramme festgelegt und 111 Fälle nach RIT und 90 Kontrollen ohne RIT protokollkonform in Minsk, Belarus, untersucht. In der Fallgruppe wurden ein Mamma- und drei Zervixkarzinome neu entdeckt. Auffällig war die mit 23 % hoch signifikant erhöhte Infertilitätsrate in der Fallgruppe (gegenüber 4 % in der Kontrollgruppe). Nach den Ergebnissen der Machbarkeitsstudie ist ein Brustkrebsscreening bei einem größeren Kollektiv von Schilddrüsenkarzinom-Patientinnen mit einem allenfalls gering erhöhtem Mammakarzinomrisiko nach RIT wegen der zu erwartenden hohen Rate falsch positiver Befunde in der Größenordnung von 10 % und einer nicht genauer zu beziffernden Zahl von „Überdiagnosen“ ethisch kaum vertretbar. Forschungsbedarf ergibt sich zur Frage einer erhöhten Infertilitätsrate nach RIT auf Grund eines Schilddrüsenkarzinoms.

THEMENBEREICH 05 - RADIOÖKOLOGIE

Zur Klärung von offenen Fragen hinsichtlich der Einträge von Radioiod aus nuklearmedizinischen Anwendungen in Deutschland über Flüsse in die OSPAR-Region wurden im Rahmen des Projektes „**Messtechnische und modellbasierte Abschätzung des Eintrags von I-131 in die OSPAR-Regionen auf Grund der nuklearmedizinischen Anwendungen von Radioiod in Deutschland**“ (3614S50015) Untersuchungen von I-131-Frachten in ausgewählten Kläranlagen (Zu- und Ablauf), in den Nahbereichen um Einleitstellen von Kläranlagen in Flüssen sowie in Oberläufen und Nebenflüssen von Elbe, Weser, Ems und Rhein durchgeführt. Die monatlichen Messungen im Abwasser von Kläranlagen bestätigten, dass eine I-131-Fracht von (12 ± 4) kBq/a je Einwohner als repräsentativ für Ableitungen von Kläranlagen in die Gewässer angesehen werden kann. Die im Nahfeld der Einleitstellen großer Kläranlagen im Abstand von zwei Monaten ermittelten Frachten von I-131 in vier unterschiedlich großen Flüssen ließen gemittelt über ein Beobachtungsjahr keine wirksame Senke für das eingeleitete I-131 im jeweiligen Fluss erkennen. Andererseits bestätigten die Untersuchungen an Nebenflüssen und Oberläufen, dass die dort ermittelten I-131-Frachten in der Regel deutlich geringer ausfallen als es auf Grund der Einwohnerzahlen in diesen Einzugsgebieten zu erwarten ist. Untersuchungen an Biomaterialien zeigten aber, dass Algenfilme von Gewässerbetten eine Senke für das I-131 darstellen können.

THEMENBEREICH 06 - NOTFALLSCHUTZ

Auf der Basis von beispielhaften Berechnungen von radiologischen Folgen eines hypothetischen KKW-Unfalls mit dem Programmsystem RODOS wurden im Forschungsvorhaben „**Entscheidungsregeln bei kerntechnischen Unfällen: Anwendung von Entscheidungskonzepten für dringende Schutzmaßnahmen**“ (3615S62536) mittels Verfahren des maschinellen Lernens Entscheidungsregeln abgeleitet. Diese Regeln wurden in Form von Sektordarstellungen um den Anlagenstandort angegeben, welche im Ereignisfall eine erste, statistische Vorababschätzung von radiologisch besonders betroffenen Gebieten ermöglichen. Die Resultate können außerdem dazu dienen, die Notfallschutzplanung in Deutschland zu optimieren.

Im Vorhaben „**Anpassung eines Entscheidungshilfesystems für die Zwecke der Nuklearspezifischen Gefahrenabwehr an neue Anforderungen in der urbanen Umgebung**“ (4716R01652) wurde das Programmsystem LASAIR für die Dosisabschätzung nach Freisetzung radioaktiver Stoffe aus einer detonierten unkonventionellen Spreng- und Brandvorrichtung in folgenden Kernpunkten weiterentwickelt und an die Erfordernisse der Praxis angepasst:

- einheitliche Darstellung von Eingaben und Ausgaben im geographischen Koordinatensystem der OpenStreetMap-Karten

- automatisches Einlesen von Gebäudeinformationen aus dem Internet von OpenStreetMap
- Aufnahme weiterer Quellkonfigurationen
- flexible Vorgabe von Nuklid-spezifischen Emissionszeitreihen, der Zeitreihe meteorologischer Parameter und des Rechenzeitraums
- Auswahl von Horizontalschichten in der Ergebnisdarstellung
- Optimierung der Struktur der grafischen Benutzeroberfläche.

Die neue Programmversion LASAIR 5 wird als 64-Bit-Version für Windows und Linux bereitgestellt.

THEMENBEREICH 07 - VORHABEN MIT ALLGEMEINER BEDEUTUNG FÜR DEN STRAHLENSCHUTZ

Das Projekt „**Überarbeitung von technischen Strahlenschutznormen aus dem Bereich des Normenausschuss Materialprüfung (3614S70005)**“ hatte zum Ziel, verschiedene Normen zu überprüfen und dem Stand der Technik anzupassen. Dies bedeutete u. a. die Änderungen der Strahlenschutzverordnung (StrlSchV), der Röntgenverordnung (RöV), des kerntechnischen Regelwerks (KTA und DIN) und die Änderungen der Internationalen Normung (insbesondere ISO 11929) zu berücksichtigen. Die Überarbeitung konnte in den meisten Fällen erfolgreich im vorgegebenen Zeitraum abgeschlossen werden, jedoch werden einige Arbeiten noch weitergeführt und werden 2018 mit der Herausgabe der betroffenen Norm beendet.

THEMENBEREICH 08 - NICHTIONISIERENDE STRAHLUNG

Die Studie von Tillmann et al. (2010) und die Replikationsstudie von Lerchl et al. (2015, BfS-Projekt 3611S30017) zeigten, dass Mäuse, die in utero mit der karzinogenen Substanz ENU behandelt und lebenslang elektromagnetischen Feldern (EMF, UMTS-Standard) ausgesetzt wurden, im Verlauf ihres Lebens signifikant höhere Anzahlen von Tumoren der Leber und der Lunge sowie höhere Lymphomraten entwickelten im Vergleich zu scheinexponierten Tieren. Um zu klären, ob diese Effekte auf einer möglichen ko-karzinogenen Wirkung der EMF beruhen, wurde im Projekt „**Synergetische Wirkung hochfrequenter elektromagnetischer Felder in Kombination mit kanzerogenen Substanzen - Kokarzinogenität oder Tumorpromotion?**“ (3615S82431) der Versuch erneut durchgeführt (SAR-Werte 0, 0,04 und 0,4 W/kg), wobei diesmal die Schäden von ENU auf die DNA der Föten in den Geweben Lunge, Leber sowie Gehirn 24, 36 und 72 Stunden nach ENU-Gabe untersucht wurden. Durch immunzytochemische Methoden wurde das Alkylierungsprodukt O⁶-Ethyl-Deoxyguanin der DNA als Maß der Schäden sowie als Vergleich die DNA-Menge in Zellen der Gewebe mittels Fluoreszenzmikroskopie und quantitativer Analysen bestimmt. Es zeigten sich insgesamt keine statistisch signifikanten Unterschiede zwischen den Expositionsgruppen. Die statistische Aussagekraft (Power) der Daten ist hoch. Somit müssen die früher beobachteten Effekte als Folge einer Tumorpromotion und nicht als Folge von ko-karzinogenen Wirkungen von EMF interpretiert werden.

In der vorliegenden repräsentativen Umfrage „**Nebenwirkungen bei Anwendungen optischer Strahlung in der Kosmetik**“ (3616S82432) wurden Personen befragt, die optische Strahlenquellen wie Laser oder IPL-Geräte zu kosmetischen Zwecken entweder bei professionellen Anbietern oder in Heimanwendung genutzt hatten. Zusätzlich wurden Interviews mit professionellen Anbietern geführt. Für die meisten Anwendungen waren ärztliche Anbieter in Anspruch genommen worden. Bei nicht-ärztlichen Anbietern stand die dauerhafte Haarentfernung (Epilation) im Vordergrund. Während die Ärzte überwiegend Laser nutzen, werden bei nicht-ärztlichen Anbietern wie Kosmetikstudios eher IPL-Geräte eingesetzt. Nur 42,5 % der Anwendungen verliefen vollständig ohne Nebenwirkungen. Die meisten berichteten Nebenwirkungen wie Hautrötungen oder Krustenbildung traten nur vorübergehend auf, aber auch der Anteil der von den Nutzerinnen und Nutzern berichteten Anwendungen mit bleibenden Nebenwirkungen wie Narben oder Fehlpigmentierungen lag mit 18 % höher als erwartet. Dennoch waren die Befragten mit den Behandlungen professioneller Anwender überwiegend zufrieden.

Vom 12. bis 14. Dezember 2017 fand ein „**Internationaler Workshop zum Zusammenhang zwischen neurodegenerativen Erkrankungen und Magnetfeldexposition - Stand des Wissens und Forschungsperspektiven**“ (3617I02410), veranstaltet vom Bundesamt für Strahlenschutz, statt. Experten aus der ganzen Welt waren geladen, um im Veranstaltungssaal des Salesianum, Don Bosco, zweieinhalb Tage lang zu den unterschiedlichen Aspekten und Problemstellungen zu diskutieren und gemeinsam einen Überblick über die Standpunkte dieser verschiedenen Bereiche zu geben. Zur Gestaltung der Programmpunkte waren 21 inter-

nationale Redner geladen, um verschiedene Fachrichtungen und Forschungsbereiche darzustellen. Zudem konnten Abstracts für Kurzvorträge eingereicht werden, was von insgesamt zwei Interessierten wahrgenommen wurde. Insgesamt 57 Personen aus 15 verschiedenen Ländern kamen für den Workshop nach München.

Summary

On behalf of the Federal Ministry for the Environment, Nature Conservation and Nuclear Safety (BMU), to march 2018 Federal Ministry for the Environment, Nature Conservation, Building and Nuclear Safety (BMUB), the Federal Office for Radiation Protection (BfS) awards research grants for projects in the field of radiation protection. The findings of these projects serve as decision aiding information in the development of radiation protection regulations as well as in the fulfilment of specific tasks in the field of radiation protection. The tasks of the Federal Office for Radiation Protection involve planning, technical and administrative preparation, awarding of contracts, general support as well as the technical evaluation of research and study projects. This report provides information on results, i. e. preliminary (in the form of status reports) and, where applicable, final results of radiation protection projects within the BMU/BMUB's Environmental Research Plan for the year 2017.

Preface

Protecting man and the environment from the risk of ionising and non-ionising radiation is a central responsibility assigned to the BMU/BMUB and to the Federal Office for Radiation Protection (BfS). Implementation of these tasks and in particular the development of radiation protection guidelines and the supervision of the implementation of nuclear and radiation protection laws by the Federal States is only possible on a broad scientific-technical basis. Fundamental issues as well as questions related to the implementation of individual radiation protection measures have to be investigated and answered. To develop the necessary decision-aiding tools and for adequate implementation of the tasks, investigative projects covering a broad thematic spectrum must be carried out (Departmental Research Programme).

Introduction

The **subject areas** of this report will be explained in detail in the following:

One of the primary tasks consists in the assessment and evaluation of **natural and artificial radiation exposures** of man and the environment. For example, enrichment processes of natural radioactive substances (e. g. radon) or emerging trends in the artificial use of radioactive substances and ionising radiation must be identified and evaluated in a timely fashion so that appropriate measures can be taken to counteract any danger to man and the environment.

A prerequisite not only for many of the studies but also for proving that dose level values have been kept is the availability of adequate measurement techniques and dose assessment procedures. The multifaceted and complicated measurements of **radiation protection technology** require that existing measurement techniques are improved, new systems are developed and dosimetric models and data are continually checked and adjusted.

The Radiation Protection Ordinance sets forth dose limits to protect members of the public and persons occupationally exposed to radiation at work. These limits are based upon scientific knowledge. They have to be updated continually and adapted to the state of the art of scientific and medical research in order to ensure radiation protection to the fullest possible extent. Since **biological reactions to ionising and non-ionising radiation** can vary considerably depending on the individual, further research and evaluation is required. Therefore, procedures to identify individual **radio-sensitivity** must be further developed.

Today's radiation protection philosophy in the area of ionising radiation is ruled by the principle of not adopting any action or practice leading to artificial exposure unless it is justified (so-called Principle of Justification) and at the same time keeping radiation exposure of justified activities and practices as low as reasonably achievable (Principle of Optimisation). Both principles are stipulated in the Radiation Protection Ordinance. The observance of these principles will be controlled.

Since man-made radiation exposure of the public is mainly made up of **medical radiation exposure** from diagnostic procedures, this latter is another focal point of the BMUB Environmental Research Plan (Umweltforschungsplan) 2017. In this context, it is particularly important that the health benefit associated with the use of radiation in man outweighs the radiation risk. It is crucial to balance the benefits and risks of diagnostic procedures, to search for alternative procedures involving lower risks, and to reduce radiation exposure by appropriate procedures.

Assessment of the radiation exposure of members of the public requires knowledge of how radioactive substances behave in the environment, how they disperse in air and water, how they are enriched in the different

ecosystems and their subsequent effect on man via the food chain. Thus, detailed information on **radioecology** is needed.

Incidents can happen, due to human or technical error, at any place where people work with radioactive substances or ionising radiation. This may cause radioactive substances to be released or people to be exposed to radiation. Determination and optimisation of precautionary measures against accidents and incidents is therefore one of the BfS' permanent tasks. **Emergency management** is an area requiring continual improvement and the effectiveness of safety measures culminating in medical protective measures in the case of an overexposure needs to be optimised on an on-going basis.

Apart from that, a number of projects deals with issues of **general importance for radiation protection**.

Over the last few decades, changes in leisure activities and new fashion trends have led to ever increasing numbers of the population staying longer in the sun and using artificial UV radiation in sunbeds. This trend necessitates new concepts and research measures in the field of protection from UV radiation.

On top of this, man's environment is increasingly influenced by the presence and the use of electrical devices as well as by the acceleration in the development of electronic media and wireless communication. This ever expanding trend has given rise to new tasks in the field of protection from the effects of **non-ionising radiation**.

Apart from the existing well-founded scientific findings on health effects, there are indications for potential additional biological effects at lower field intensities which have not yet been fully understood by scientists. For this reason, the **German Mobile Telecommunication Research Programme (DMF)** continued its research by systematically studying the effects of different uses of non-ionising radiation on man. The main emphasis of these research projects was in the fields of biology, epidemiology, dosimetry and risk communication. It was funded in equal shares by BMUB and the German mobile phone network operators. In order to exclude possible conflicts of interest, the projects were assigned and scientifically overseen solely by the BfS. The Research Programme was initiated by the BfS and ended in 2008. Individual follow-up projects, assigned and scientifically overseen by the BfS, are now being funded within the scope of the so-called DMF II.

Summary of results from recent research projects

In the following results of research projects concluded in 2017 will be reported:

SUBJECT AREA 01 - NATURAL RADIATION EXPOSURE

The aim of the study „**Establishment of a biobank based on the Wismut pathology archive of former Wismut workers who died of lung cancer**“ (3614S10015) was the isolation of DNA and RNA of formalin-fixed paraffin embedded (FFPE) tissues of male lung cancer patients of the Wismut pathology archive. The quality characteristics of the isolated material (tumor and non-tumor tissue) and the available medical and epidemiological data were determined and transmitted to the Bundesamt für Strahlenschutz (BfS) in combination with the biological samples. In principle, the quality of the isolated nucleic acids of the tumor and non-tumor tissues appears to be suitable for further molecular biological analyses. However, the eligibility of the isolated nucleic acids is dependent on the used classic and molecular biological methods. All samples, as well as the measured and collected data are ready to be integrated into the biobank of the earlier project "Biological sample and data collection of occupationally radiation exposed workers - the German Uranium Miners Biobank - a pilot study" (3608S04532).

In transposing the BSS into national law, Art. 23 requires Member States, inter alia, to identify classes or types of practice involving naturally-occurring material (commonly known as NORM industries) that may lead to exposures of members of the public that cannot be disregarded from a radiation protection point of view. Discharges are part of the practice and may be subject to regulatory control. The project „**Determination of potential exposure to radiation due to discharges from NORM relevant industrial sectors**“ (3615S12232) served the purpose of fulfilling this particular requirement of the BSS. In the context of this project, dust, radon and water discharged from NORM industries were investigated. The investigation included the 16 sectors of NORM industries listed in Annex VI of the BSS, and additional sectors that have been known in Germany for potentially being of radiological concern. In total, 26 industrial sectors have been analysed and some discharges were identified to potentially lead to effective doses for members of the public exceeding 100 µSv/a.

The Federal Office for Radiation Protection is conducting a cohort study on about 60 000 former employees of the uranium mining company "Wismut". In the research project „**Determination of uncertainties in radiation exposure assessment in the Wismut Cohort - part I**“ (3616S12223) potential sources of uncertainty in the exposure assessment for radon and its progeny were identified and preliminarily evaluated regarding their potential relevance. At first, the procedure for the radiation exposure estimation was documented and formalised in detail. Individual radiation exposure in the Wismut cohort was calculated from the values of a job-exposure matrix (JEM) which was developed in a multi-step process using experts' estimation and radon (progeny) concentration measurements, as well as individual job histories. In the subsequent evaluation of potential sources of uncertainty, errors due to the generalisation of single exposure measurements (generalisation error) and parameter uncertainties were considered as particularly relevant in comparison to other errors, such as estimation errors and assignment errors.

In many countries data concerning radon in workplaces are already existing. Due to the different approaches in the survey, they are very heterogeneous and cannot be compared. For planning purposes, in the project „**Identification and quantification of work places affected by the implementation of the Euratom Directive**“ (3616S12340) the number and spatial distribution of workplaces in Germany were determined. A nationwide data set does not exist. Therefore, the number was estimated based on the number of persons staying here for work. Data were collected from various sources (e. g. Federal Employment Agency, Federal Statistical Office) and - as far as possible - assigned to municipalities. In total, about 90 % of employees in Germany were recorded. Additionally, a list of workplaces with specific characteristics, potentially causing an increased radon exposure in the workplace, was generated. The number of persons affected is considered low.

The regulations of the Radiation Protection Act (German: Strahlenschutzgesetz, StrlSchG) of 27 June 2017 also apply to radiation exposure to naturally occurring radioactive materials (NORM) in defined fields of practice. For some of these fields of practice, sufficient information about the level of radiation exposure pathways as well as the number of affected employees was not available. The purpose of the research project „**Investigation and assessment of radiation exposures at workplaces with naturally occurring radioactive materials (NORM)**“ (3616S12343) was to collect the relevant information for these fields of practice in order to assess the future extent of radiation protection measures that are needed to ensure the health protection of occupationally exposed persons. In the outcome, it was evaluated that a dose estimation according to § 55 StrlSchG may be required for 300 to 1000 employees in the investigated fields of practice in Germany. For about 50 to 150 employees, the estimated effective dose may exceed 1 mSv in the calendar year causing an obligation of notification to the authority and the duty according to § 56 StrlSchG to determine the exposure with a more realistic approach. The above numbers of employees depend to a large extent on the degree of conservatism applied in dose modeling. As a particular problem, the dose estimation or dose determination of workers who are performing maintenance work and are employed by external companies have been recognised.

SUBJECT AREA 02 - RADIATION PROTECTION TECHNIQUES

Knowledge about the gamma dose rate level in the environment is of main importance for decision making. One further prerequisite is information about contributing radionuclides. Since more than 20 years BfS operates a gamma dose rate network with approximately 1800 stations which are almost homogeneously distributed over the German territory. Meanwhile new detector materials have become available allowing to realise spectroscopy gamma detectors at reasonable price. Energy resolution of these detectors is limited but nevertheless allows to obtain spectral information with sufficient quality to determine to which extend individual nuclides are contributing to the measured radiation level. Application of on-line spectroscopy detector systems in an operational emergency prepared system requires well designed tools for the automatic analysis of the spectral data. In the framework of the project „**Supply of an operational infrastructure for analysis of spectrum obtained with semiconductor detector of intermediate resolution**“ (3615S22530) analysis methods were investigated and software tools were developed to target the goal to extend information obtained by the gamma dose rate network with nuclide specific information. Thus, the improvement of one of the core tasks within the German emergency preparedness system will be achieved in near future.

SUBJECT AREA 03 - RADIATION BIOLOGY - EFFECTS OF IONISING AND NON-IONISING RADIATION, RADIOSENSITIVITY

The aim of the research project „**Genome wide analysis of radiation sensitivity in former uranium miners of SDAG Wismut - Data analysis and assessment of the association analyses**“ (3615S32253) was to search for genetic variants that could contribute to increased lung cancer risk associated with radiation. In the context of two predecessor projects of the BfS (3614S10013 and 3614S10014) the DNA samples of 516 bismuth miners were examined. The individual genetic disposition of 456 699 single nucleotide polymorphisms (SNPs) was determined with the OncoArray. The total sample included in this study consisted of 28 599 Caucasian study participants - 463 study participants were Wismut miners, 946 lung cancer patients (hereafter referred to as cases), and cancer-free individuals (hereinafter referred to as controls) were from the German Lung Cancer Study and 27 187 were from the OncoArray consortium ILCCO / TRICL (International Lung Cancer Consortium / Transdisciplinary Research in Lung Cancer). 49 of the 15 077 (0.3 %) cases and 259 of the 13 522 controls (1.9 %) were exposed to an increased occupational exposure to radon. For a genomic region - chromosome 1p31.3 - a genome-wide significant lung cancer risk-modifying interaction of genetic disposition and occupational radon exposure could be observed. This region covers the gene UBE2U (Ubiquitin-conjugating enzyme E2 U). Similarly, for the molecular signaling pathways "DNA dealkylation involved in DNA repair" (Gene Set GO: 0006307) and GO: 0016020 "Membrane (cellular-component)", we discovered an association with lung cancer, given an occupational radon exposure, by performing a gene-set analysis.

SUBJECT AREA 04 - MEDICAL RADIATION EXPOSURES / X-RAY ORDINANCE

Inhalation is the most frequent pathway of incorporation at work places associated with radioactive material. The resulting radiation dose depends strongly from the physiko-chemical properties of the radioactive aerosol, which are known only limited. Such aerosol parameters were determined in the project „**Improvement of the inhalation dosimetry at work places**“ (3614S40015) besides the activity concentration at characteristic work places during various working processes: Chernobyl (construction of the new shelter), Fukushima (decontamination works) and a welding workshop (tungsten inert gas welding). Bulk samples, size fractionated samples and personal size fractionated samples have been collected. The solubility in simulated lung fluid was tested at bulk samples. With the Software „IMBA Professional“ the dose coefficients were determined from the measurements in Chernobyl and Fukushima, which disagree partly from standard coefficients of the International Committee of Radiation Protection. The experimental data of Cs-137 solubility suggest a significant contribution of type S, which would result in higher dose coefficients. The results show the importance of detailed characterisation of aerosol parameters for a reliable dose assessment.

According to current scientific and technical knowledge, the risk of breast cancer after radioiodine therapy (RIT) for thyroid cancer at younger ages does not allow for a definite evaluation due to contradictory results of studies with often insufficient quality. The objective of the „**Assessment of breast cancer risk following radioiodine treatment for thyroid cancer - feasibility study**“ (3615S42421) was therefore to investigate the basic conditions for a systematic international subsequent study of larger patient and control cohorts, in order to evaluate the risk of breast cancer as a secondary malignancy in female thyroid cancer patients after radioiodine therapy (RIT) during childhood and adolescence. Based on the case number calculation and statistical analysis, at least 4 340 cases and 660 controls should be recruited for the subsequent study. Eligible cohorts from ten national and international centers were identified for the subsequent study; their characteristics were described. Respective registers currently incorporate 3 300 cases and 500 controls provided the age limit is increased from 18 to 40 years. To test the practical work flow of a subsequent study, survey instruments were developed for the feasibility study, study methods and quality control programs were defined and 111 cases after RIT and 90 controls were investigated in Belarus according to the protocols. In the patient group, one breast cancer case and three cervical cancer cases were newly diagnosed. The highly significantly increased infertility rate in the patients group (23 %) compared to the control group (4 %) was noticeable. According to the results of the feasibility study breast cancer screening of a larger cohort of thyroid cancer patients with an at the best slightly increased risk of breast cancer after RIT is hardly justifiable for ethical reasons due to an expected high rate of false positive findings in the range of 10 % and an uncertain number of "over-diagnoses". Research needs result from the question of an increased infertility rate after RIT due to thyroid cancer.

SUBJECT AREA 05 - RADIOECOLOGY

For clarifying open questions regarding radioiodine discharges from nuclear medicine applications in Germany via rivers in the OSPAR region, within the projekt „**Measurements and modelling of I-131 fluxes from nuclear medical applications in Germany into the OSPAR region**“ (3614S50015) investigations of I-131 loads in selected wastewater treatment plants (inlets and outlets), in the vicinity of discharge points of sewage treatment plants in rivers as well as in upper reaches and tributaries of the Elbe, Weser, Ems and Rhine were carried out. The monthly measurements in wastewater from treatment plants confirmed that an I-131 load of (12 ± 4) kBq/a per inhabitant can be considered representative of discharges of treatment plants into the rivers. The averaged loads of I-131 in four different sized rivers, which were determined in the near field at the discharge points of large wastewater treatment plants at intervals of two months, did not show an effective sink for the I-131 in the studied river. On the other hand, investigations on tributaries and upper reaches of rivers confirmed that the I-131 loads are generally significantly lower than expected based on the number of inhabitants in these catchment areas. However, analyses of biomaterials showed, that algae films from riverbeds can represent a sink for the I-131.

SUBJECT AREA 06 - EMERGENCY MANAGEMENT

In the research project „**Decision rules at nuclear accidents: application of decision concepts for urgent safety measures**“ (3615S62536) decision rules were derived by applying machine learning algorithms to a large set of exemplary radiological consequence predictions for a hypothetical NPP accident calculated the decision support system RODOS. These decision rules were presented in forms of sector plots around the NPP site, which would allow a first statistical guess of radiologically significantly affected areas in a real accident situation. These results may be used to further improve the nuclear emergency preparedness and response in Germany.

In the research project „**Adaptation of a decision support system for nuclear-specific security purposes to new requirements in the urban environment**“ (4716R01652) the program system LASAIR for the dose estimation after release of radioactive substances from a detonated, unconventional explosive or fire device was enhanced and adapted to the requirements of practise in the following key points:

- consistent representation of input and output in the geographic coordinate system of OpenStreetMap
- automatic reading of building information from OpenStreetMap in the internet
- inclusion of additional source configurations
- flexible specification of nuclide-specific emission time series, the time series of meteorological parameters and the time period covered by the calculation
- selection of horizontal layers in the result display
- optimising the structure of the graphical user interface.

The new program version LASAIR 5 is available as 64-bit version for Windows and Linux.

SUBJECT AREA 07 - PROJECTS OF GENERAL IMPORTANCE TO RADIATION PROTECTION

The project "**Revision of technical radiation protection standards from the area of the Materials Testing Standards Committee (NMP)**" (3614S70005) aimed at revising several standards and adapting them to the state of science and technology. This meant among other things to consider the changes of the German Radiation Protection Ordinance (StrlSchV), the X-Ray Ordinance (RöV), the standards of the Nuclear Safety Standards Commission and other German standards concerning nuclear safety (KTA and DIN) and the concerning international standards (particularly ISO 11929). The work was completed successfully in most cases within the specified period. However, some parts of this project are not yet finalised but will be within 2018.

SUBJECT AREA 08 - NON-IONISING RADIATION

The study by Tillmann et al. (2010) and the replication study by Lerchl et al. (2015, BfS-Project 3611S30017) showed that mice which were treated in utero with the carcinogenic substance ENU and exposed lifelong to electromagnetic fields (EMF, UMTS standard) showed higher numbers of tumors of the lung and the liver and higher incidence rates of lymphomas as compared to unexposed controls. In order to clarify whether these

effects are caused by a possible co-carcinogenic effect of EMF, the experiment was repeated once more in the project „**Synergetic effect of radiofrequency electromagnetic fields in combination with carcinogenic substances - cocarcinogenity or tumor promotion?**“ (3615S82431) (SAR values 0, 0.04, and 0.4 W/kg), this time investigating the ENU-induced damage of the DNA of the fetuses' tissues of lung, liver and brain, 24, 36, and 72 hours after ENU application. By immunocytochemical methods, the alkylation product O⁶-ethyl-deoxyguanin was estimated as a measure of DNA damage, and for comparison the amount of DNA in cells of the respective tissues by fluorescence microscopy and quantitative analysis. Overall no significant differences between the exposure groups were found. The statistical power of the data is high. Thus, the earlier observed effects must be interpreted as a consequence of tumor promotion and not as a consequence of co-carcinogenic effects of EMF.

In the present survey „**Side effects of using optical radiation in cosmetics**“ (3616S82432) users of optical radiation sources such as Laser or IPL devices were asked about the applications that were either carried out by professional providers or performed with home devices by the users themselves. In addition, interviews were conducted with professional providers. Most professional applications had been performed in medical practices. For non-medical providers permanent hair removal (epilation) was the most relevant application. While medical professionals tend to use lasers, beauticians are more likely to use IPL-devices. Only 42.5 % of applications were completely without side effects. Most reported side effects, such as redness or crusting, were transient, but also the proportion of reported applications with persistent side effects such as scars and hyper- or hypopigmentation was unexpectedly high at 18 %. Nevertheless, the respondents were mostly satisfied with the treatment of professional providers.

The Federal Office for Radiation Protection hosted the „**International Workshop: Relationship between neurodegenerative diseases and magnetic field exposure - State of knowledge and research perspectives**“ (3617I02410) from December 12th to December 14th 2017. Experts from all over the world were invited to Munich, to discuss recent developments and current problems related to the topic. Together they created an overview over the different issues concerning magnetic radiation and neurodegenerative diseases. The program was formed by 21 international speakers who presented their point of view and current research status. Additionally, interested guests could participate with short talks. Two attendees took the opportunity. In total, 57 guests from 15 different countries came to Munich to participate at the workshop.

ERGEBNISSE (ABSCHLUSSBERICHTE)

der vom BfS begleiteten Strahlenschutz-Forschungsvorhaben des BMUB 2017

RESULTS (FINAL REPORTS)

of BfS supported BMUB radiation protection research projects in 2017

Themenbereich 01

Natürliche Strahlenexposition

Subject area 01

Natural radiation exposure

Thema

Erstellung einer Bioprobendatenbank der an Lungenkrebs verstorbenen Wismutarbeiter aus dem Wismut Pathologiearchiv

Subject

Establishment of a biobank based on the Wismut pathology archive of former Wismut workers who died of lung cancer

Kennzeichen
3614S10015

Beginn
01.01.2015

Ende
30.09.2017

Fördermittel
EUR 234.223,-

Forschungs- / Auftragnehmer

Institut für Arbeitsmedizin und Prävention der DGUV, Institut der Ruhr-Universität Bochum (IPA) Berufsgenossenschaft Rohstoffe und chemische Industrie, BG RCI

Projektleitung

Dr. G. Johnen, Prof. Dr. T. Brüning

Fachbetreuung BfS

Dr. M. Schnelzer, AG-SG 1.3

verantwortlich für den Text

Dr. A. Brik, Dr. G. Johnen, Dr. D. Weber

1. ZIELSETZUNG

In diesem Projekt sollten von männlichen Lungenkrebspatienten des Wismut-Pathologiearchivs die beiden Nucleinsäuren DNA und RNA aus den vorhandenen Formalin-fixierten Paraffin-eingebetteten (FFPE) Geweben (jeweils Tumor- und Nichttumorgewebe) für eine Bioprobenbank isoliert und die Qualitätsmerkmale erfasst werden. Zusätzlich sollten die verfügbaren medizinischen und epidemiologischen Daten (Pathologiebefunde, Expositionsdaten, Beschäftigungszeiten) erfasst werden. Zum Abschluss sollten alle Proben und Daten an das Bundesamt für Strahlenschutz (BfS) zur Integration in die bestehende Wismut-Bioprobenbank übergeben werden, um diese für zukünftige Forschungsfragen auf dem Gebiet des Strahlenschutzes bereitzustellen.

2. EINZELZIELSETZUNG

Im Einzelnen wurden in diesem Projekt folgende Punkte bearbeitet:

- Aktualisierung der Standard Operating Procedures (SOPs) des vorhergehenden Projekts 3610S10002 („Sonderauswertung Wismut“)
- Erfassung der noch nicht bearbeiteten und für eine Isolierung geeigneten FFPE-Blöcke
- Erfassung der Qualitätsmerkmale von DNA und RNA
- Erfassung der verfügbaren medizinischen und epidemiologischen Daten
- Übergabe der isolierten DNA, RNA und der dazugehörigen Daten an das BfS.

3. METHODIK

Die Auswahl geeigneter FFPE-Blöcke sowie die Zusammenführung der verfügbaren und erhobenen Daten in einer Datenbank erfolgte in Abstimmung mit der Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin (BAuA). Dazu wurden aus der Datenbank zum Wismut-Pathologiearchiv in Verbindung mit der Wismut-JEM (Job Exposure Matrix) alle männlichen exponierten Wismut-Beschäftigten, die ab dem Jahr 1986 an Lungenkrebs verstorben waren, ausgewählt. Es konnten nur Beschäftigte mit einem Sterbedatum ab 1986 ausgewählt werden, da erst ab diesem Datum Tumorblöcke im Archiv vorhanden waren. Theoretisch sollten sich FFPE-Blöcke von 937 Lungenkrebspatienten im Wismut-Pathologiearchiv befinden. In diesem Projekt wurden von insgesamt 556 Patienten die noch nicht bearbeiteten Blöcke mit Tumor- und Nicht-Tumormaterial bearbeitet. Von den übrigen Lungenkrebspatienten waren keine Blöcke mit Lungengewebe mehr vorhanden.

4. DURCHFÜHRUNG

Die ausgewählten FFPE-Gewebeproben aus dem Wismut-Pathologiearchiv wurden anhand der Beleg-schnitte pathologisch-anatomisch als Tumor- und Nicht-Tumor-Material klassifiziert. Dabei wurde die grund-

sätzliche Eignung des Probenmaterials für die Isolierung der Nukleinsäuren bewertet. Voraussetzung war, dass genügend Material sowohl von Tumor- als auch Nicht-Tumorgewebe vorhanden ist und die Gewebe möglichst wenige nekrotische Bereiche aufweisen. Für Fälle, von denen keine FFPE-Blöcke mit dem Primärtumor mehr vorhanden waren, wurden (wenn möglich) alternativ Blöcke mit Fernmetastasen der Lungentumoren verwendet. Von den ausgewählten Fällen wurden jeweils vom Tumor- und Nicht-Tumormaterial ein 3 µm-Belegschnitt sowie 15 10 µm-Schnitte für die Isolierung der DNA und RNA angefertigt. Die Isolierung, Qualitätsüberprüfung und Dokumentation der Bioproben erfolgte anhand der entsprechenden Standard Operating Procedures (SOPs).

5. ERGEBNISSE

Von den 432 vorausgewählten Fällen konnte zu 401 Fällen (> 90 %) ausreichend Material in Form der FFPE-Blöcke für die weitere Charakterisierung und Bearbeitung entnommen werden. Größtenteils waren die dazugehörigen Belegschnitte vorhanden. Zusätzlich wurden für acht Fälle, von denen keine Blöcke mit Primärtumor mehr vorhanden waren, alternativ Blöcke mit Metastasen entnommen. Für die aktuelle pathologisch-anatomische Bewertung wurden für diese 409 Fälle neue Belegschnitte angefertigt. Entsprechend der Kriterien der pathologisch-anatomischen Bewertung wurden zunächst für 54 Fälle die Primärtumorgewebe als nicht verwendbar ausgeschlossen. Allerdings konnten für fünf Fälle alternativ noch Blöcke mit Metastasen entnommen werden, so dass insgesamt 49 Fälle ausgeschlossen wurden und schließlich 360 Fälle (88 %) mit ausreichendem Tumor- und Nicht-Tumorgewebe zur Verfügung standen. Von sieben Proben (sechs Blöcke mit Tumorgewebe und ein Block mit Nicht-Tumorgewebe) wurden die Nukleinsäuren aus jeweils zwei Blöcken isoliert. Von einem Probanden lag Material von zwei Tumorentitäten vor (kleinzelliges Karzinom und Plattenepithelkarzinom). Bei drei Probanden wurde zusätzlich ein Block mit Metastasen verwendet und bei drei Probanden wurden die Nukleinsäuren direkt aus einem zusätzlichen Block isoliert, da die pathologisch-anatomische Bewertung des ersten Blocks eine deutlich schlechtere Qualität vermuten ließ.

Zusätzlich wurden für die Isolation von RNA bei 196 Fällen die FFPE-Gewebeproben aus dem vorhergegangenen Projekt 3610S10002 („Sonderauswertung Wismut“) verwendet.

Aus insgesamt 727 FFPE-Blöcken (366 Blöcke mit Tumormaterial und 361 Blöcke mit Nicht-Tumormaterial) wurde die DNA isoliert. Die DNA-Menge betrug im Mittel 14,52 µg (min – max: 0,29 - 59,46 µg). Die durchschnittliche Ausbeute im Tumormaterial war mit 20,12 µg (min – max: 0,29 – 59,46 µg) höher als im Nicht-Tumormaterial mit 8,84 µg (min – max: 0,38 – 30,42 µg), (Abbildung 1 A).

Die DNA-Reinheit (OD 260/280) betrug für alle Proben im Schnitt 1,79 (min – max: 1,20 – 2,71) und für das Tumormaterial 1,81 (min – max: 1,20 – 2,43) bzw. für das Nicht-Tumormaterial 1,77 (min – max: 1,41 – 2,71), (Abbildung 1 B).

Aus insgesamt 1 119 FFPE-Blöcken (562 Blöcke mit Tumormaterial und 557 mit Nicht-Tumormaterial) wurde die RNA isoliert. Die RNA-Menge betrug im Mittel 4,62 µg (min – max: 0,07 – 36,69 µg). Wieder war die Ausbeute im Tumormaterial im Durchschnitt höher und betrug 6,77 µg (min – max: 0,07 – 36,69 µg) im Vergleich zum Nicht-Tumormaterial mit 2,45 µg (min – max: 0,11 – 12,98 µg), (Abbildung 2 A).

Die RNA-Reinheit (OD 260/280) lag für alle Proben bei durchschnittlich 1,77 (min – max: 1,01 – 10,19) bzw. im Tumormaterial bei 1,78 (min – max: 1,01 – 3,27) und im Nicht-Tumormaterial bei 1,77 (min – max: 1,14 – 10,19), (Abbildung 2 B).

Zusätzlich wurde die Qualität der isolierten RNA anhand der RNA Integrity Number (RIN) bestimmt. Über alle Proben betrug die RIN im Durchschnitt für alle Proben 1,91 (min – max: 1,00 – 4,80) bzw. 1,98 (min – max: 1,00 – 3,80) im Tumormaterial und 1,83 (min – max: 1,00 – 4,80) im Nicht-Tumormaterial (Abbildung 2 C).

Die zu den Bioproben gehörigen Qualitätsmerkmale wurden in einem Datensatz zusammengefasst. Dieser Datensatz kann abschließend zusammen mit den dazugehörigen medizinischen und epidemiologischen Daten in die Datenbank eingepflegt werden, die im Rahmen des abgeschlossenen Projekts 3608S04532 „Aufbau einer Bioproben-Bank von ehemaligen Beschäftigten der SAG/SDAG Wismut - Pilotstudie“ erstellt wurde.

6. UMSETZUNG DER ERGEBNISSE

Die Bedeutung dieses genetischen Materials für den Strahlenschutz liegt in der effektiven Bearbeitung von komplexen strahlenepidemiologischen Fragestellungen. Epidemiologische Studien in Kombination mit neuesten molekulargenetischen Analysen sind notwendig, um das Krebsrisiko, das durch strahleninduzierte genetische Instabilität, individuelle Strahlenempfindlichkeit und kombinierte Strahlenwirkungen erhöht wird, quan-

tifizieren zu können. Voraussetzung für solche Untersuchungen ist die Isolierung von genetischem Material aus dem Zielgewebe.

Mit diesem Vorhaben wird die Wismut-Bioprobandatenbank vervollständigt und bildet nun die Grundlage für weiterführende, genetische Analysen, um bereits identifizierte Genvarianten (3615S32253 „Genomweite Analyse genetisch bedingter Strahlenempfindlichkeit in Wismut Bergarbeitern: Datenauswertung und Bewertung der Assoziationsanalysen“), die das strahleninduzierte Krebsrisiko modifizieren, validieren zu können.

Die Untersuchung von Genvarianten von beruflich strahlenexponierten Kollektiven ist Voraussetzung, um Fragen zu individueller Strahlenempfindlichkeit in der Normalbevölkerung untersuchen zu können. Damit bildet die Bioprobandatenbank von an Lungenkrebs verstorbenen ehemaligen Wismut-Beschäftigten die Grundlage für die Ermittlung von genetischen Faktoren, die im Zusammenhang mit der Strahlenbelastung zu einem höheren Krankheitsrisiko führen, aber auch für die Entwicklung von Expositionsmarkern in Kombination mit verschiedenen Noxen.

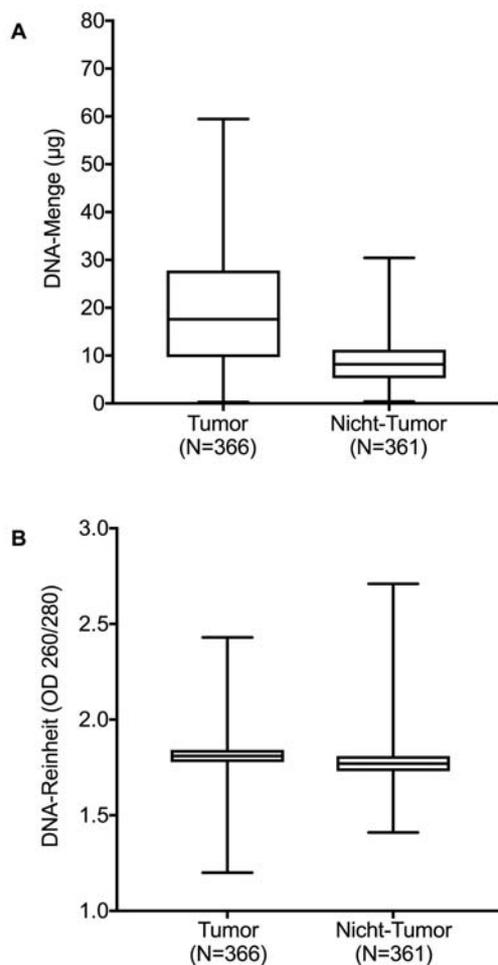


Abbildung 1: DNA-Menge (A) und DNA-Reinheit (B) im Tumor- und Nicht-Tumormaterial

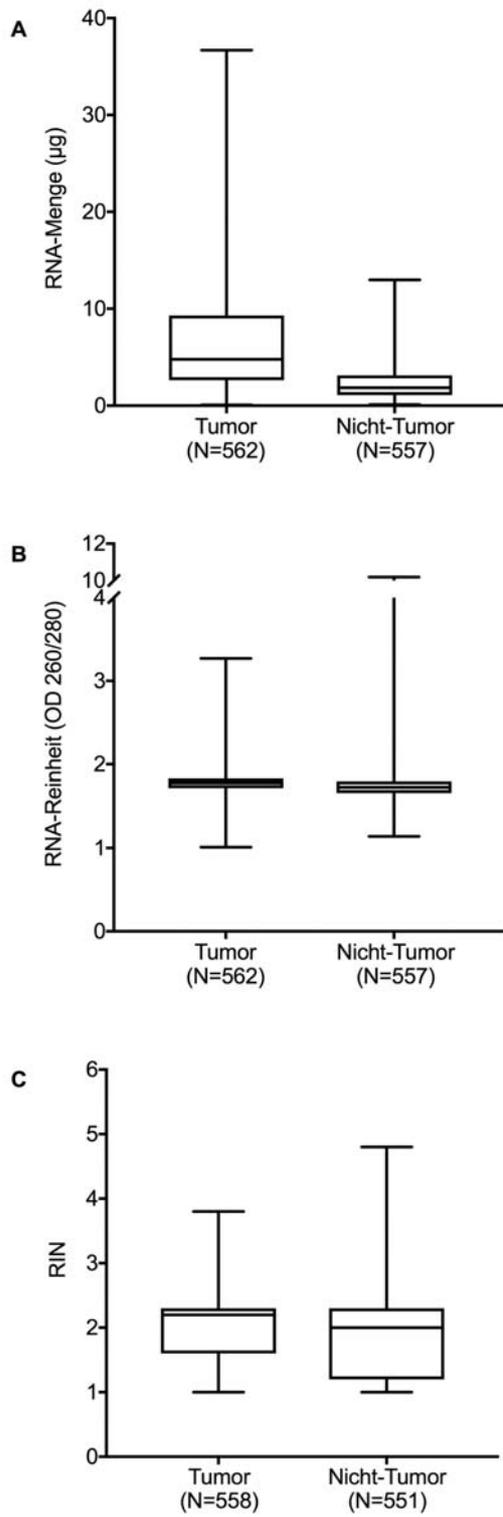


Abbildung 2: RNA-Menge (A), RNA-Reinheit (B) und RNA Integrity Number (RIN) (C) im Tumor- und Nicht-Tumor-material

Thema			
Ermittlung von potenziellen Strahlenexpositionen durch Ableitungen aus NORM-relevanten Industriezweigen			
Subject			
<i>Determination of potential exposure to radiation due to discharges from NORM relevant industrial sectors</i>			
Kennzeichen	Beginn	Ende	Fördermittel
3615S12232	08.07.2015	31.03.2017	EUR 119.190,-
Forschungs- / Auftragnehmer			
IAF - Radioökologie GmbH, Radeberg			
Projektleitung	Fachbetreuung BfS	verantwortlich für den Text	
Dr. Chr. Kunze	J. Dilling / SW 1.2	Dr. Chr. Kunze	

1. ZIELSETZUNG

Im Zusammenhang mit der Umsetzung der EU-Grundnormenrichtlinie in nationales Recht wurde mit dem Vorhaben „Ermittlung von potenziellen Strahlenexpositionen durch Ableitungen aus NORM-relevanten Industriezweigen“ auf den Teilaspekt der Ableitungen mit der Luft oder mit dem Wasser eingegangen. Dabei war zunächst zu prüfen, ob die bisherigen Regelungen der Strahlenschutzverordnung (StrlSchV) für den Bereich NORM mit den Inhalten der Richtlinie 2013/59/Euratom konform sind oder ob es Bedarf für weitergehende Regelungen gibt.

Durch die Forderung der EU-Grundnormenrichtlinie, dass künftig die für Tätigkeiten geltenden Grenzwerte der Strahlenexposition auf die Summe der Dosisbeiträge aus allen Tätigkeiten anzuwenden sind, ergab sich die Aufgabe, zunächst alle in Frage kommenden NORM-relevanten Industrien zu erfassen. Die durch Ableitungen aus diesen Industrien verursachten Strahlenexpositionen mussten für eine Einzelperson der Bevölkerung bewertet und jene Industrien identifiziert werden, die wegen der Ableitungen künftig bei der Ausgestaltung der strahlenschutzrechtlichen Regelungen nicht außer Acht gelassen werden können. In der Leistungsbeschreibung wurde darauf verwiesen, dass wegen möglicher Mehrfachexpositionen auch Dosisbeiträge deutlich unterhalb von 1 mSv/a zu berücksichtigen sind. Als Kriterium (Arbeitsgrundlage) dafür wurde in der Aufgabenstellung die jährliche effektive Dosis von 0,1 mSv genannt.

Außerdem war zu prüfen, ob zusätzlich zu den in der Anlage XII der StrlSchV aufgeführten Rückständen weitere NORM-Rückstände zu beachten sind und ob neben den Strahlenexpositionen durch die Beseitigung oder Verwertung dieser Rückstände auch durch Ableitungen aus Anlagen und Einrichtungen der betreffenden Industrien Dosisbeiträge für die Bevölkerung zu erwarten sind, die wegen der o. g. Bedingungen für die Einhaltung der Dosisgrenzwerte für Tätigkeiten zu beachten sind.

2. EINZELZIELSETZUNG

Das Vorhaben gliederte sich in drei Arbeitspakete (AP 1 bis AP 3), und zwar

- Identifizierung NORM-relevanter Industrien für Deutschland auf Grundlage von Anhang VI Richtlinie 2013/59/Euratom) (AP 1)
- Identifizierung weiterer Industrien mit potenziell expositionsrelevanten Ableitungen auf der Basis des Altlasten-Branchenkatalogs aus dem Jahr 2014 und Bewertungen von Ableitungen des Kohlebergbaus, der Radonheilbäder und -stollen (AP 2)
- Bewertung der Strahlenexposition für die Bevölkerung durch Ableitungen mit der Luft und dem Wasser (AP 3).

Die Zielsetzungen der einzelnen Arbeitspakete sind in den folgenden Unterabschnitten beschrieben.

2.1 IDENTIFIZIERUNG NORM-RELEVANTER INDUSTRIEN FÜR DEUTSCHLAND (AP 1)

In einem ersten Bearbeitungsschritt sind die 16 Industriezweige des Anhangs VI der Richtlinie 2013/59/Euratom dahingehend zu prüfen, ob die aufgeführten Industriezweige in Deutschland von Relevanz sind. Dabei

war, ausgehend von der aktuellen Situation, auch eine Prognose für die künftige Entwicklung der aufgeführten Industriezweige in Deutschland zu erstellen. Dies erfolgte auf der Basis einer Literaturstudie sowie unter Einbeziehung eigener Erkenntnisse des Auftragnehmers. Im Ergebnis von AP 1 wird die radiologische Relevanz für die einzelnen Industriezweige dargelegt.

2.2 IDENTIFIZIERUNG WEITERER INDUSTRIEN MIT POTENZIELL EXPOSITIONSRELEVANTEN ABLEITUNGEN UND BEWERTUNGEN VON ABLEITUNGEN DES KOHLEBERGBAUS, DER RADONHEILBÄDER UND -STOLLEN (AP 2)

In AP 2 wurden weitere Industriezweige mit potenziell expositionsrelevanten Ableitungen von NORM-Stoffen identifiziert. Dies erfolgte vor allem auf Basis des Altlasten-Branchenkatalogs, der die verschiedenen Branchen als „radiologisch altlastenrelevant“ (2R), „potenziell radiologisch relevant“ (1R bzw. 1R-S) oder „nicht radiologisch altlastenrelevant“ (0R) klassifiziert. Es wurden diejenigen Branchen untersucht, die nicht bereits in AP 1 ausgeschlossen werden konnten. Zusätzlich wurde eine Bewertung von Ableitungen für den Kohlebergbau und für Radonheilbäder und -stollen durchgeführt. Die Identifizierung der relevanten Industriezweige erfolgte wiederum auf Basis einer Literaturstudie sowie unter Einbeziehung eigener Erkenntnisse des Auftragnehmers.

2.3 BEWERTUNG DER STRAHLENEXPOSITION FÜR DIE BEVÖLKERUNG DURCH ABLEITUNGEN MIT DER LUFT UND DEM WASSER (AP 3)

In AP 3 wurde die zentrale Zielsetzung des Forschungsvorhabens umgesetzt, die darin bestand zu prüfen, ob relevante Strahlenexpositionen der Bevölkerung durch Ableitungen aus NORM-Industrien auftreten können. Da das Dosiskriterium von 1 mSv/a auch im Falle von Mehrfachexpositionen einzuhalten ist, waren auch Strahlenexpositionen im Bereich von 0,1 mSv/a bis 1 mSv/a zu berücksichtigen.

Eine strahlenschutzrechtliche Bewertung erfolgte für alle in Deutschland vorkommenden Industriezweige nach AP 1 und zudem für die relevanten Industriezweige nach AP 2 auf der Grundlage einer detaillierten und nachvollziehbaren Darstellung über die Verteilung natürlicher Radionuklide in den unterschiedlichen Stoffströmen von den Ausgangsstoffen zu den Endprodukten beziehungsweise Rückständen. Die Expositionsabschätzung erfolgte für Ableitungen mit der Luft und dem Wasser für alle relevanten Teilexpositionspfade.

3. METHODIK

Die Analyse jedes Industriezweigs und der damit verbundenen Einleitungen begann mit einer Überprüfung von Anzahl und Kapazität der derzeit in Deutschland betriebenen Anlagen (was gegebenenfalls einen Ausblick auf zukünftige Entwicklungen des jeweiligen Industriezweigs einschloss) und die technologischen Prozesse, die radiologisch relevante Ableitungen verursachen können.

Die Methodik der Identifizierung von in Deutschland aktiven Industriezweigen unter AP 1 und AP 2 beruht auf Literaturrecherchen, die durch beim Auftragnehmer vorliegende Erfahrungen und Daten (insbesondere aus analysierten Proben und Gutachten bzw. vergleichbaren Aufträgen, ggf. anonymisiert) unterstützt werden. Für die Fälle, für die darüber hinaus noch Klärungsbedarf bestand, wurden Informationsquellen genutzt, die sich bei Datenerhebungen in verschiedenen Projekten in der Vergangenheit bewährt haben (die Industrie- und Handelskammern der 16 Bundesländer und die landes- bzw. bundesweit arbeitenden Industrieverbände). Weitere Informationsquellen sind unter anderem die Studie RP-135 der Europäischen Kommission sowie die auf Bundes- und Landesebene verfügbaren Datenbanken von BImSchG¹⁾-Verfahren sowie Wasserrechtlichen Erlaubnissen. Zusätzlich wurden für einige Industriezweige die Angaben des Schadstofffreisetzung- und -verbringungs-Registers (PRTR) genutzt.

Es wurde in AP 1 und AP 2 eine konservative Methode zur Vorauswahl von Industriezweigen hinsichtlich der radiologischen Relevanz ihrer Ableitungen auf die in Deutschland aktiven Industriezweige angewendet, um ein erstes Kriterium zum Ausschluss von einer detaillierteren Analyse zu erhalten. Für NORM-Industrien, die anhand der Vorauswahl einer detaillierteren Betrachtung hinsichtlich der Ableitungen unterzogen wurden, wurde in AP 3 die Höhe der radioaktiven Ableitungen detailliert anhand von Literaturangaben sowie der Erfahrungen der Bearbeiter analysiert.

Unter AP 3 wurden vor allem die bei den jeweiligen Tätigkeiten eingesetzten Materialmengen und deren Aktivitätskonzentrationen und die anfallenden Rückstände, deren Mengen und Aktivitätskonzentrationen qualitativ bewertet, ebenso die Abwasser- und Abluftmengen. Ziel dieses Arbeitsschrittes war eine Eingrenzung

¹⁾ Bundes-Immissionsschutzgesetz

der Tätigkeiten auf jene, bei denen grundsätzlich die Möglichkeit besteht, dass über Ableitungen radioaktive Stoffe in einem Maße in die Umgebung abgeleitet werden, dass Strahlenexpositionen in einer Höhe entstehen können, die bei den künftig geltenden Bedingungen für die Einhaltung des Dosiskriteriums von einem Millisievert pro Jahr zu beachten sind. Für die Ableitungen erfolgte eine quantitative Abschätzung der Aktivitätsmengen. Grundlagen dafür sind die jeweiligen Aktivitätskonzentrationen und die für die Wege abgeschätzten Mengen, z. B. Abluft- oder Abwassermengen. Ergänzend dazu wurden die Mengen der anfallenden Rückstände im Hinblick auf mögliche Freisetzungen von radioaktiven Stoffen bewertet, da auch die deponierten Rückstände über die Freisetzung radioaktiver Stoffe zu Strahlenexpositionen in der Umgebung der Betriebe beitragen können.

Durch die rechtlichen Regelungen zum Umweltschutz sollen schädliche Auswirkungen auf die Gesundheit und die Umwelt vermieden werden, die durch Emissionen von schädlichen Stoffen in die Luft, in das Wasser oder den Boden verursacht werden können. Emissionen von Radionukliden sind nicht Gegenstand der Regelungen zum Umweltschutz. Jedoch werden in diesen Regelungen Festlegungen getroffen, die auch eine Begrenzung der Ableitungen von Radionukliden zur Folge haben. Das gilt vor allem für die Festlegungen zur Begrenzung der Emissionen von Staub in die Luft oder von Feststoffen mit den Abwässern in die Gewässer. Im Vorhaben wurden deshalb die dafür einschlägigen Regelungen des Bundes-Immissionsschutzgesetzes (BImSchG) und der Abwasserverordnung (AbwV) betrachtet.

Die Ausbreitung von luft- und wassergetragenen Ableitungen in der Umwelt wurde mit Hilfe von Modellen (z. B. dem Programm ARTM für die Ausbreitung von Staub und Radon) beschrieben. Für die Abschätzung der effektiven Dosis für die allgemeine Bevölkerung wurden alle relevanten Expositionspfade berücksichtigt.

Es zu beachten, dass im Vorhaben bewusst eine standortspezifische Betrachtungsweise zugunsten eines „generischen“ Ansatzes vermieden wurde, d. h. die Betrachtungen realistisch möglicher Expositionen umfasste eine hinreichende Bandbreite von Situationen, die in Deutschland typischerweise auftreten können, sowohl was die Höhe der Ableitungen als auch die Ausbreitungsbedingungen in der Umwelt betrifft. Für die Untersuchung und Quantifizierung der Spannbreiten der jeweiligen Ableitungen und Ausbreitungsbedingungen wurden folgende Parameter betrachtet:

- staubgebundene Ableitungen
 - Anlagenkapazität
 - Einsatzmenge an Ausgangs- bzw. Brennstoffen
 - spezifische Aktivität der Ausgangsstoffe
 - Staubrückhaltung der Abluftfilter.
- Ausbreitungsbedingungen für staubgebundene Ableitungen
 - Schornsteinhöhen
 - Abstand zwischen Staubquelle und Expositionsort
 - meteorologische Bedingungen (statistische Verteilung der Windrichtung, Windgeschwindigkeit, Stabilität der atmosphärischen Schichtung bzw. Ausbreitungsklasse, Niederschlag)
 - topographische Verhältnisse (z. B. Flach- und Mittelgebirgslagen, ausgeprägte Tallagen)
 - Größenklassenverteilung des abgeleiteten Staubs und entsprechende Ablagerungsgeschwindigkeit.
- Ausbreitungsbedingungen für Radonableitungen
 - Abstand zwischen Staubquelle und Expositionsort
 - meteorologische Bedingungen (statistische Verteilung der Windrichtung, Windgeschwindigkeit, Stabilität der atmosphärischen Schichtung bzw. Ausbreitungsklasse, Niederschlag)
 - topographische Verhältnisse (z. B. Flach- und Mittelgebirgslagen, ausgeprägte Tallagen).

Für die Ermittlung der Spannbreite der Expositionen bei wasser gebundenen Ableitungen wurden die Annahmen zur Entnahmestelle des Wassers („kleiner“ und „großer“ Vorfluter und die sich daraus ergebenden Nutzungsszenarien und relevanten Expositionspfade) variiert.

4. DURCHFÜHRUNG

Die Durchführung erfolgt gemäß der in Abschnitt 3 beschriebenen Methodik.

5. ERGEBNISSE

Im Ergebnis wurde für folgende Ableitungen festgestellt, dass eine effektive Dosis für die allgemeine Bevölkerung von mehr als 100 $\mu\text{Sv/a}$ grundsätzlich auftreten kann:

- Staubableitungen aus der Zementherstellung, Steinkohlenkraftwerken, der Primärproduktion von Eisen, der Bleischmelze sowie aus der Verarbeitung von Niob-/Tantal-Erzen
- Ableitung von Grubenwasser aus dem stillgelegten Steinkohlebergbau
- Radonableitungen aus der Förderung/Aufbereitung von Erzen außer Uranerz.

Die erhaltenen Ergebnisse sind insofern bemerkenswert, dass von den insgesamt 16 in Anhang VI der EU-Grundnormenrichtlinie genannten und den zehn über Anhang VI hinausgehenden und im Vorhaben betrachteten Industriezweigen nur bei einer sehr kleinen Anzahl Ableitungen vorkommen, die zu effektiven Dosen von mehr als 100 $\mu\text{Sv/a}$ führen können. Dies ist zu einem großen Teil auf die hohen Umweltstandards, die durch Rechtsvorschriften bezüglich des Immissionsschutzes und des Wasserrechtes vorgegeben sind, und deren konsequente Umsetzung durch die Industrie zurückzuführen.

6. UMSETZUNG DER ERGEBNISSE

Die Ergebnisse des Forschungsvorhabens dienen der Umsetzung der EU-Grundnormenrichtlinie in deutsches Recht. Bisher wurden Ableitungen aus NORM-Industrien in Deutschland nicht gesetzlich geregelt, da sie hinsichtlich des Strahlenschutzes als nicht bedeutsam eingeschätzt wurden. Mit diesem Vorhaben wurde eine detaillierte Analyse aller relevanten Industriezweige vorgenommen, ob aus deren Ableitungen ein zu berücksichtigender Beitrag zur Dosis der Bevölkerung entsteht. Dies diente als Entscheidungshilfe zur Vorbereitung der neuen Strahlenschutzverordnung und der zu überarbeitenden Allgemeinen Verwaltungsvorschrift zur Dosisermittlung. Gleichzeitig können die für den Strahlenschutz zuständigen Landesbehörden daraus Hinweise zur Wahrnehmung ihrer Vollzugsaufgaben entnehmen.

Thema Ermittlung der Unsicherheiten der Strahlenexpositionsabschätzung in der Wismut-Kohorte - Teil I			
Subject <i>Determination of uncertainties in radiation exposure assessment in the Wismut Cohort - part I</i>			
Kennzeichen 3616S12223	Beginn 01.11.2016	Ende 30.06.2017	Fördermittel EUR 85.318,-
Forschungs- / Auftragnehmer Ludwig-Maximilians-Universität München, Institut für Statistik, München			
Projektleitung Prof. Dr. H. Küchenhoff	Fachbetreuung BfS Dr. N. Fenske / AG-SG 1.3	verantwortlich für den Text Dr. V. Deffner, Dr. N. Fenske	

1. ZIELSETZUNG

Ziel des Forschungsvorhabens war es, die Expositionsabschätzung in der Wismut-Kohorte allgemein verständlich zu dokumentieren und mögliche Quellen von Unsicherheiten zu identifizieren sowie deren Relevanz vorläufig zu bewerten. Die Ergebnisse des Vorhabens bilden die Grundlage für eine detaillierte Charakterisierung und Quantifizierung der Unsicherheiten in der Expositionsabschätzung und zur Untersuchung der Auswirkung der ermittelten Unsicherheiten auf die Ergebnisse statistischer Risikoanalysen.

2. EINZELZIELSETZUNG

2.1 NACHVOLLZIEHEN DER EXPOSITIONSABSCHÄTZUNG FÜR RADON UND SEINE FOLGEPRODUKTE SOWIE ALLGEMEINVERSTÄNDLICHE DOKUMENTATION

Das erste Ziel war es, die Erstellung der Job-Exposure-Matrix (JEM) für Radon und seine Folgeprodukte nachzuvollziehen und allgemein verständlich zu dokumentieren. Dazu sollte eine tabellarische und/oder schematische Darstellung entsprechend einer ähnlichen Arbeit für die französische Uranbergarbeiter-Kohorte erstellt werden, die je nach Arbeitsplatz (d. h. unter Tage, Tagebau, Aufbereitung) und Zeitraum sowohl die Methode der Expositionsermittlung als auch die Arbeitsbedingungen charakterisiert. Das Vorgehen bei der Ermittlung der Radon-Expositionen sollte dann getrennt nach den Methoden der Expositionsabschätzung und den Arbeitsplatz-Kategorien im Detail beschrieben und durch geeignete Beispielrechnungen erläutert werden.

2.2 IDENTIFIKATION UND VORLÄUFIGE BEWERTUNG MÖGLICHER QUELLEN VON UNSICHERHEITEN

Ein weiteres Ziel des Vorhabens war die Identifikation potenzieller Quellen von Unsicherheiten in der Expositionsabschätzung auf der Basis der vorangegangenen Ergebnisse. Dazu sollten zunächst die potenziellen Fehlerquellen abhängig von der Methode der Expositionsabschätzung, des Zeitraums sowie getrennt nach den Arbeitsplatz-Kategorien mit Bezug auf eine ähnliche Arbeit für die französische Uranbergarbeiter-Kohorte aufgelistet werden. Weiterhin waren die potenziellen Fehlerquellen hinsichtlich ihrer möglichen Relevanz, insbesondere der Häufigkeit und der radiologischen Bedeutung, zu bewerten. Auf dieser Grundlage sollte eine Empfehlung abgegeben werden, welche Fehlerquellen in dem Folgevorhaben besonders zu berücksichtigen sind.

3. METHODIK

Projektrelevante Literatur, die über die zur Verfügung gestellte Grundlagenliteratur hinausgeht, wurde in Recherchen in wissenschaftlichen Bibliotheken und durch Sichtung von Literatur beim BfS gesammelt. Informationen zur Beantwortung der Fragestellung wurden aus den Literaturquellen extrahiert und aufbereitet.

4. DURCHFÜHRUNG

4.1 NACHVOLLZIEHEN DER EXPOSITIONSABSCHÄTZUNG FÜR RADON UND SEINE FOLGEPRODUKTE SOWIE ALLGEMEINVERSTÄNDLICHE DOKUMENTATION

Zunächst wurde ein Überblick über die verschiedenen Arbeitsplätze der Wismut-Kohorte und die Struktur der Bergbau- und Aufbereitungsbetriebe der SAG/SDAG Wismut erarbeitet. Weiter wurden die Arbeitsbedingungen tabellarisch sowie detailliert beschrieben. Die Methoden und Schritte der Expositionsabschätzung für Radon und seine Folgeprodukte wurden getrennt nach Zeiträumen, Region und Arbeitsplatz-Kategorien tabellarisch zusammengefasst, schematisch beschrieben, detailliert formalisiert und mit Beispielrechnungen veranschaulicht.

4.2 IDENTIFIKATION UND VORLÄUFIGE BEWERTUNG MÖGLICHER QUELLEN VON UNSICHERHEITEN

Auf der Grundlage der umfassenden Darstellung der Expositionsabschätzung für Radon und seine Folgeprodukte wurden potenzielle Quellen und Merkmale von Unsicherheiten im Prozess der Expositionsabschätzung identifiziert und in die Messfehler-Theorie eingeordnet. Die Relevanz der verschiedenen Unsicherheiten wurde auf der Grundlage der Häufigkeit des Auftretens sowie der potenziellen Auswirkungen auf die Expositionsabschätzung und die Risikoschätzungen vorläufig bewertet. Schließlich wurden Empfehlungen zur Frage erarbeitet, welche Unsicherheiten für die zukünftigen Betrachtungen, insbesondere bei der Berücksichtigung in Risikomodellen für Lungenkrebs durch Radon, besonders relevant sind.

5. ERGEBNISSE

5.1 NACHVOLLZIEHEN DER EXPOSITIONSABSCHÄTZUNG FÜR RADON UND SEINE FOLGEPRODUKTE SOWIE ALLGEMEINVERSTÄNDLICHE DOKUMENTATION

5.1.1 Beschreibung der verschiedenen Arbeitsplätze in der Wismut-Kohorte

Die SAG/SDAG Wismut war in sogenannten „Objekten“ organisiert. Vier Arten von Objekten werden nach ihren Aufgaben unterschieden: Gruben-Betriebe (26 Objekte in Sachsen, 11 in Thüringen), Tagebau-Betriebe (9 Objekte in Thüringen), Aufbereitungs-Betriebe (17 Objekte in Sachsen, 2 in Thüringen), Objekte an der Oberfläche (21 Objekte). Der Großteil der Personen in der Kohorte arbeitete in Gruben-Betrieben und nur sehr wenige im Tagebau. Für die Objekte der SAG/SDAG-Wismut, in denen Personen aus der Wismut-Kohorte beschäftigt waren, wurde eine tabellarische Übersicht erstellt.

5.1.2 Arbeitsbedingungen

Tabelle 1 gibt einen Überblick über die Arbeitsbedingungen in der SAG/SDAG Wismut.

Die Entwicklung der Arbeitsbedingungen in den Objekten der SAG/SDAG Wismut war eng mit dem technologischen Fortschritt verbunden und unterscheidet sich je nach Betriebsart und Region. Der Uranerzbergbau in der SAG Wismut begann mit unzureichender technischer Ausstattung bzw. einem hohen Anteil manueller Arbeit und unzureichender, d. h. meist natürlicher, Bewetterung. Insbesondere die Grubenbewetterung beeinflusst die Radonfolgeprodukt-Konzentration. Mit zunehmendem Mechanisierungsgrad konnten in Abhängigkeit der örtlichen Begebenheiten einige Arbeitsschritte automatisiert werden und wettertechnische Maßnahmen zur Verbesserung der Grubenbewetterung eingesetzt werden.

Tabelle 1: Arbeitsbedingungen in der SAG/SDAG Wismut für die verschiedenen Arbeitsplätze und Perioden

Untertage-Betriebe			
<i>Sachsen</i>			
Zeitraum	1946-1955	1956-ca. 1970	ca. 1971-1990
Abbau-Methode *	Firstenstoßbau	Firstenstoßbau	Firstenstoßbau
Bohr-Methode †	Trocken	Nass	Nass
Mechanisierungsgrad	Vorwiegend manuell	Teilweise mechanisch	Teilweise mechanisch
Belüftung	Natürlich	Mittel	Gut
<i>Thüringen</i>			
Zeitraum	1952-1955/56	1956/1957-1964/1965	1965/1966-1990
Abbau-Methode *	Scheibenbruchbau	Kammerbau	Teilsohlenbau mit Versatz
Bohr-Methode †	Trocken	Nass	Nass
Mechanisierungsgrad	Vorwiegend manuell	Teilweise mechanisch	Mechanisch
Belüftung	Natürlich	Mittel	Gut
Tagebau-Betriebe			
Zeitraum	1946-ca. 1955	ca. 1956-1964/1965	1965/1966-1990
Abbau-Methode *	Bohren, Sprengen	Bohren, Sprengen	Bohren, Sprengen
Bohr-Methode †	Trocken	Trocken	Trocken
Mechanisierungsgrad	Vorwiegend manuell	Teilweise mechanisch	Vorwiegend mechanisch
Belüftung	Natürlich	Natürlich	Natürlich
Aufbereitungs-Betriebe			
Zeitraum	1946-ca. 1955	ca. 1956-ca. 1973	1974-1990
Erz-Entladung	Manuell	Mechanisch	Mechanisch
Vorzerkleinerung	Nicht autogen	Nicht autogen	Teilweise autogen
Trocknung	Nicht automatisch	Teilweise mechanisch	Teilweise mechanisch
Belüftung	Natürlich	Mittel	Gut
Reinigung	Vorwiegend trocken	Vorwiegend nass	Vorwiegend nass

* Vorherrschende Abbau-Methode

† Bohren zur Freilegung des Erzkörpers

5.1.3 Expositionsabschätzung

Das Verfahren zur Bestimmung der Radon-Exposition für die Arbeiter in Gruben-Betrieben der SAG/SDAG Wismut ist in Abbildung 1 schematisch dargestellt.

Drei Methoden zur Berechnung der individuellen Strahlenexposition eines Hauers in Grubenbetrieben wurden, je nach Verfügbarkeit von Messwerten, verwendet:

- Retrospektive Expositionsschätzung basierend auf Expertenmodellen (ca. 1946-1954/55)
- Expositionsabschätzung basierend auf Radongas-Messungen (Sachsen: ca. 1955/56-1965; Thüringen: ca. 1955/56-1974)
- Expositionsabschätzung basierend auf Radonfolgeprodukt-Messungen (Sachsen: ca. 1966-1990; Thüringen: ca. 1975-1990)

Die Exposition durch Radonfolgeprodukte $E(t, o, j_0(o))$ eines Hauers unter Tage (Referenztätigkeit $j_0(o)$ für Gruben-Betriebe) im Kalenderjahr t , Objekt o und Tätigkeit j wurde wie folgt auf der Basis von jährlichen Radongas- und Radonfolgeprodukt-Expositionen ($E^*(t, o, j_0(o))$ bzw. $E^{2000}(t, o, j_0(o))$), dem Gleichgewichtsfaktor $g(t, o)$ und dem Arbeitszeitfaktor $w(t, o)$ berechnet:

$$E(t, o, j_0(o)) = \begin{cases} E^*(t, o, j_0(o)) \cdot 12 \cdot g(t, o) \cdot w(t, o), & \text{basierend auf Radongas-Messungen} \\ & \text{bzw. -Schätzungen} \\ E^{2000}(t, o, j_0(o)) \cdot 12 \cdot w(t, o), & \text{basierend auf Radonfolgeprodukt-Messungen} \end{cases}$$

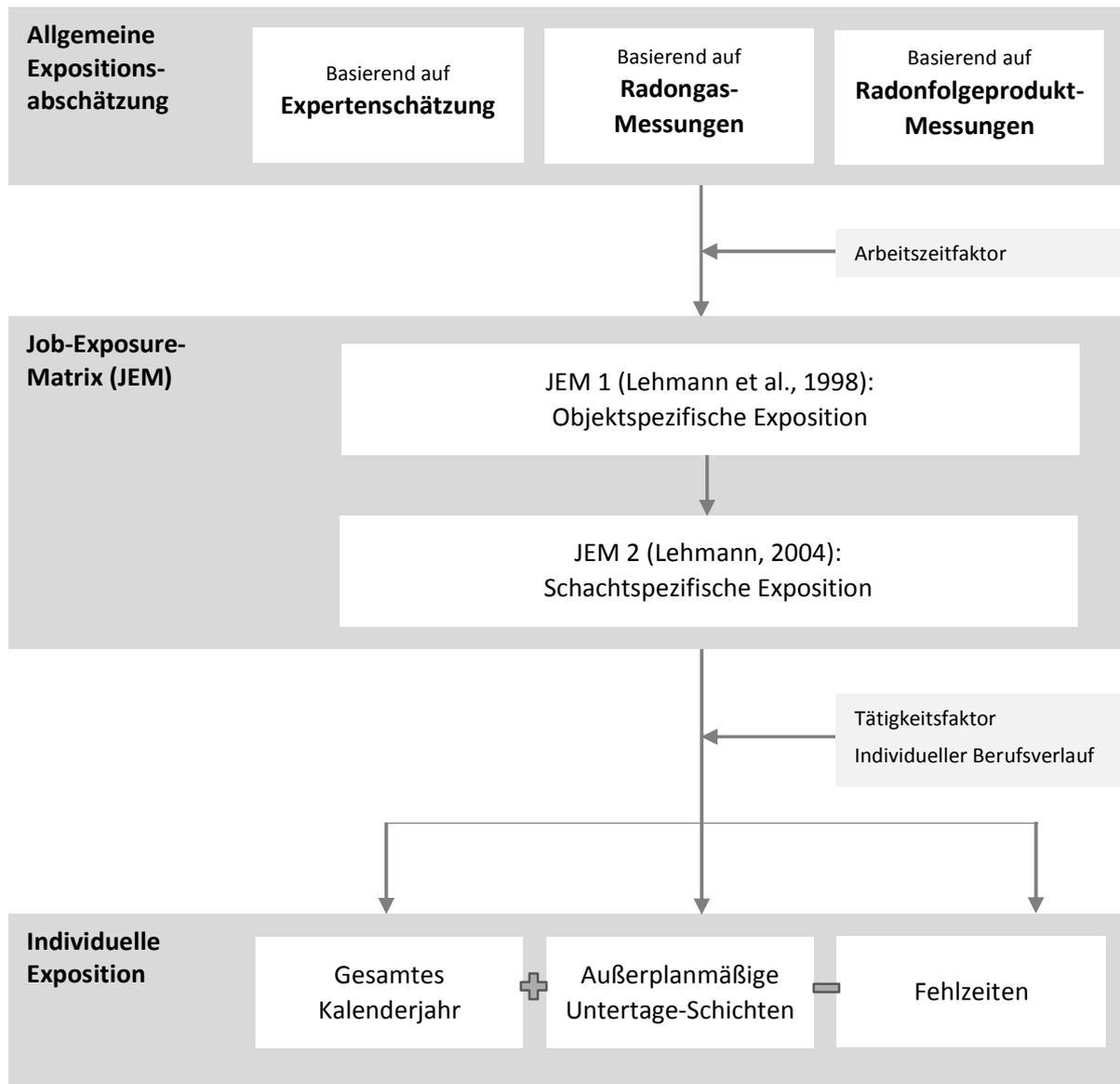


Abbildung 1: Schematischer Überblick des Verfahrens der Expositionsabschätzung für den Abbau unter Tage in der Wismut-Kohorte

Das Vorgehen bei der Expertenschätzung und die Berechnung der einzelnen Parameter wurden für die einzelnen Zeiträume detailliert dargestellt. Für Tagebau-Betriebe wurden die jährlichen Expositionen von Experten mit einer ähnlichen Methode wie zur Expertenschätzung der jährlichen Exposition in Untertage-Betrieben bestimmt. Für Aufbereitungs-Betriebe basiert die Berechnung der jährlichen Exposition auf Expertenschätzungen bzw. auf Radongas-Messungen in den Prozessstufen. Diese Expositionsschätzungen bilden die erste Version der JEM (JEM 1) und wurden retrospektiv für wissenschaftliche Zwecke angepasst, was zur zweiten Version der JEM (JEM 2) führte.

Tätigkeitsspezifische Expositionsschätzungen $E(t, o, j)$ für andere Arbeiter in Gruben-Betrieben als Hauer wurden mittels der jährlichen Expositionsschätzungen für die Referenz Tätigkeit $E(t, o, j_0(o))$ und dem Tätigkeitsfaktor $f(t, o, j)$ berechnet:

$$E(t, o, j) = E(t, o, j_0(o)) \cdot f(t, o, j)$$

Auf der Grundlage individueller Daten zur beruflichen Laufbahn wurde die tätigkeitsspezifische Exposition für ein komplettes Kalenderjahr $E^A(i, t)$, die Exposition während außerplanmäßiger Untertage-Schichten

$E^{UT}(i, t)$ und während Fehlzeiten $E^F(i, t)$ berechnet, die dann die Abschätzung der individuellen Exposition eines Arbeiters $E(i, t)$ ermöglichen:

$$E(i, t) = E^A(i, t) + E^{UT}(i, t) - E^F(i, t)$$

Das Vorgehen zur Bestimmung der Strahlenexposition und die Umsetzung in der zugehörigen Software wurde anhand von Beispielrechnungen erläutert.

5.2 IDENTIFIKATION UND VORLÄUFIGE BEWERTUNG MÖGLICHER QUELLEN VON UNSICHERHEITEN

5.2.1 Mögliche Quellen und Merkmale von Unsicherheiten bei der Expositionsbestimmung

Im Hinblick auf mögliche Fehlerquellen können zwei wesentliche Schritte beim Vorgehen der Expositionsabschätzung unterschieden werden:

- Generalisierung: räumliche und zeitliche Verallgemeinerung von Messwerten, Bestimmung der schacht-spezifischen Exposition anhand von gemittelten Radon-Konzentrationsmessungen
- Zuordnung: Verwendung der schachtspezifischen Exposition zur Berechnung der individuellen Exposition.

Schätzfehler treten in beiden Stufen der Expositionsabschätzung auf. Die Unsicherheit, die auf Grund der räumlichen und zeitlichen Verallgemeinerung von Messwerten auftreten kann, wird als Generalisierungsfehler bezeichnet und als klassischer Messfehler eingestuft. Die Unsicherheit, die durch die Verwendung der schachtspezifischen Exposition zur Berechnung der individuellen Exposition entsteht, wird als Zuordnungsfehler bezeichnet und als Berkson-Fehler eingestuft. Weiterhin wurden die Schätzfehler in prozeduralen Messfehler, Approximationsfehler, Parameterunsicherheiten, Fehler in der Experteneinschätzung, Übertragungsfehler und Dokumentationsfehler untergliedert. Somit kann der Messfehler bei der Expositionsbestimmung als Mischung aus mehreren Fehler-Arten aufgefasst werden.

5.2.2 Bewertung der potenziellen Relevanz von Unsicherheiten für die statistische Analyse

Die Expositionsabschätzungen für 29,0 % der Personen-Arbeits-Jahre (PAJ) in der Wismut-Kohorte basierten auf Messungen der Radonfolgeprodukt-Konzentration. Für 29,0 % der PAJ basierten die Schätzungen auf Messungen der Radongas-Konzentration. Die verbleibenden Expositionsabschätzungen in Höhe von 42,0 % der PAJ basierten auf Expertenschätzungen. Diese Expertenschätzungen bestehen aus drei Gruppen: Expertenschätzungen für Oberflächen-Objekte (15,8 % der PAJ), Expertenschätzungen basierend auf Schätzgleichungen (11,0 % der PAJ) und Expertenbewertungen, für die Experten die Exposition festlegen (15,2 % der PAJ).

Die radiologische Bedeutung der Unsicherheiten wurde anhand von schacht- und arbeitsplatzspezifischen mittleren Strahlungs-Messwerten in unterschiedlichen Grubentiefen des Objekts 009 Aue verdeutlicht. Insbesondere Zuordnungsfehler sowie Parameterunsicherheiten und Übertragungsfehler beeinflussen die radiologische Bedeutung der geschätzten Expositionen.

Weiterhin wurden die Grundlagen statistischer Messfehler-Modelle im Überblick dargestellt. Klassischer Messfehler bei der Einflussgröße führt im einfachen linearen Modell, bei der Poisson-Regression und im Cox-Modell zu einer Verzerrung des Risikoschätzers. Dies gilt auch für Mischungen aus klassischem und Berkson-Fehler. Bei Vorliegen eines Berkson-Fehlers in der Einflussgröße eines einfachen linearen Modells ist der Risikoschätzer erwartungstreu, während Ergebnisse aus der Literatur zeigen, dass dies bei der Poisson-Regression und im Cox-Modell nicht der Fall ist. Bei der Schätzung der gesundheitlichen Risiken durch Strahlung anhand der Wismut-Kohorte werden üblicherweise Poisson-Regressionsmodelle verwendet, eine Alternative wären Cox-Modelle. Daher deuten diese Erkenntnisse darauf hin, dass die Messfehler bei der Expositionsabschätzung für die Wismut-Kohorte die Risikoschätzer beeinflussen.

5.2.3 Empfehlungen

Die abschließende Bewertung der Relevanz von Unsicherheiten ist in Tabelle 2 zusammengefasst.

Tabelle 2: Bewertung der möglichen Quellen von Unsicherheiten in der Expositionsabschätzung für die Wismut-Kohorte

Art des Fehlers	Details	Relevanz	Begründung
Generalisierungsfehler	Verwendung von Durchschnittswerten einzelner Messungen zur Berechnung der schachtspezifischen Exposition	hoch	Klassischer Messfehler, mittelgroßer Fehler, betrifft alle Expositionsabschätzungen
Parameterunsicherheiten	Unsicherheiten bei der Bestimmung von Parametern, z.B. Gleichgewichtsfaktor, Aktivitätsfaktor	hoch	Erhebliche Auswirkung auf Expositionsabschätzungen, betrifft alle Expositionsabschätzungen
Zuordnungsfehler	Zuordnung von gruppenspezifischen Werten zu einer Person	mittel	Berkson-Fehler, großer Fehler, betrifft alle Expositionsabschätzungen
Übertragungsfehler	Übertragung von Daten auf ein anderes Kalenderjahr oder Objekt	mittel	Klassischer Messfehler, hoher Unsicherheitsgrad, betrifft einige Expositionsabschätzungen
Dokumentationsfehler	Fehler bei der Dokumentation von Messungen und Berufsverläufen	mittel-gering	Betrifft eine unbekannte Anzahl von Expositionsabschätzungen, Art des Fehlers uneindeutig
Fehler in der Expertenbewertung	Bestimmung der Expositionswerte durch Experten	gering	Berkson-Fehler, möglicherweise hoher Unsicherheitsgrad, betrifft wenige Expositionsabschätzungen
Prozeduraler Messfehler	Menschliche Fehler und Geräte-Messfehler	gering	Aggregation mehrerer Messungen
Approximationsfehler	Approximation durch Schätzgleichungen und Rundung von Werten	gering	Expertenentscheidung, geringe Auswirkung auf die Expositionsabschätzungen

Generalisierungsfehler und Parameterunsicherheiten wurden als besonders relevant bewertet; Zuordnungs-, Übertragungs- und Dokumentationsfehler wurden als weniger relevante Fehlertypen erachtet, die jedoch nicht ignoriert werden sollten. Die Quantifizierung der Messfehler und eine Simulationsstudie können weitere wichtige und nützliche Informationen über die komplexe Struktur und Zusammensetzung der Messfehler in den Expositionsabschätzungen für die Wismut-Kohorte liefern.

6. UMSETZUNG DER ERGEBNISSE

Die Ergebnisse des Vorhabens bilden eine wesentliche Grundlage für die Quantifizierung von Unsicherheiten in der Expositionsabschätzung in der Wismut-Kohortenstudie und deren Berücksichtigung in statistischen Risikoanalysen, insbesondere für das Lungenkrebsrisiko durch Radon. Aufbauend auf den Ergebnissen des Vorhabens können nun in weiteren Arbeiten statistische Modelle entwickelt werden, um die Risikoschätzer für Lungenkrebs durch Radon für Unsicherheiten in der Radonexpositionsabschätzung zu korrigieren. Diese Berücksichtigung von Unsicherheiten ist unerlässlich, um die Genauigkeit und Verlässlichkeit der bisher ermittelten Risikoschätzer für das Lungenkrebsrisiko durch Radon in der Wismut-Kohortenstudie angeben zu können. Die Wismut-Studie ist die weltweit größte Uranbergarbeiter-Kohortenstudie und trägt nach wie vor zu neuen Erkenntnissen zu strahlenbedingten Gesundheitsrisiken bei, auch im Niedrigdosisbereich.

Thema Ermittlung und Quantifizierung der durch die Umsetzung der Euratom-Direktive von Pflichten betroffenen Arbeitsplätze			
Subject <i>Identification and quantification of work places affected by the implementation of the Euratom Directive</i>			
Kennzeichen 3616S12340	Beginn 01.06.2016	Ende 28.02.2017	Fördermittel EUR 64.619,-
Forschungs- / Auftragnehmer Sachverständigenbüro Dr. J. Kemski			
Projektleitung Dr. J. Kemski	Fachbetreuung BfS Dr. B. Hoffmann / SW 1.1	verantwortlich für den Text Dr. J. Kemski	

1. ZIELSETZUNG

Die Umsetzung der „Richtlinie 2013/59/Euratom des Rates vom 5. Dezember 2013 zur Festlegung grundlegender Sicherheitsnormen für den Schutz vor den Gefahren einer Exposition gegenüber ionisierender Strahlung“ in nationales Recht bedingt u. a., dass unter bestimmten Umständen eine Erhebung der Radonbelastung an Arbeitsplätzen verpflichtend sein wird. Hierbei ist entscheidend, ob sich die Arbeitsplätze in Gebäuden in sogenannten „Radongebieten“ befinden oder ob es sich, unabhängig von der geographischen Lage, um Arbeitsplätze handelt, an denen auf Grund anderer Randbedingungen von einer erhöhten Radonbelastung auszugehen ist. Bewertungskriterium wird ein national festzulegender Referenzwert sein.

Für Planungszwecke (z. B. Abschätzung eines ggf. notwendigen Messaufwandes) wäre nicht nur die Kenntnis der reinen Anzahl derartiger Arbeitsplätze hilfreich, sondern auch deren räumliche Verteilung. Da zurzeit in Deutschland nur für bestimmte Arbeitsfelder die Radonexposition der Beschäftigten ermittelt werden muss (s. Strahlenschutzverordnung, § 95 bzw. Anlage XI), liegen derartige Informationen nicht flächendeckend vor.

Das Forschungsvorhaben wurde gemeinsam mit der Österreichischen Fachstelle für Radon der Österreichischen Agentur für Gesundheit und Ernährungssicherheit GmbH (AGES) in Linz/Österreich als Unterauftragnehmer durchgeführt.

2. EINZELZIELSETZUNG

2.1 AKTUELLER WISSENS- UND KENNTNISSTAND

Mittels einer Literaturrecherche sollte der aktuelle Wissenstand erhoben werden. Die Recherche sollte ggf. durch eine zielgerichtete Nachfrage bei europäischen Radonexperten um möglicherweise fehlende Aspekte ergänzt werden. Anschließend sollte eine fachliche Prüfung und Bewertung der Ergebnisse erfolgen, die u. a. die Unterschiede von Messreihen bezüglich Messdauer, Messverfahren, Unterteilung Arbeitszeit/Nicht-Arbeitszeit oder gemessene Räumlichkeiten berücksichtigt.

2.2 ZAHL UND VERTEILUNG VON ARBEITSPLÄTZEN IN DEUTSCHLAND

Auf Grund der unterschiedlichen Art von Arbeitsverhältnissen (z. B. Arbeiter/Angestellte, Beamte) und der Tatsache, dass ganze Personengruppen durch diese Unterteilung nicht erfasst werden (z. B. Freiberufler, Gewerbetreibende), mussten unterschiedliche Quellen (z. B. statistische Ämter, Berufsverbände) für die Beschaffung solcher Daten herangezogen werden. Die Quellen mussten zunächst identifiziert und separat abgefragt werden. Anschließend waren Qualität und Vergleichbarkeit der Daten zu prüfen. Für die kartographische Weiterverarbeitung in einem Geoinformationssystem war ein einheitlicher Raumbezug zu definieren.

2.3 "BESONDERE" ARBEITSPLÄTZE MIT ERHÖHTEN RADONKONZENTRATIONEN

Unabhängig von einer räumlichen Komponente zur Festlegung von „Radongebieten“ (und damit betroffener Arbeitsplätze) können potenziell erhöhte Radonbelastungen auch an anderen Arbeitsplätzen im gesamten Land auftreten, beispielsweise bei spezifischen Randbedingungen wie geringer Luftwechselrate, spezieller

Bausituation oder speziellen Produktionsschritten. Wenn möglich, sollten solche Bedingungen benannt und die möglichen Ursachen für erhöhte Radonkonzentrationen begründet werden.

3. METHODIK

Die Informationen zum aktuellen Kenntnisstand wurden mittels Literaturrecherche und gezielter Nachfragen bei entsprechenden Stellen erhoben. Hierbei wurden gleichzeitig auch Informationen zu den „besonderen“ Arbeitsplätzen gesammelt.

Für die Erhebung der Arbeitsplätze in Deutschland wurden primär öffentlich zugängliche Informationsportale in Frage kommender Behörden (z. B.: Statistische Ämter, Bundesagentur für Arbeit) bzw. Berufsverbände und ähnlicher Institutionen genutzt; ergänzt wurde dies ggf. durch gezielte An- und Nachfragen.

4. DURCHFÜHRUNG

Eine umfangreiche Literaturrecherche, ergänzt um eine gezielte Nachfrage bei europäischen Radonexperten, wurde durchgeführt. Es zeigte sich, dass vor einer Auswertung eine gezielte Nachbearbeitung und Vereinheitlichung des Datenmaterials notwendig ist, um die Vergleichbarkeit zu gewährleisten und eine konsistente Darstellung zu ermöglichen.

Daten zu Arbeitsplätzen in Deutschland wurden aus unterschiedlichen frei zugänglichen Quellen zusammengetragen; z. T. wurden auch kostenpflichtige Daten einbezogen.

Hierbei zeigte sich, dass eine generelle Vergleichbarkeit aller Daten aus verschiedenen Gründen nicht möglich ist. In manchen Bereichen liegen deutschlandweite Daten in digitaler Form nicht vor, in anderen Fällen existieren beispielsweise ein unterschiedlicher Gebietsbezug oder Stichtag der Erhebung. Des Weiteren bestehen große Unterschiede in der räumlichen Auflösung der Daten, die im besten Fall einen Gemeindebezug besitzen, im schlechtesten Fall für Deutschland aggregiert sind, ohne die Möglichkeit einer weiteren Differenzierung. Dementsprechend war eine gezielte und umfangreiche Nachbearbeitung und Vereinheitlichung der Daten notwendig.

5. ERGEBNISSE

5.1 AKTUELLER WISSENS- UND KENNTNISSTAND

Die Bewertung von Untersuchungen aus den vergangenen ca. 20 Jahren zum Thema „Radon am Arbeitsplatz“ aus zahlreichen Ländern zeigte, dass die Ergebnisse auf Grund unterschiedlicher Herangehensweisen (Messmethode bzw. -geräte) nur schwer miteinander vergleichbar sind. Zudem entspricht die Herangehensweise in vielen Fällen nicht mehr dem heutigen Stand der Technik. Die Entwicklung eines einheitlichen und praktikablen Messprotokolls wäre daher wünschenswert, ggf. auch mit Berücksichtigung anderer Innenraum-schadstoffe.

Schwerpunktmäßig wurden die Messungen (neben den spezifischen Arbeitsplätzen wie Bergwerken oder Wasserwerken) vor allem in Schulen und Kindergärten durchgeführt.

5.2 ZAHL UND VERTEILUNG VON ARBEITSPLÄTZEN IN DEUTSCHLAND

Vollständige deutschlandweite statistische Daten zur Verteilung bzw. räumlichen Zuordnung von Arbeitsplätzen oder Arbeitsstätten liegen nicht vor - auch nicht beim Statistischen Bundesamt. Daher wurde bei der Datenerhebung ein indirekter Ansatz gewählt: Die Zahl und räumliche Verteilung der Arbeitsplätze wurde über die Zahl der Personen abgeschätzt, die sich hier zum Zwecke der beruflichen Tätigkeit und/oder Ausbildung aufhält. Auch die hierfür verfügbaren Daten unterscheiden sich deutlich, z. B. in Art und Umfang betroffener Personenkreise, Stichtage oder räumlicher Zuordnung.

Ausgangsbasis für die Datenzusammenstellung stellten die Zahlen der Bundesagentur für Arbeit (BA) zu den sozialversicherungspflichtig Beschäftigten in Deutschland dar. Diese machen den weitaus größten Anteil der Beschäftigten aus; zudem liegen die Daten auf Gemeindeebene vor. In gleicher Qualität liegen von der BA die Zahlen zu den geringfügig entlohnten Beschäftigten vor. Die Statistischen Landesämter lieferten die Zahlen zu Beamten und Richtern, unterschieden danach, ob sie beim Bund, Land oder den Kommunen beschäftigt sind. Beamte des Landes und der Kommunen können gemeindebezogen, Beamte des Bundes nur kreisbezogen aufgelistet werden.

Für die große Personengruppe der Selbständigen i.w.S. existiert in Deutschland keine einheitliche und/oder zentrale Erfassung. Die verschiedenen und sehr unterschiedlichen Berufsgruppen sind z. T. in Verbänden, Kammern o. ä. organisiert, wobei Mitgliedschaften oftmals nicht obligatorisch sind. Für Handwerker liegen kreisbezogene Zahlen des Statistischen Bundesamts vor. Das Bundesarztregister lieferte gemeindebezogene Daten zu den niedergelassenen Ärzten und Psychotherapeuten.

Mit den oben beschriebenen Daten wurden in der Summe ca. 90 % der Beschäftigten in Deutschland erfasst, der überwiegende Teil davon gemeindebezogen. Unsicherheiten bezüglich der Vergleichbarkeit der verwendeten Datensätze wurden diskutiert. Als eindeutiger Raumbezug für eine Weiterverarbeitung der Daten in einem Geografischen Informationssystem (GIS) wurde die Gemeinde- bzw. Kreiskennziffer verwendet.

5.3 "BESONDERE" ARBEITSPLÄTZE MIT ERHÖHTEN RADONKONZENTRATIONEN

Messpflichten an Arbeitsplätzen werden demnächst in auszuweisenden „Radongebieten“ obligatorisch. Unabhängig von dieser räumlichen Komponente können möglicherweise auch andere Faktoren potenziell erhöhte Radonbelastungen an Arbeitsplätzen verursachen. Solche Arbeitsfelder wären überall in Deutschland zu betrachten.

Hierfür in Frage kommende spezifische Arbeitsplatzcharakteristika sind beispielsweise eine mehr oder weniger große unmittelbare Erdberührung des Raumes bzw. seine Lage unter der Erdoberfläche, eine geringe Luftwechselrate und/oder das Vorhandensein von Wasserflächen, über die Radon in die Raumluft abgegeben werden kann. Entsprechende Arbeitsfelder werden benannt. Zunächst wäre jedoch zu klären, ob und in welchem Umfang in derartigen Arbeitsstätten überhaupt Arbeitsplätze in geschlossenen Räumlichkeiten existieren und wie die Arbeitsbedingungen im Einzelfall (z. B. Aufenthaltszeit, Lüftungsintensität) sind. Seriöse Abschätzungen oder gar konkrete Angaben zur Anzahl eventuell vorhandener Arbeitsplätze oder zur Zahl der Beschäftigten können daher ohne weitere gezielte und aufwändige Nachforschungen zum jetzigen Zeitpunkt nicht gegeben werden. Es ist aber davon auszugehen, dass in den meisten Arbeitsfeldern die Zahl der Arbeitsplätze deutschlandweit gering ist. In Einzelfällen mag eine gezielte Betrachtung sinnvoll sein.

6. UMSETZUNG DER ERGEBNISSE

Die wesentlichen Teile des neuen Strahlenschutzgesetzes werden Ende des Jahres 2018 in Kraft treten. Die Bundesländer haben danach zwei Jahre Zeit, Radonvorsorgegebiete, in denen dann Messpflichten an Arbeitsplätzen gelten werden, festzulegen. Die in diesem Vorhaben gesammelten und aufbereiteten Daten sind ein wichtiges Hilfsmittel zur Folgenabschätzung der Gebietsausweisung.

Nach derzeitigem Stand der geostatistischen Prognosen, die das BfS im Rahmen der Diskussionen um die Festlegung der Radonvorsorgegebiete durchgeführt hat, lässt sich schätzen, dass ca. 8-10 % der Fläche Deutschlands ausgewiesen werden. Auch der Anteil der Gemeinden wird sich in dieser Größenordnung bewegen. Jedoch ist die Arbeitsplatzdichte sehr stark geclustert, d. h. um Ballungszentren wie z. B. München verdichtet. Mit Hilfe der regionalen Auflösung, die die Daten des Vorhabens bieten, lassen sich bessere Schätzungen über die Anzahl der notwendigen Messungen und des damit verbundenen Aufwandes durchführen.

Thema			
Ermittlung und Bewertung der Strahlenexposition an Arbeitsplätzen mit natürlich vorkommenden radioaktiven Stoffen (NORM)			
Subject			
<i>Investigation and assessment of radiation exposures at workplaces with naturally occurring radioactive materials (NORM)</i>			
Kennzeichen	Beginn	Ende	Fördermittel
3616S12343	01.10.2016	30.09.2017	EUR 74.852,-
Forschungs- / Auftragnehmer			
Nuclear Control & Consult GmbH, Braunschweig			
Projektleitung	Fachbetreuung BfS	verantwortlich für den Text	
Dr. R. Gellermann, C. Ahrens	Dr. T. Beck / SW 1.3	Dr. R. Gellermann	

1. ZIELSETZUNG

Die Umsetzung der Richtlinie 2013/59/Euratom des Rates vom 5. Dezember 2013 erfordert es, berufliche Strahlenexpositionen aus industriellen Tätigkeiten mit natürlich vorkommenden radioaktiven Materialien (NORM) in einem Maße zu berücksichtigen, wie es durch die geltende Strahlenschutzverordnung (StrlSchV) in der Bundesrepublik Deutschland zum Teil noch nicht umgesetzt war. Durch die Festlegung von Tätigkeitsfeldern nach § 55 mit Anlage 3 im neuen Strahlenschutzgesetz (StrlSchG) vom 27. Juni 2017 wurden die zu berücksichtigenden Arbeitsplätze neu und teilweise erstmals erfasst. Zielsetzung der durchgeführten Untersuchungen war es, für ausgewählte Tätigkeitsfelder die zu erwartenden Strahlenexpositionen an Arbeitsplätzen zu untersuchen und die Anzahl der Beschäftigten in Deutschland zu ermitteln, bei denen strahlenschutzrelevante Expositionen auftreten können.

2. EINZELZIELSETZUNG

Das Vorhaben umfasste folgende Einzelziele:

- Durchführung von systematischen Recherchen zur Ermittlung der potenziell von NORM-Exposition betroffenen Arbeitsplätze
- Ermittlung von Arbeitsplätzen, für die noch keine ausreichenden Kenntnisse zu Strahlenexpositionen vorliegen
- Probenentnahmen und Vor-Ort-Messungen in den als relevant identifizierten Bereichen.

3. METHODIK

3.1 MESSUNGEN

Die messtechnische Ermittlung der Basisdaten für die Expositionsmodellierung wurde in Zusammenarbeit mit der Hochschule Mannheim realisiert. Die Probenentnahme erfolgte durch NCC im Rahmen von Vor-Ort-Untersuchungen in Betrieben, die den jeweiligen Tätigkeitsfeldern zuzurechnen sind. Die in Tabelle 1 aufgeführte messtechnische Ausstattung wurde für die Vor-Ort-Untersuchungen verwendet.

Die Staubmessungen wurden mit einem stationären Staubsammler über kurze Zeiträume durchgeführt. Dabei lag der Fokus auf der quantitativen Staubgewinnung, um eine messbare Aktivität auf den Filter zu beladen.

Für die Nuklididentifikation im Labor der Hochschule Mannheim wurden die folgenden Gammaskpektrometer verwendet:

- Germanium-Detektor ORTEC GEM30 P4 mit ORTEC DSPEC jr. 2.0. Die Messdatenerfassung und Auswertung erfolgte mit ORTEC GammaVision 7.01.
- Niederenergie-Germanium Detektor Canberra GL0210R mit NIM-Elektronik (Tennelec TC909 Power Supply, TC 950 Bias Supply und TC243 Amplifier). Die Messdatenerfassung und Auswertung erfolgte mit

Canberra Genie 2000 V 3.2.

Tabelle 1: Messtechnische Ausstattung für die durchgeführten Untersuchungen an Arbeitsplätzen

Messparameter	Messgerät, Seriennummer/Hersteller, technische Spezifikationen
H*(10), Umgebungs-Äquivalentdosisleistung	6150 AD6/E (S/N 82989), Sonde 6150 AD-b/E (S/N 133613), Automess
Hp(10) Personendosis	PM1610A (S/N 214094), Polimaster
β-, γ- und α-Impulse	CoMo 170 (S/N 3598), S.E.A. und WIMP
Nuklididentifikation, Gamma-spektrometer	RIIDEye X-G (S/N 10392), 2" NaI-Detektor, Thermo Scientific
Luftstaubsammler	RADeCO, Air Volume Totalizer, Model H-810-2, (S/N 0303), SAIC
Radon	Alphaguard PQ2000 (S/N EF0207)

3.2 EXPOSITIONSERMITTLUNGEN

Für die Expositionsmodellierung wurden die Expositionspfade berücksichtigt:

- Direktstrahlung
- Inhalation von Staub

und soweit auf Grund der konkreten Bedingungen möglicherweise relevant

- Ingestion von Staub.

Alle Expositionsmodellierungen orientierten sich an den in Deutschland verwendeten methodischen Grundlagen (BglBb, Richtlinie Arbeiten), die ggf. durch internationale Empfehlungen (IAEA, Europäische Kommission) ergänzt wurden. Festlegungen von szenarienbezogenen Modellparametern wurden auf der Basis der spezifischen Fallbedingungen getroffen, da das hierzu nötige Regelwerk für die untersuchten Tätigkeitsfelder noch nicht ausgearbeitet ist.

4. DURCHFÜHRUNG

4.1 RECHERCHEN UND LITERATURAUSWERTUNG

Im Rahmen der vorbereitenden Recherchen wurden sowohl die zuständigen Länderbehörden als auch einschlägige Berufs- und Industrieverbände hinsichtlich ihrer Kenntnisse zu NORM-Expositionen an Arbeitsplätzen in den jeweiligen Tätigkeitsfeldern schriftlich befragt. Die Antworten wurden ausgewertet und in den Untersuchungsergebnissen berücksichtigt, sofern Antworten gegeben wurden.

4.2 ERMITTLUNG DER POTENZIELL VON NORM-EXPOSITION BETROFFENEN ARBEITSPLÄTZE

Die potenziell von NORM Exposition betroffenen Arbeitsplätze wurden identifiziert. Um Unternehmen zu finden, die Messungen ermöglichen, wurde gezielt bei Berufs- und Industrieverbänden um Unterstützung nachgefragt.

Bei den zu untersuchenden Tätigkeitsfeldern wurden Arbeitsplätze als den jeweiligen Tätigkeitsfeldern zugehörig oder nicht zugehörig abgegrenzt. Die als nicht zugehörig abgegrenzten Arbeitsplätze wurden zum Teil als ergänzende Erkenntnisse zu dem jeweiligen Tätigkeitsfeld aufgeführt. Eine separate Untersuchung jener Arbeitsplätze erfolgte jedoch nicht.

4.3 DURCHFÜHRUNG VON UNTERSUCHUNGEN AN ARBEITSPLÄTZEN

Bei den durchgeführten Untersuchungen wurden Basisdaten für die durchzuführende Expositionsmodellierung erhoben. Zu folgenden Teilfragen wurden Erhebungen durchgeführt:

- mögliche Expositionspfade durch natürliche Strahlenquellen
- Ausmaß der Strahlenexposition für identifizierte Expositionspfade
- Anzahl der von den verschiedenen Expositionspfaden betroffenen Beschäftigten.

Verschiedene Aufenthaltsorte, an denen sich eine Person im Rahmen ihrer beruflichen Tätigkeit aufhält, wurden ermittelt, konnten jedoch nicht in allen Fällen vollständig aufgenommen werden.

Messtechnische Untersuchungen wurden in den in Tabelle 2 genannten Tätigkeitsfeldern durchgeführt.

Tabelle 2: Angabe der Tätigkeitsfelder und der Anzahlen an Betrieben und Messtagen, die im Rahmen des AP 3 untersucht wurden

Tätigkeitsfeld	Betriebe	Messtage
Aufbereitung von Niob/Tantalserzen einschließlich der Gewinnung, Verwendung und Verarbeitung von Polychlorerzen	1	1
Handhabung, insbesondere Montage, Demontage, Bearbeiten und Untersuchen von Produkten aus thorierten Legierungen	1	1
Wartung von Klinkeröfen in der Zementproduktion und Heizkesseln in Kohlekraftwerken	1	2
Verarbeitung von zirkonhaltigen Stoffen bei der Herstellung feuerfester Werkstoffe	3	3
Handhabung von Schlämmen und Ablagerungen, die bei der Gewinnung, Verarbeitung und Aufbereitung von Erdöl und Erdgas, in der tiefen Geothermie und bei Reinigungstätigkeiten von Anlagen und Einrichtungen anfallen	1	3

Zur Ermittlung der beurteilungsrelevanten Expositionen für Beschäftigte wurde zunächst eine Expositionsabschätzung mit konservativen Annahmen hinsichtlich der Expositionszeiten und der Expositionsparameter Aufenthaltszeit, Ortsdosisleistung, Staubkonzentration sowie Aktivitätskonzentration im staubenden Material durchgeführt. In einem zweiten Schritt wurde auf Basis der Messergebnisse und/oder auf Basis realistischerer Annahmen eine Expositionsmodellierung durchgeführt.

Die Abschätzung der Anzahl von betroffenen Beschäftigten wurde basierend auf den gewonnenen Erkenntnissen zu den jeweiligen Tätigkeitsfeldern und den durchgeführten Expositionsmodellierungen in den Größenordnungen von 3-10, 10-30, 30-300 angegeben.

5. ERGEBNISSE

Für jede der zu untersuchenden industriellen Tätigkeiten wurde eine Prognose über die Anzahl von Personen erstellt, für die eine Abschätzung der Strahlenexposition gemäß § 55 StrlSchG durchzuführen ist. Auf der Grundlage der jeweiligen Arbeitsprofile, der Charakteristika von NORM als Strahlenquelle und der relevanten Expositionspfade wurde dazu mit konservativen Annahmen geprüft, inwieweit eine Überschreitung der effektiven Dosis von 1 mSv im Kalenderjahr auftreten kann. Mittels realistischer Modellierungen und mit exemplarischen Untersuchungen wurde eingegrenzt, inwieweit bei den zu bewertenden Tätigkeiten tatsächlich mit beruflichen Strahlenexpositionen zu rechnen ist.

In Tabelle 3 ist für jedes untersuchte Tätigkeitsfeld neben der Prognose über die Anzahl der Beschäftigten, bei denen eine Abschätzung der Strahlenexposition durchzuführen ist, auch eine Prognose über die Anzahl der Beschäftigten mit Expositionen von über 1 mSv im Kalenderjahr angegeben. Letztere unterliegen einer Anzeigepflicht nach § 56 StrlSchG.

Tabelle 3: Tätigkeitsfelder mit der abgeschätzten Anzahl an Beschäftigten, die von NORM-Exposition betroffen sind und die ggf. von Expositionen > 1 mSv/Jahr betroffen sein können

Tätigkeitsfeld	zu Prüfen	> 1 mSv/Jahr
Aufbereitung von Niob/Tantalserzen einschließlich der Gewinnung, Verwendung und Verarbeitung von Polychlorerzen	30-100	3-10
Betrieb und Wartung von Anlagen der tiefen Geothermie	30-100	3-10
Verwendung von Thorium und Uran in der natürlichen Isotopenzusammensetzung einschließlich der daraus jeweils hervorgehenden Tochternuklide (sofern vorhanden) zu chemisch-analytischen oder zu chemisch präparativen Zwecken	30-100	10-30
Handhabung, insbesondere Montage, Demontage, Bearbeiten und Untersuchen von Produkten aus thorierten Legierungen	10-30	3-10
Wartung von Klinkeröfen in der Zementproduktion und Heizkesseln in Kohlekraftwerken	30-100	3-10
Verarbeitung von zirkonhaltigen Stoffen bei der Herstellung feuerfester Werkstoffe	30-100	10-30
Handhabung von Schlämmen und Ablagerungen, die bei der Gewinnung, Verarbeitung und Aufbereitung von Erdöl und Erdgas, in der tiefen Geothermie und bei Reinigungstätigkeiten von Anlagen und Einrichtungen anfallen	100-300	10-30
Lagerung überwachungsbedürftiger Rückstände sowie Entfernung von radioaktiven Verunreinigungen von Grundstücken	30-100	3-10
Summen (gerundet)	300-1000	50-150

6. UMSETZUNG DER ERGEBNISSE

Wird das Tätigkeitsfeld „Verwendung von Thorium und Uran in der natürlichen Isotopenzusammensetzung einschließlich der daraus jeweils hervorgehenden Tochternuklide (sofern vorhanden) zu chemisch-analytischen oder zu chemisch präparativen Zwecken“ auf Tätigkeiten, die diesem Tätigkeitsfeld im engeren Sinne zuzurechnen sind, beschränkt, dann sind bei den derzeit in Deutschland praktizierten Anwendungen selbst bei konservativer Abschätzung von Dosen keine Anhaltspunkte erkennbar, dass es hierbei (auf Grund dieser Tätigkeit) zu Strahlenexpositionen in der Größenordnung von 1 mSv/a kommt. Das Tätigkeitsfeld sollte daher präziser gefasst und auf Tätigkeiten ausgerichtet werden, bei denen eine „präparative Verwendung“ in Form des Zusatzes von Thorium bei der Herstellung von thorierten Legierungen stattfindet.

Für die Identifikation externer Beschäftigter ist eine auf kürzere Expositionszeiten bezogene Dosis als Erfassungsschwelle nötig. Eine solche Erfassungsschwelle sollte nicht über 10 µSv je Arbeitswoche liegen, da ansonsten kleinere Dosen zu stark außer Acht gelassen werden. Praktikabel könnte eine Dosis von 5 µSv je Arbeitswoche sein.

Das bei der Festlegung der Tätigkeitsfelder angewandte Prinzip des selektiven Strahlenschutzes führt zu Inkonsistenzen bei der Expositionsermittlung, da vor allem bei Wartungsarbeiten die Beschäftigten in ähnlichen Expositionsbedingungen in Anlagen tätig sein können, die nicht in der Anlage 3 StrlSchG genannt sind und damit nicht zur zu erfassenden Exposition beitragen.

Themenbereich 02
Strahlenschutztechnik

Subject area 02
Radiation protection techniques

Thema			
Schaffung einer operationellen Infrastruktur zur Analyse von Spektren aus Halbleiterdetektoren mit mittlerer Energieauflösung			
Subject			
<i>Supply of an operational infrastructure for analysis of spectrum obtained with semiconductor detector of intermediate resolution</i>			
Kennzeichen	Beginn	Ende	Fördermittel
3615S22530	01.08.2015	31.07.2017	EUR 194.979,-
Forschungs- / Auftragnehmer			
Envinet GmbH (Deutschland)			
Projektleitung	Fachbetreuung BfS	verantwortlich für den Text	
Dr. S. Reinhardt	Dr. U. Stöhlker / SW 2.4	Dr. U. Stöhlker	

1. ZIELSETZUNG

Aktuell führt das BfS spektroskopische Sonden ein, die zusätzlich zur Messung der Ortsdosisleistung (ODL) nuklidspezifische Information liefern. Verfügbar sind bereits Systeme auf LaBr₃- bzw. auf CdZnTe (CZT)-Basis mit Energieauflösungen von ca. 2,5 bzw. 1,5 %. Ziel ist der Aufbau dieser Systeme insbesondere in der Nähe kerntechnischer Anlagen. Damit wird erreicht, dass in der Frühphase eines Unfallablaufs die relevanten Messinformationen zum freigesetzten Nuklidgemisch zeitnah bestimmt werden können. So wird sichergestellt, dass die Beiträge dominanter Radionuklide zur Exposition bereits während der Wolkendurchzugsphase zuverlässig abgeschätzt werden können und die Verfügbarkeit der wesentlichen Information zur optimierten Lagedarstellung und zum frühzeitigen Ergreifen von relevanten Maßnahmen gegeben ist.

Bei der sogenannten "Full Spectrum Analysis" (FSA) Methode wird das zu untersuchende experimentell ermittelte Gamma-Spektrum mit Hilfe von gewichteten Referenzspektren rekonstruiert. Im Rahmen des vorausgegangenen Vorhabens „Entwicklung und Validierung von Algorithmen zur Analyse von Spektren aus Halbleiterdetektoren mit mittlerer Energieauflösung (Raumtemperaturdetektoren)“ (3612S20012) wurde gezeigt, dass das FSA-Verfahren insbesondere bei Verwendung von Detektorsystemen mit mittlerer Energieauflösung der klassischen Peakanalyse-Methode überlegen ist. Auf Grund dieser positiven Erfahrungen in der Anwendung der FSA-Methode sollte das Verfahren wissenschaftlich weiter entwickelt werden, um eine inhaltliche operationelle Einsatzbereitschaft zu erreichen. Der Schwerpunkt lag dabei in der Einführung automatisch/rekursiver Verfahren für die Energie-Rekalibrierung, in der Bestimmung der Umgebungsäquivalentdosisleistung in Einheiten von H*(10) aus dem Gesamtspektrum, in der automatisierten Vorauswahl der Referenzspektren und in der detektorspezifischen Generierung von Referenzspektren mit Monte-Carlo-Methoden. Damit sollte eine optimierte Datenanalyseplattform geschaffen werden, um eine zeitnahe und wissenschaftlich fundierte Analyse der Daten spektrometrierender ODL-Sonden in einem möglichen Ereignisfall zu erreichen.

2. EINZELZIELSETZUNG

Die bisherige Implementierung der FSA-Methode führte lediglich zur Angabe einer relativen Gewichtung der Nuklidbeiträge. Die Nutzbarmachung der Software setzt voraus, dass unter Berücksichtigung der spezifischen, für eine Messung charakteristischen Geometrie Absolutwerte der nuklidspezifischen Aktivitäts- bzw. Umgebungsäquivalentdosisleistungsbeiträge ermittelt werden. Ein weiteres Ziel war die Einführung automatisch/rekursiver Verfahren für die Energie-Rekalibrierung. Ferner war eine Methodik zur korrekten Bestimmung der Umgebungsäquivalentdosisleistung in Einheiten von H*(10) aus dem Gesamtspektrum nach Rekonstruktion der Photonen-Fluenz, d.h. unter Eliminierung von Streustrahlung in der Detektorumgebung zu entwickeln. Ein weiteres Ziel war die Entwicklung eines automatisierten Verfahrens zur Vorauswahl von Referenzspektren für die Anwendung der FSA-Methode basierend auf der Feststellung charakteristischer Gamma-Linien im experimentell ermittelten Analysespektrum. Die Anwendbarkeit und Stabilität von Verfahren zur Spektrenanpassung war zu untersuchen und nach Auswahl der besten Methode war diese in die FSA-Software zu integrieren. Ferner war eine Entwicklungsumgebung zur Generierung von Referenzspektren für unterschiedliche Detektortypen unter Geant4/Root zu realisieren.

Das Projekt war in sechs Arbeitspakete (AP) aufgeteilt:

- Automatisiertes Verfahren zur Vorauswahl von Referenzspektren (AP 1) Ziel
war, dass der Benutzer der Software bei der Analyse entlastet bzw. eine vollständige Automatisierung der Spektralanalyse erreicht wird. Dies ermöglicht eine zeitnahe und wissenschaftlich fundierte Analyse der Daten spektrometrierender ODL-Sonden in einem möglichen Ereignisfall.
- Automatische/rekursive Verfahren für die Energie-Rekalibrierung (AP 2)
Da die Energiekalibrierung eines Gammaskpektrums die Grundlage jeder weiteren quantitativen Analyse ist, war das Ziel von AP 2 ein optimiertes Verfahren zu finden, um ein Spektrum nachträglich mit einer verbesserten Energiekalibrierung zu versehen.
- Bestimmung von Absolutwerten der nuklidspezifischen Aktivitäts- bzw. Umgebungsäquivalentdosisleistungsbeiträge (AP 3)
- Bestimmung der Umgebungsäquivalentdosisleistung in Einheiten von $H^*(10)$ aus dem Gammaskpektrum (Stripping-Methode) (AP 4)
Ziel war die Implementierung der Stripping-Methode für die Berechnung der Dosisleistung aus einem Spektrum. Die Implementierung erfolgte in C und es konnten Spektren im IEEE N42.42-2006- und IEEE N42.42-2012-Format ein- und ausgegeben werden, wobei das Ausgangsformat durch das Eingangsformat bestimmt wurde.
- Optimierung der FSA-Software (AP 5)
Ziel war die Optimierung des FSA-Programms durch Verbesserung von Analyse-Genauigkeit und -Geschwindigkeit durch Anwendung unterschiedlicher Entfaltungsmethoden durch Verwendung mathematischer Standard-Bibliotheken.
- Realisierung einer Entwicklungsumgebung zur Simulation von Messdaten aus den im BfS eingesetzten spektroskopischen ODL-Messsystemen (AP 6).

Bei der Software-Entwicklung wurde festgelegt, dass die Programmierung mit ANSI-C erfolgt. Damit ist eine Systemunabhängigkeit, d. h. die Anwendbarkeit unter z. B. Windows und Linux gegeben. Ferner wurde die Entwicklung als Open-Source-Software vorausgesetzt. Damit wurde sichergestellt, dass das BfS über die Rechte zur Weitergabe der Software verfügt.

3. METHODIK

Neben den in den einzelnen AP genannten Methoden fanden über den gesamten Projektverlauf hinweg Arbeitstreffen mit Auftragnehmer und -geber statt, um erarbeitetes Wissen zu reflektieren und das weitere Vorgehen zu planen. Zusätzlich wurden die Ergebnisse im Rahmen von drei EURADOS-Tagungen präsentiert. Im September 2017 fand im Rahmen einer EURADOS-Tagung eine 4-stündige Schulung und Einweisung in die Software statt.

3.1 AUTOMATISIERTES VERFAHREN ZUR VORAUSWAHL VON REFERENZSPEKTREN (AP 1)

Bei der Entwicklung eines automatisierten Verfahrens zur Vorauswahl von Referenzspektren, basierend auf der Feststellung charakteristischer Gamma-Linien im experimentell ermittelten Analysespektrum, war ein Verfahren der Peak-Analyse nach Mariscotti zu implementieren. Zusätzlich war der Untergrund des jeweiligen Peaks mit unterschiedlichen Funktionen anzunähern und mittels eines Fit das Optimum der Peak- und Untergrundanpassung zu bestimmen. Es war eine Liste an Peaks zu erzeugen, die alle relevanten Informationen wie Peakfläche, -breite, -güte und Kanal- bzw. Energielage beinhaltet. Es war eine Zuordnung der identifizierten Peaks zu den in der Nuklidbibliothek festgelegten Nukliden vorzunehmen und alle Peaks geordnet zusammenzufassen, die Nukliden zugeordnet werden können bzw. für die dies nicht zutrifft. Es waren abschließend unter Verwendung von Schlüssel-Linien (key-line) bzw. unter Bewertung der Gesamtheit einem Nuklid zugeordneter Linien die über Sammel-, Abkling- und Messzeit zerfallskorrigierten Aktivitäten und Nachweisgrenzen zu bestimmen und eine Liste der nuklidspezifischen Ergebnisse zu erstellen.

3.2 AUTOMATISCHE/REKURSIVE VERFAHREN FÜR DIE ENERGIE-REKALIBRIERUNG (AP 2)

Unter Anwendung der FSA-Methode wurde die vorhandene Energieachse variiert und die Energiekalibrierung mit der besten Anpassung ausgewählt. Diese Methode kompensiert geringfügige Abweichungen, wie sie unter realen Messbedingungen üblicherweise auftreten. Die zweite Methode basierte auf der Peakanalyse gemäß AP 1 und bot die Möglichkeit, die Energiekalibrierung neu zu erstellen, wobei auch hier die vorhandene

Energiekalibrierung gut genug sein muss, um Peaks im Spektrum den Gammalinien von Nukliden zuordnen zu können. Das Verfahren war in die optimierte Version des FSA-Programms zu integrieren.

3.3 BESTIMMUNG VON ABSOLUTWERTEN DER NUKLIDSPEZIFISCHEN AKTIVITÄTS- BZW. UMGEBUNGSÄQUIVALENTDOSISLEISTUNGSBEITRÄGE (AP 3)

Um eine operationelle Nutzbarmachung der Software zu erreichen, war das FSA-Programm zu erweitern. Im ersten Schritt war mit Hilfe der Stripping-Methode die Umgebungsäquivalentdosisleistung in Einheiten von $H^*(10)$ aus dem Gammaskpektrum zu berechnen. In einem zweiten Schritt erfolgte dann die Umrechnung der gewichteten nuklidspezifischen Dosisleistung $H^*(10)$ in eine flächenbezogene Aktivitätskonzentration (in Bq/m^2) mit Hilfe von Literaturwerten¹⁾.

3.4 BESTIMMUNG DER UMGEBUNGSÄQUIVALENTDOSISLEISTUNG IN EINHEITEN VON $H^*(10)$ AUS DEM GAMMASPEKTRUM (STRIPPING-METHODE) (AP 4)

Für die Erzeugung der Stripping-Matrix war ein Monte-Carlo-System analog dem in AP 6 beschriebenen Verfahren Voraussetzung. Es waren die Geometrien von insgesamt 4 Detektoren auf HPGe-, $LaBr_3(Ce)$, NaI(Tl)- und CZT-Basis zu beschreiben und die Simulationsrechnungen zur Generierung der Stripping-Matrix durchzuführen.

Die Methode wurde mittels Labormessungen geprüft mit dem Ziel der Validierung der mit Hilfe der Stripping-Methode erzeugten Werte der Umgebungsäquivalentdosisleistung in Einheiten von $H^*(10)$. Für die experimentelle Validierung wurden Bestrahlungsexperimente mit den Nukliden Am-241, Co-57, Co-60, Cs-137, Eu-152, Ra-226, Th-232 durchgeführt.

3.5 OPTIMIERUNG DER FSA-SOFTWARE (AP 5)

Folgende Kriterien für die Wahl zusätzlicher Algorithmen zur Spektren-Entfaltung wurden vereinbart:

- Iterative Methode wie Richardson Lucy Algorithmus oder Gold Algorithmus
- Methoden, die nicht direkt das Spektrum entfalten, sondern die Normalgleichung und auch die Unsicherheit des Eingangsspektrums berücksichtigen (Minimierung von X^2)
- Methoden, die die Euklidische Norm minimieren.

Diese Methoden sollten in das bestehende Programm-Paket integriert werden, um anschließend Ausführungszeiten und Güte der Spektren-Rekonstruktion bewerten zu können. Die Implementierung erfolgte in C und es konnten Spektren im IEEE N42.42-2006- und IEEE N42.42-2012-Format ein- und ausgegeben werden.

3.6 REALISIERUNG EINER ENTWICKLUNGSUMGEBUNG ZUR SIMULATION VON MESSDATEN AUS DEN IM BFS EINGESETZTEN SPEKTROSKOPISCHEN ODL-MESSSYSTEMEN (AP 6)

Im ersten Schritt war eine graphische Benutzeroberfläche zu entwickeln, mit deren Hilfe die geometrische Beschreibung eines Detektors im Detail ermöglicht wurde. Dabei wurde eine Beschreibungsdatei erzeugt, die im zweiten Schritt dazu dient, ein Spektrum zu simulieren, das bestmöglich dem Spektrum entspricht, welches ein realer Detektor in der gleichen Messgeometrie misst. Für diese Simulation wird das Monte-Carlo-System Geant-4 genutzt. Es berücksichtigt die Wechselwirkung von Gamma-Strahlung in den einzelnen Strukturen des Detektors (wie z. B. Gehäuse, Halterung und Detektor) und der Detektorumgebung (wie z. B. Luft und Rückstreuung an Wänden). Im dritten Schritt wurde nun für eine monoenergetische Strahlungsquelle (deren Geometrie ebenfalls im ersten Schritt beschrieben wurde) mit einer bestimmten Energie ein Spektrum erzeugt.

Typischerweise wurden nun Spektren für monoenergetische Quellen mit einer Energie von 1 keV bis 3000 keV in 1 keV-Schritten erzeugt. Im vierten Schritt wurden dann unter Verwendung einer Nuklidbibliothek die Spektren individueller Nuklide erzeugt (insgesamt ca. 1700 Nuklide). Die Nuklidbibliothek beschreibt dabei, welche Gamma-Energien mit welcher Intensität für das betreffende Nuklid relevant sind. Das Spektrum eines individuellen Nuklids wurde folglich aus der Summe einzelner monoenergetischer Spektren, gewichtet mit der jeweiligen Intensität, gebildet. Zusätzlich wurde das erzeugte Spektrum mit der Auflösungsfunktion des Detektors gefaltet, die eine Funktion der Energie ist.

¹⁾ Kimiaki Saito: "Ambient dose equivalent conversion coefficients for radionuclides exponentially distributed in the ground", 2014

Neben der Generierung von Referenzspektren für das FSA-Programm konnte ferner eine Detektor-Response-Matrix berechnet werden, die für die Bestimmung der Ortsdosisleistung aus einem Spektrum unter Anwendung des Programms aus AP 4 benötigt wurde.

4. DURCHFÜHRUNG

4.1 AUTOMATISIERTES VERFAHREN ZUR VORAUSWAHL VON REFERENZSPEKTREN (AP 1)

Mittels einer Peakanalyse mit Nuklid-Identifikation wurde das Spektrum auf potenzielle Nuklide untersucht. Das Ergebnis dieser Analysis kann dann zur Festlegung der Referenzspektren herangezogen werden.

Für alle Nuklide, die als detektiert erkannt wurden, wurden anschließend die Aktivität und die Nachweisgrenze gemäß ISO11929 berechnet. Ist keine vorkonfigurierbare Linie (key-line) konfiguriert, wurde dabei das gewichtete Mittel aller dem Nuklid zugeordneter Peaks verwendet. Anderenfalls wurde nur die Peakfläche zur Bestimmung der Aktivität genutzt, die der key-line zugeordnet ist.

4.2 AUTOMATISCH/REKURSIVES VERFAHREN FÜR DIE ENERGIE-REKALIBRIERUNG (AP 2)

4.2.1 Methode 1: FSA-Verfahren

In Methode 1 wurde das FSA-Verfahren genutzt, um eine Re-Kalibrierung der Energie zu erreichen.

- Variante 1: Optimierung mit einer Konfigurationseinstellung

Diese Variante ist Bestandteil des ursprünglichen FSA-Programms. Die Energieachse des Eingangsspektrums wird mit einem Faktor skaliert und für jede Skalierung wird eine vollständige FSA-Analyse durchgeführt. Der Faktor wird schrittweise über einen definierten Bereich und Schrittweite variiert und für jeden Faktor wird das Chi-Quadrat der FSA-Analyse bestimmt. Die Analyse mit dem kleinsten Chi-Quadrat wird als Ergebnis verwendet. Die Berechnungszeit kann lange sein, wenn viele Referenzspektren verwendet werden.

- Variante 2: Optimierung mit zwei Konfigurationseinstellungen

Der Nachteil von Variante 1 ist, dass bei einer größeren Anzahl von Referenzspektren und einer kleinen Schrittweite über einen großen Wertebereich die Auswertung eine längere Zeit beanspruchen kann. Um dies zu vermeiden, wird die Optimierung der Energieachse mit einem kleinen Satz oder nur einem Referenzspektrum durchgeführt und damit der beste Faktor bestimmt. Die vollständige Analyse erfolgt mit dem Spektrum, das mit dem besten Faktor skaliert wird. Im Folgenden wird zur Optimierung der Energieachse nur ein Referenzspektrum verwendet, das ein Summenspektrum mehrerer anderer Spektren darstellt.

- Variante 3: Optimierung mit dem Vorgängerspektrum

Die Variante entspricht Variante 2, wobei hier für die Suche des besten Faktors zur Skalierung ein Vorgängerspektrum genutzt wird. Diese Variante ist für die Analyse von Zeitreihen geeignet und es wird das skalierte Spektrum separat gespeichert, um für die nächste Analyse zur Verfügung zu stehen. Wird diese Variante zum ersten Mal ausgeführt, wird das Eingangsspektrum ohne weitere Skalierung ausgewertet und steht für weitere Analysen zur Verfügung.

4.2.2 Methode 2: Optimierung mit Peak-Suche

Diese Variante führt eine Peak-Suche nach Mariscotti für vordefinierte Gammalinien gemäß AP 1 durch. Hierfür wird die Linienbreite der Linie, Energie der Linie und die Toleranz für die Suche benötigt. Es können beliebig viele Linien definiert werden, wobei diese nur berücksichtigt werden, wenn im Spektrum im Rahmen der gegebenen Toleranz auch ein Peak gefunden wurde. In Abhängigkeit der Anzahl der gefundenen Peaks, die einer Linie zugeordnet werden konnten, wurde die Energieachse des Spektrums wie folgt verändert:

- Steht ein Peak zur Verfügung, wird ein Skalierungsfaktor aus dem Verhältnis der erwarteten Energie und der gefittet Peak-Position berechnet.
- Steht ein Peak zur Verfügung und wird zusätzlich ein Referenzpeak bei 0 keV angegeben, wird eine neue Energieachse in Form einer Ursprungsgeraden erstellt.
- Stehen zwei Peaks zur Verfügung, wird noch ein Datenpunkt benötigt um das Polynom mit drei Freiheitsgraden zu fitten. Hierfür wird von der bestehenden Energiekalibrierung der Datenpunkt mit der niedrigsten Energie verwendet. Das Resultat der Anpassung mit dem Polynom wird direkt als Energieachse verwendet.
- Stehen drei oder mehr Peaks zur Verfügung, werden die Datenpunkte mit einem Polynom zweiten Gra-

des angepasst. Das Resultat wird direkt als Energieachse verwendet.

4.3 BESTIMMUNG VON ABSOLUTWERTEN DER NUKLIDSPEZIFISCHEN AKTIVITÄTS- BZW. UMGEBUNGSÄQUIVALENTDOSISLEISTUNGSBEITRÄGE (AP 3)

Das FSA-Programm wurde um das Verfahren der Stripping-Methode erweitert.

4.4 BESTIMMUNG DER UMGEBUNGSÄQUIVALENTDOSISLEISTUNG IN EINHEITEN VON $H^*(10)$ AUS DEM GAMMASPEKTRUM (STRIPPING-METHODE) (AP 4)

In der Simulation wurde ein Photonenstrahl ohne Divergenz verwendet, dessen Ausdehnung deutlich größer ist als die Detektordimension. Der Photonenstrahl trifft senkrecht auf den Detektor und steht senkrecht zur Vertikalen.

Die Quelle wurde für die Messung an Nylon-Fäden aufgehängt, die mit einem Gewicht an ihrer Position fixiert wurde. Der Abstand zwischen Strahler und Detektor bezieht sich immer auf die Detektormitte. Die Höhe über dem Boden betrug ca. 1 m. Der Abstand zwischen Quelle und Detektor betrug gewöhnlich 0,5 m. Dieser Abstand wurde gewählt, um den Anteil von Rückstreuung aus der Umgebung gering zu halten (Abstand Quelle - Detektor < Abstand Detektor - Umgebung).

Zusätzlich wurden Messungen bei hohen Dosisleistungen durchgeführt, um das Verhalten der Methode beim Auftreten von Pile-Up-Effekten zu untersuchen¹⁾.

4.5 OPTIMIERUNG DER FSA-SOFTWARE (AP 5)

Das FSA-Programm wurde um 7 Algorithmen erweitert. Für die Klasse der iterativen Methoden wurde in Ergänzung zu dem bisher genutzten Richardson-Lucy-Algorithmus der Gold-Algorithmus implementiert. Bezüglich der zweiten Klasse an Methoden, die nicht direkt das Spektrum entfalten sondern die Normalengleichung und auch die Unsicherheit des Eingangsspektrums berücksichtigen, wurden der Bunch-Kaufman-, der Cholesky-, der LU- und der Sparse-Algorithmus implementiert. Bezüglich der dritten Klasse an Methoden, die die Euklidische Norm minimieren, wurde der QR-Algorithmus integriert.

4.6 REALISIERUNG EINER ENTWICKLUNGSUMGEBUNG ZUR SIMULATION VON MESSDATEN AUS DEN IM BFS EINGESETZTEN SPEKTROSKOPISCHEN ODL-MESSSYSTEMEN (AP 6)

Das graphische Programm zur Nutzerführung bei der Beschreibung der Detektor-Geometrie mit dem Ziel der Generierung von Referenzspektren stellt verschiedene Funktionen (s. 5.6) zur Verfügung.

5. ERGEBNISSE

5.1 AUTOMATISIERTES VERFAHREN ZUR VORAUSWAHL VON REFERENZSPEKTREN (AP 1)

Die notwendigen Parameter für die Peakanalyse (energieabhängig Auflösung des Detektors, Detektionseffizienz) können vom Nutzer konfiguriert werden. Bei der anschließenden quantitativen Auswertung eines Peaks wurde berücksichtigt, ob dieser im Bereich einer Comptonkante eines anderen Peaks liegt. In diesem Fall wurde die Funktion für den Untergrund entsprechend angepasst. Auch der Typ des Detektors wurde in der Fitfunktion berücksichtigt (z. B. Gauss-Funktion für Szintillatoren und Berücksichtigung des Tailings bei CZT). Überlappten sich mehrere Peaks, wurde eine Multiplett-Analyse über die betroffenen Peaks durchgeführt. Basierend auf einem Vergleich der über den Fit bestimmten Linienbreite mit der erwarteten Linienbreite des Detektors wurde auf mögliche, nicht aufgelöste Peaks hingewiesen. Abschließend wurde eine Zusammenfassung der Ergebnisse erstellt mit mindestens folgenden Informationen:

- Peakfläche
- Peakbreite
- Peakgüte (Angaben reduziertes Chi-Quadrat, mögliches nicht aufgelöstes Multiplett)
- Peakenergie
- Peakkanal.

¹⁾ Pile-Up-Effekte entstehen, wenn bei hohen Zählraten verschiedene Gamma-Photonen vom Detektor nicht mehr getrennt werden können und somit fälschlicherweise als ein einziges Gamma-Photon detektiert werden

Die Ergebnisse der Peakanalyse werden mit einer Nuklidbibliothek abgeglichen, wobei eine nutzerspezifische Toleranz zwischen der Linienenergie in der Bibliothek und gemessener Peakenergie berücksichtigt wurde. War die Detektionseffizienz des Detektors bekannt, konnte diese auch bei der Nuklidzuordnung benutzt werden, um bei Nukliden mit mehreren Gammalinien zu prüfen, ob das Verhältnis der einzelnen Linien den Angaben in der Nuklidtabelle entsprach.

5.2 AUTOMATISCH/REKURSIVES VERFAHREN FÜR DIE ENERGIE-REKALIBRIERUNG (AP 2)

Die Methode, die auf eine Skalierung der Energieachse beruht, führte zu einer Verbesserung, wobei die Variante 1 ein gutes Ergebnis lieferte, aber eine lange Berechnungszeit erforderte. Bei Variante 2 und Variante 3 zeigte sich, dass diese gut funktionieren, wenn das Spektrum z. B. ein normales natürliches Hintergrundspektrum ist. Ist das Spektrum durch ein Nuklid stark verändert, kann dies aber auch zu falschen Ergebnissen führen.

Die Methode, die auf eine Peaksuche basiert, liefert gute Ergebnisse, wenn Peaks über die gesamte Energieachse gefunden werden und die Peaks zuverlässig gefittet wurden. Insbesondere sind die Ergebnisse dann gut, wenn es einen Peak bzw. Information für den niederenergetischen Teil des Spektrums gibt (z. B. eine Röntgenlinie), so dass ein zuverlässiger Wert für den 0- bzw. 1-Kanal gefunden werden kann, ansonsten sind größere Abweichungen möglich. Diese Methode hat insbesondere gegenüber der FSA-basierten Methode 1 den Vorteil, Nichtlinearitäten in der Energiekalibrierung behandeln zu können.

Es konnte leider keine Variante festgestellt werden, die in allen Punkten überzeugt bzw. eine unter allen Umständen zuverlässige Energiekalibrierung durchführt. Dies liegt daran, dass Methode 1 keine Nichtlinearitäten behandeln kann und bei Methode 2 die Gefahr besteht, dass die Randbereiche der Energiekalibrierung stark abweichen, wenn kein Peak in diesem Bereich gefunden wird.

Alle Methoden und Varianten wurden in das bestehende FSA-Programm integriert.

5.3 BESTIMMUNG VON ABSOLUTWERTEN DER NUKLIDSPEZIFISCHEN AKTIVITÄTS- BZW. UMGEBUNGSÄQUIVALENTDOSISLEISTUNGSBEITRÄGE (AP 3)

In AP 3 wurde die Software zur Softwareanalyse mittels FSA um folgende Punkte erweitert:

- Berechnung der Dosisleistung $H^*(10)$ im Spektrum mit dem Verfahren aus AP 3
- Umrechnung der gewichteten Dosisleistung $H^*(10)$ der nuklidspezifischen Referenzspektren in Bq/m^2 mittels in der Literatur publizierter Konversionsfaktoren
- Speicherung der Ergebnisse in ASCII-Format und N42-Format.

5.4 BESTIMMUNG DER UMGEBUNGSÄQUIVALENTDOSISLEISTUNG IN EINHEITEN VON $H^*(10)$ AUS DEM GAMMASPEKTRUM (STRIPPING-METHODE) (AP 4)

In AP 4 wurde ein Programm in ANSI-C entwickelt, das Spektren im N42.42-2006- und N42.42-2012-Format lesen und schreiben kann. Aus den Spektren wird mittels der Stripping-Methode die Dosisleistung in $H^*(10)$ bestimmt. Zum Test wurden 4 verschiedene Detektoren mit einer Monte-Carlo-Simulation simuliert und die Ergebnisse der Stripping-Methode mit Messergebnissen verglichen.

Bei der Überprüfung der Stripping-Methode mit Hilfe von Labormessungen wurde festgestellt, dass bei Nukliden, die Linien-Energien größer 150 keV aufweisen, eine gute Übereinstimmung erreicht wird. Bei Energien kleiner 150 keV spielt die Qualität der Monte-Carlo-Simulation wie auch der Untergrundabzug eine größere Rolle. Hier gibt es Abweichung um bis zu 15 % relativ zum Erwartungswert. Bei der Untersuchung von Spektren, in denen Gammalinien unterhalb von 150 keV auftreten, gilt zu berücksichtigen:

- Der Untergrund steigt bei niedrigen Energien an, so dass zusätzliche Beiträge eine höhere Unsicherheit aufweisen.
- Bedingt durch die Methodik, das Spektrum beginnend vom oberen Energiebereich auszuwerten, wirken sich Fehler in der Monte-Carlo-Simulation (Stripping-Matrix) am stärksten aus.
- Die Simulation von Gammastrahlung bei kleinen Energien ist empfindlicher auf Abweichungen zwischen dem realen Detektor und dem simulierten Detektor, da z. B. Abweichungen in den Materialdicken des Gehäuses sich stärker bemerkbar machen.

Im Strahlenkanal des Helmholtz-Zentrums in Neuherberg wurden Spektren bei großen Dosisleistungen aufgenommen, um den Einfluss des Pile-Up-Effekts zu untersuchen. Erwartungsgemäß zeigte sich, dass bei

Spektren, die bei Zählraten ohne Pile-Up-Effekt aufgenommen wurden, eine gute Übereinstimmung mit den Ergebnissen des Stripping-Verfahrens erreicht wird (Abweichung kleiner 15 %). Liegen die Zählraten oberhalb des Messbereichs des Detektors, liegt folglich ein entsprechend großer Pile-Up-Anteil vor. So führt das Stripping-Verfahren zu einer deutlichen Überschätzung von bis zu 70 %.

5.5 OPTIMIERUNG DER FSA-SOFTWARE (AP 5)

In AP 5 wurde untersucht, welche Algorithmen als Ersatz des Richardson-Lucy-Algorithmus eingesetzt werden können, um insbesondere Geschwindigkeit und Qualität der Analyse zu erhöhen.

In der ersten Klasse der iterativen Methoden konvergiert der Richardson-Lucy-Algorithmus zur Maximum-Likelihood-Lösung für eine Poisson-Verteilung und liefert nur positive Ergebnisse. Der Gold-Algorithmus konvergiert zum Minimum der Euklidischen Norm, bei nur positiven Ergebnissen.

In der zweiten Klasse der Algorithmen, die nicht direkt das Spektrum entfalten, sondern die Normalengleichung und auch die Unsicherheit des Eingangsspektrums berücksichtigen sowie eine Chi-Quadrat-Minimierung durchführen, gilt generell, dass als Ergebnis die Lösung mit dem kleinstem Chi-Quadrat (für Gauss-Verteilung) geliefert wird.

In der dritten Klasse der Algorithmen liefert der QR-Algorithmus als Ergebnis die Lösung mit der kleinsten Euklidischen Norm.

Als Ergebnis gilt es festzuhalten:

- Werden nur positive Ergebnisse erwartet, dann empfiehlt es sich den Richardson-Lucy-Algorithmus zu verwenden, da dieser für eine Poisson-Verteilung ausgelegt ist.
- Erwartet man eine schnelle Auswertung, empfiehlt es sich, den Cholesky-Algorithmus zu verwenden, da dieser mit den schnellsten Algorithmus darstellt und numerisch stabil ist.

Alle Algorithmen sind im FSA-Programm implementiert und können über eine Konfigurationsdatei ausgewählt werden.

5.6 REALISIERUNG EINER ENTWICKLUNGSUMGEBUNG ZUR SIMULATION VON MESSDATEN AUS DEN IM BFS EINGESETZTEN SPEKTROSKOPISCHEN ODL-MESSSYSTEMEN (AP 6)

In AP 6 wurde eine Software implementiert, die es erlaubt Referenzspektren zu erzeugen, die im FSA-Programm bzw. für das Programm zur Bestimmung der Ortsdosisleistung über die Stripping-Methode gemäß AP 4 verwendet werden können. Die Geometrie der Detektoren kann mittels einer grafischen Benutzeroberfläche (GUI) erstellt werden.

Das Programm stellt folgende Funktionen zur Verfügung:

- Projekte anlegen, speichern und öffnen
- Verwendung verschiedener Simulationstypen:
 - Simulation einer monochromatischen Quelle
 - Simulation eines Nuklids
 - das Detektorverhalten über einen Energiebereich
 - Bestimmung der Stripping-Matrix (s. AP 3)
- Festlegung, mit welcher Auflösung die simulierten Spektren gefaltet werden sollen
- Verwendung verschiedener Geometrien:
 - Punktquelle
 - Volumenquelle
 - ausgedehntes und ausgerichtetes Feld (wird für die Bestimmung der Stripping-Matrix benötigt)
 - Punktquelle mit gerichteter Emission (theoretischer Fall)
- Geometrien neu erstellen bzw. überarbeiten:
 - neue Materialien definieren
 - aus 18 vordefinierten Geometrien eigene Geometrien erstellen
 - Kombination von Geometrien zu neuen Geometrien (Vereinigung, Subtraktion, Schnittmenge)

- je nach Simulationstyp kann der Nutzer
 - einen Energiebereich definieren
 - die Größe der Bins im Spektrum definieren
 - die Schrittweite in der Energie festlegen
 - ein Nuklid aus einer Liste auswählen
 - den Startpunkt der Photonen festlegen
 - die Richtung der Photonen festlegen
 - eine Geometrie der Quelle (Volumen) auswählen
 - die Größe der Emissionsfläche festlegen
- die Simulation kann der Nutzer beeinflussen durch:
 - Auswahl des sensitiven Volumens (Detektor)
 - Anzahl der zu simulierenden Photonen
 - Auswahl eines Volumens zur Prüfung deponierter Energie parallel zum Detektor (Compton Unterdrückung)
 - Festlegung, wie viele Photonenenergien parallel simuliert werden sollen.

Die Monte-Carlo-Simulation kann als eigenständiges Programm auch unabhängig von der GUI benutzt werden.

6. UMSETZUNG DER ERGEBNISSE

In den vergangenen Jahren hat das BfS die bestehende Software zur Bearbeitung von Daten aus dem ODL-Messnetz erweitert, um die Verarbeitung von Gamma-Spektren zu ermöglichen. Entsprechend wurde Hard- und Software für die Analyse von Spektren aus LaBr₃-, CZT und HPGe-basierten Messsystemen entwickelt. Zurzeit sind 10 spektroskopische Messsysteme in Betrieb, von denen 8 Systeme stationär und 2 Systeme mobil betrieben werden. Daten dieser Messsysteme werden on-line zu einem Datenbank-Server übertragen. Parallel dazu wurde die Software auf dem Datenbank-Server entwickelt. Dies beinhaltet das Datenbank-Design für spektroskopische Daten, die Auswertung der Spektren und eine interaktive Visualisierungskomponente.

Bestandteil dieses Systems ist bereits das Softwarepaket zur Peak-basierten Analyse von Gamma-Spektren. Die Integration des FSA-Programms steht kurz vor dem Abschluss. Zusätzlich sind die Geometrien der vom BfS entwickelten spektroskopischen Messsysteme mit Hilfe des Programms gemäß AP 6 beschrieben. Ein Server ist eingerichtet, um Spektren für die Nutzung durch die FSA- und die Stripping-Methode zu simulieren.

Die im Rahmen des Forschungsvorhabens entwickelten Methoden und Software-Pakete sind folglich wesentlicher Bestandteil bei der Ertüchtigung des ODL-Messnetzes des BfS bei der Einführung spektroskopischer ODL-Messsysteme mit mittlerer Energieauflösung.

Themenbereich 03

Strahlenbiologie - Wirkung von ionisierender und nichtionisierender Strahlung,
Strahlenempfindlichkeit

Subject area 03

Radiation Biology - Effects of ionising and non-ionising radiation, radiosensitivity

Thema			
Genomweite Analyse genetisch bedingter Strahlenempfindlichkeit in Wismut Bergarbeitern: Datenauswertung und Bewertung der Assoziationsanalysen			
Subject			
<i>Genome wide analysis of radiation sensitivity in former uranium miners of SDAG Wismut - Data analysis and assessment of the association analyses</i>			
Kennzeichen	Beginn	Ende	Fördermittel
3615S32253	01.03.2016	28.02.2017	EUR 133.825,-
Forschungs- / Auftragnehmer			
Universitätsmedizin Göttingen, Institut für Genetische Epidemiologie			
Projektleitung	Fachbetreuung BfS	verantwortlich für den Text	
Prof. Dr. H. Bickeböller	Dr. M. Gomolka / AG-SG 1.4	A. Rosenberger	

1. ZIELSETZUNG

Das Ziel des Forschungsvorhabens bestand in der Suche nach genetischen Varianten, die im Zusammenhang mit Strahlung zu einem erhöhten Lungenkrebsrisiko beitragen können.

Die im Rahmen der Vorgängerprojekte des BfS (3614S10013 „Genomweite Analyse genetisch bedingter Strahlenempfindlichkeit in Wismut Bergarbeitern“ und 3614S10014 „Genomweite Analyse genetisch bedingter Strahlenempfindlichkeit in Wismut Bergarbeitern - Qualitätssicherung der Typisierungsergebnisse“) gewonnenen genomischen Daten (kurz *Genotypen*) sowie die Daten der *Lung-Cancer-in-the-Young-Study* (LUCY), der *German Lung Cancer Study* (GLC) und anderer Lungenkrebsstudien (soweit diese von ILCCO/TRICL zur Verfügung gestellt wurden) bildeten zusammen mit Expositions-, medizinischen und epidemiologischen Daten (kurz *Phänotypen*) die Grundlage für eine genomweite Assoziationsuntersuchung (GWAS, engl. Genome-Wide Association Study) der Interaktion zwischen genomischen Markern und einer Strahlenexposition durch Radon hinsichtlich des Lungenkrebsrisikos.

2. EINZELZIELSETZUNG

Die Durchführung des Projekts war in folgende drei Arbeitspakete (AP) aufgeteilt:

- Entwicklung eines geeigneten Modells zur Untersuchung von Gen x Umwelt (Gene x Strahlung) Interaktionen (AP 1)
- Genomweite Assoziationsanalyse zum Lungenkrebsrisiko in Abhängigkeit der Strahlenexposition unter Einbeziehung der Daten aus verschiedenen nationalen (Wismut, LUCY, KORA - Kontrollen in der Region Augsburg) und internationalen Kollektiven (z. B. ILCCO, TRICL, GAME-ON) (AP 2)
 - Zusammenführen und Harmonisieren phänotypischer Daten (AP 2.1)
 - Zusammenführen und Harmonisieren genomischer Daten (AP 2.2)
 - Durchführen der GWAs (AP 2.3).
- Identifizierung krankheitsrelevanter genomischer Regionen, „gene-sets“ und/oder Signalwege „pathways“ hinsichtlich des strahleninduzierten Lungenkrebses; Auswahl geeigneter SNPs, die in einem weiteren Bergarbeiterkollektiv (Lungenkrebsfälle/gesunde exponierte Kontrollen) validiert werden (AP 3)
 - Zusammenstellen der zu untersuchenden „gene-sets“ (AP 3.1)
 - Durchführung einer *Gene Set Analysis* (GSA) (AP 3.2)
 - Auswahl zu validierender Kandidaten-SNPs (AP 3.3).

3. METHODIK

3.1 ENTWICKLUNG EINES GEEIGNETEN MODELS ZUR UNTERSUCHUNG VON GEN x UMWELT (GENE x RADON)-INTERAKTIONEN (AP 1)

Im Rahmen des AP 1 wurde die Fachliteratur nach neuen methodischen Ansätzen zur Analyse von Gen x Umwelt (Gene x Environment, GxE)-Interaktionen gesichtet. (Der Begriff Umwelt wird hierbei als Synonym aller nicht-genetischen Faktoren verwendet.) Alle Ansätze auf Basis von genotypisierten Fällen und Kontrollen basieren auf einem (oder mehreren) logistischen Regressionsmodellen, unterscheiden sich aber hinsichtlich der statistischen Tests und der damit verbundenen Bewertung statistischer Signifikanz. Für die Analyse wurde ein 2-stufiges Hybrid-Verfahren (H2) von Murcay 2011¹⁾ in Betracht gezogen.

3.2 GENOMWEITE ASSOZIATIONSANALYSE ZUM LUNGENKREBS-RISIKO IN ABHÄNGIGKEIT DER STRAHLENEXPOSITION UNTER EINBEZIEHUNG DER DATEN AUS VERSCHIEDENEN NATIONALEN (WISMUT, LUCY, KORA) UND INTERNATIONALEN KOLLEKTIVEN (Z. B. ILC-CO, TRICL, GAME-ON) (AP 2)

3.2.1 Zusammenführen und Harmonisieren phänotypischer Daten (AP 2.1)

Die *Phänotyp*-Daten sowohl der Wismut-Studie als auch des TRICL/ILCCO-Konsortiums wurden auf Vollständigkeit und Zuordnungbarkeit zu den Genotypen geprüft. Von den insgesamt 27 599 genotypisierten Personen lagen vollständige Angaben zu Alter bei Diagnose bzw. Interview, Geschlecht, der Strahlenexposition und dem Rauchstatus vor.

Anmerkung: Die berufsbedingte Strahlenexposition durch Radon wurde nur für die Wismut-Bergarbeiter in *Working Level Months* (WLM) quantifiziert. Für alle anderen Testpersonen muss ein WLM=0 angenommen werden.

3.2.2 Zusammenführen und Harmonisieren genomischer Daten (AP 2.2)

Die *Genotypen* an 456 699 genomischen Markern von 28 606 Lungenkrebsfällen und krebsfreien Kontrollen standen zur Datenauswertung zur Verfügung. Die gesamte Stichprobe für dieses Projektvorhaben (Wismut-Bergarbeiter, GLC und OncoArray-Konsortium) kann als „kaukasisch“ (eine genetische Abgrenzung zu Afrikanern und Asiaten) angesehen werden. Das WISMUT-Sample zeigt dabei keine besonderen Auffälligkeiten gegenüber den Stichproben der anderen Studien.

3.3 ENTWICKLUNG EINES GEEIGNETEN MODELS (FORTSETZUNG AP 1)

Populationsstratifikation, also das Vorhandensein von genetischen Untergruppierungen der „*Kaukasier*“, kann zu einer Verzerrung vorhandener GxE-Interaktionen führen. Um für vorhandene Populationsstratifikation in der Schätzung der GxE-Interaktionen hinreichend adjustieren zu können, wurden Hauptkomponenten (Principal Components, PCs) aus den Genotyp-Daten geschätzt. Es zeigte sich, dass mit (nur) 4 PCs suffizient für Populationsstratifikation adjustiert werden konnte (und musste). Ferner konnten unter allen Kontrollen 103 983 Regionen (im Weiteren als LD-Blöcke bezeichnet) durch die im Analyseprogramm PLINK 1.9 (<https://www.cog-genomics.org/plink2>) implementierte Routine zur Bestimmung von Haplotypen (mehrere Marker überspannende Nukleotidsequenzen) und durch Zusammenfassen von in Linkage Disequilibrium (LD, benachbarte Marker mit erhöhter Korrelation) zueinander stehenden Markern ($r^2 \geq 0,025$) identifiziert werden. Erzielte Signifikanzen (p-Werte) wurden daher für multiples Testen anhand dieser Anzahl LD-Blöcke adjustiert.

Für jeden Studienteilnehmer wurde ein gemeinsamer Propensity-Score für Lungenkrebs der Störgrößen Alter, Geschlecht und Rauchstatus, adjustiert für Populationsstratifikation (PCs) und Strahlenexposition geschätzt. Es zeigt sich, dass das Analysemodell durch Adjustieren anhand des Propensity-Scores gegenüber dem Adjustieren anhand der einzelnen Störgrößen ohne verzerrenden Einfluss auf die Parameterschätzung vereinfacht und somit für jeden Marker/LD-Block harmonisiert werden konnte.

Es wurde folgendes Analysemodell zur Schätzung der GxE-Interaktion verwendet:

$$\ln(\text{Odd}_D) = \ln\left(\frac{p_D}{1-p_D}\right) = \beta_o + \beta_{1i}PC_i + \beta_{PS}PS + \beta_GG + \beta_EE + \beta_{G \times E}(G \cdot E)$$

¹⁾ Genetic epidemiology 2011;35(3):201-10

- D: Erkrankungsstatus (D=1: Lungenkrebs-Patienten; D=0: Kontrollen)
 G: Anzahl des selteneren Allels des Markers m
 E: Strahlenexposition (0: nicht-exponiert bei WLM ≤ 50 , 1: exponiert bei WLM > 50)
 PS: Propensity-Score (vereinigte nicht-genetische Risikofaktoren des Lungenkrebses)
 PC: vier Eigenvektoren der PCA¹⁾ zum Adjustieren für Populationsstratifikation.

3.4 GEN-SET-ANALYSEN

Gen-Set-Analysen (GSA) ergänzen die gängigen Methoden zur Analyse von genomweiten Assoziationsstudien (GWAS), indem die gemeinsame Assoziation von Genen bzw. zugeordneten Markern, die einer sinnvollen, vordefinierten Gruppe (den Gen-Sets, GS) angehören, untersucht wird.

Für eine Gen-Set-Analyse sind eine Reihe von Zuordnungen notwendig, die auf Basis von öffentlich zugänglichen Datenbanken getroffen wurden.

- Die jeweilige Position der Marker am Genom wurde dem Mapping-File des GAME-ON Konsortiums (Stand 8.4.2015, siehe BfS-Projekt 3614S10014 – AP 2: Qualitätssicherung der Typisierung des Projekts) entnommen. Diese Positionsangaben entsprechen dem „*human assembly GRCh37.p13*“ des *Genome Reference Consortium*.
- Die Zuordnung der Marker zu Genen (MtG: Marker-to-Gene assignment) erfolgte gemäß der Datenbank *ENSEMBL*.
- Die Zuordnung von Genen zu Gen-Sets (GtP: Gene to Pathway assignment) erfolgte gemäß Gene Ontology (GO) und dem Human Genome Nomenclature Committee (HGNC).

In dieser Untersuchung wurde das Verfahren der *Gene-Set Enrichment Analyse* (GSEA) von Subramanian, et al. angewandt.

Die durchgeführte Fall-Kontroll-Studie zielt primär auf die Entdeckung von „*susceptibility genes*“ ab. Dennoch wurden für die Auswahl zu testender Gen-Sets (AP 3.1) auch die „*progression-associated genes and pathways*“, also bekannte Gene der Karzinogenese, weiter betrachtet. Vergleichende Untersuchungen der Gen-Expression zwischen Tumor- und gesundem Gewebe liefern zwar ein umfassendes Profil der genetischen Veränderungen am Ende der Karzinogenese, eine Abgrenzung der biologisch relevanten „*driver mutations*“ von denen der großen Mehrheit der unbeteiligten „*passenger mutations*“ kann aber nicht erfolgen. Es darf aber - im Sinne einer wissenschaftlichen Arbeitshypothese - vermutet werden, dass zwischen „*susceptibility genes*“ und „*driver mutations*“ eine Verbindung bestehen kann.

Die Auswahl zu testender Gen-Sets beruhte daher auf drei Aspekten:

- Gen-Sets (HGNC-Genfamilien und GO-Begriffe), definiert durch in der GWA-Analyse auffälligen Gene bzw. LD-Blöcke
- Gen-Sets (HGNC-Genfamilien), definiert durch bereits publizierte, genetische Interaktionen mit einer Radon-Exposition hinsichtlich Lungenkrebs
- Gen-Sets, Signalwege (GO-Begriffe), definiert durch *progression-associated genes*, falls diese durch bekannte Wirkmechanismen einer Radon- bzw. Strahlungsbelastung plausibel erscheinen.

4. DURCHFÜHRUNG

4.1 GENOMWEITE INTERAKTIONSANALYSE (AP 3)

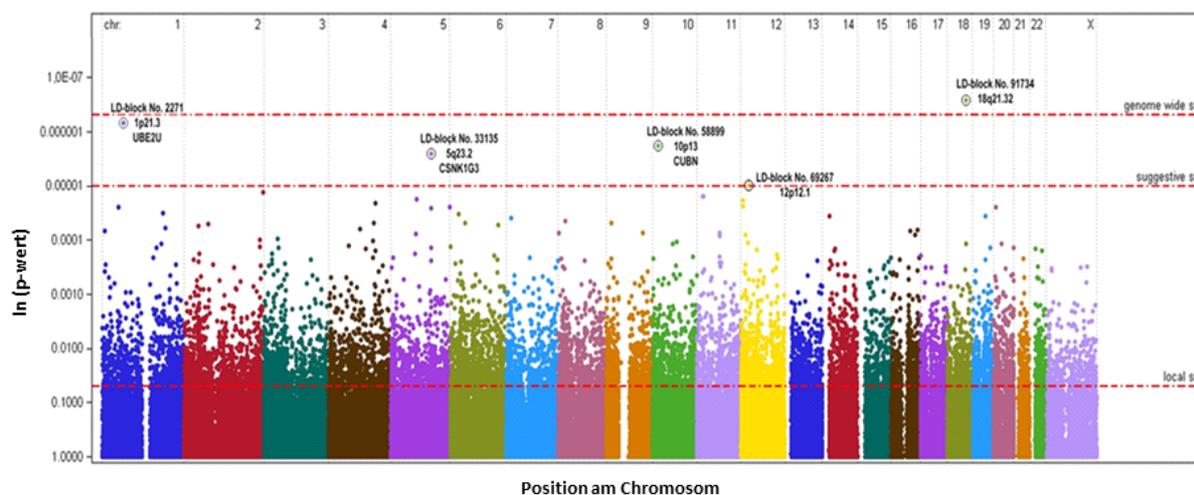
In Einzelmarker-Modellen wurden die GxE-Interaktionen je Marker geschätzt und getestet. Diese wurden durch Multimarker-Modelle ergänzt, die einen gemeinsamen Test aller Marker eines LD-Blocks beinhalteten. Dabei wurden sowohl taxative Modelle, die alle Marker eines LD-Blocks umfassen, als auch Modelle mit Variablenselektion (AIC-Modell, Auswahl gemäß *Akaike's Information Criteria*) an die Daten angepasst.

Die Modellschätzungen je LD-Block erwiesen sich als methodisch komplizierter und zeitaufwändiger als geplant. Eine Reihe von statistisch-methodischen Maßnahmen zur zuverlässigen Modellbildung mussten getroffen werden, um für jeden der 103 983 LD-Blöcke valide Schätz- und Testergebnisse zu erhalten.

¹⁾ principle component analyse

Für insgesamt 16 LD-Blöcke in 12 genomischen Regionen konnte eine suggestive ($p\text{-Wert} < 1 \times 10^{-5}$) oder genomweite signifikante ($p < 0,5 \times 10^{-7}$) GxE-Interaktion gefunden werden. Die Signifikanz für LD-Blöcke nach Variablenselektion (AIC-Modell) ist stets größer als die im taxativen Modell, in dem für jeden Marker eines LD-Blocks sowohl ein Haupt- als auch ein Interaktionseffekt geschätzt wurden. Daher darf vermutet werden, dass Gen x Radon-Interaktionen auf punktuelle Varianten innerhalb der LD-Blöcke zurückzuführen sind und eher weniger durch mehrere Varianten markiert werden.

Genomweit-signifikante Gen x Radon-Interaktionen konnten in der Region 1p21.3 um das Gen **UBE2U** (ubiquitin-conjugating enzyme E2 U) sowie in einem intergenetischen Abschnitt der Region 18q21.32 beobachtet werden. Ebenso zeigt der SNP rs12440014 aus dem Gen **CHRN4** (cholinergic receptor nicotinic beta 4 subunit) in der Region 15q25.1 eine genomweit-signifikante Gen x Radon-Interaktion. Untersuchungen des ILC-CO/TRICL-Konsortiums zeigten, dass einige genetische Varianten in dieser Region mit einem erhöhten Risiko für rauchbedingte Erkrankungen wie Lungenkrebs oder chronisch obstruktive Lungenerkrankung (COPD), aber auch mit einer verzögerten Raucherentwöhnung assoziiert werden können.



Jeder Punkt repräsentiert die Signifikanz einer GxE-Interaktion innerhalb eines LD-Blocks.

Abbildung 1: Manhattan-Plot der p-Werte von Multimarker-Modellen, korrigiert für multiples Testen gemäß des 2-stufigen Hybrid-Verfahrens (H2) von Murcray et al. mit $p = 0,5$

4.2 GEN-SET-ANALYSEN (AP 3.2)

Von den 119 untersuchten Gen-Sets wiesen zwei einen p_{GS} -Wert kleiner 0,05 (nominale Signifikanz) auf, zwei weitere einen p_{GS} -Wert knapp über 0,05. Für diese Gen-Sets kann eine überzufällige Anhäufung von Markern mit GxE-Interaktion angenommen werden.

Tabelle 1: GSEA: Übersicht der Ergebnisse (Auszug grenzwertig signifikanter Ergebnisse)

Gen-Set ID	Beschreibung	Anzahl Gene	Anzahl Marker	Anzahl „driving“-Marker	p_{GS} -Wert
GO:0006307	DNA dealkylation involved in DNA repair	10	90	21	0,0139
HGNC:476	microRNAs	1776	147	44	0,0159
GO:0006637	acyl-CoA metabolic process	23	36	20	0,0538
GO:0016020	membrane (cellular-component)	1896	5903	178	0,0558

Eine komplette Übersicht der GSEA-Ergebnisse findet sich im Abschlussbericht.

5. ERGEBNISSE

Die untersuchte Stichprobe bestand aus insgesamt 28 599 kaukasischen Studienteilnehmern - 463 Studienteilnehmer waren Wismut-Bergarbeiter, 946 Fälle und Kontrollen stammen von der *German Lung Cancer Study* und 27 187 stammen vom OncoArray-Konsortium ILCCO/TRICL. Davon waren 49 der 15 077 (0,3 %) Fälle und 259 der 13 522 Kontrollen (1,9 %) gegenüber Strahlung aus natürlichen Radionukliden exponiert (WLM > 50).

Die Datenauswertung umfasste sowohl Einzel- als auch Multimarker-Assoziationsmodelle, wobei im zweiten alle Marker eines LD-Blocks gemeinsam berücksichtigt wurden. Alle Modellschätzungen wurden hinsichtlich Alter, Geschlecht und Rauchverhalten sowie bezüglich genomischer Populationsstrukturen adjustiert. Aus methodischen Gründen sollten die als Oddsratio (OR) geschätzten Assoziationsstärken nicht als unverzerrte Schätzwerte eines relativen Lungenkrebsrisikos betrachtet werden, sondern als studien-interne Größe angesehen werden.

Darüber hinaus wurde die gemeinsame Assoziation von Genen bzw. den zugeordneten Markern, die einem von 119 vordefinierten Gen-Sets angehören, im Rahmen einer *“gene-set enrichment analysis (GSEA)”* (s. *Tab. 1*) untersucht. Bei dieser Gen-Set-Analyse wurde die Häufigkeit von interaktionstragenden LD-Blöcken eines betrachteten Gen-Sets mit der unter allen verbleibenden Genen verglichen. Gesucht wurden also Gen-Sets mit einer relativen „Anreicherung“ an auffälligen GxE-Interaktionen, bzw. jene Gene die zu dieser Anreicherung wesentlich beitragen.

Fasst man die Ergebnisse der Einzel- und Multimarker-Assoziationsanalysen und der Gen-Set-Analyse zusammen, so kann für einige Gene bzw. Gen-Sets eine Rolle in der Karzinogenese des Lungenkrebses, in Interaktion mit einer berufsbedingten Radon/Strahlen-Belastung, vermutet werden. Die bedeutsamsten Gene und Gen-Sets mit signifikanter GxE-Interaktion sind:

Für eine genomische Region – **Chromosom 1p31.3** - konnte eine genomweit signifikante Interaktion mit einer berufsbedingten Radon/Strahlen-Exposition beobachtet werden ($p = 5 \times 10^{-7}$, s. Abb. 1). Diese Region überdeckt das Gen **UBE2U** (ubiquitin-conjugating enzyme E2 U). Der Intron-Marker rs2029868 markiert dabei mit einer geschätzten OR = 22,6 (95 %-CI: 4,7- 109; $p = 0,0001$) eine positive Interaktion für das jeweils seltene Allel unter Radon-exponierten Bergarbeitern.

Zwei weitere Gene fielen durch die Gen-Set-Analyse (Tab. 1) hinsichtlich einer nominal-signifikanten „Anreicherung“ an auffälligen GxE-Interaktionen auf.

Dem Gen **FTO/ALKBH9** (fat mass and obesity-associated protein / alpha-ketoglutarate-dependent dioxygenase) - auf Chromosom 16q12.2 - kommt hinsichtlich des molekularen Signalwegs der *„DNA dealkylation involved in DNA repair“* (Gen-Set GO:0006307) eine zentrale Rolle zu. Das Gen-Set selbst erzielte in der Gen-Set-Analyse mit $p = 0,0139$ den niedrigsten p-Wert. Ein Intron-Marker des Gens FTO an Position 53 995 500 markiert dabei mit einer geschätzten OR = 7,9 (95 %-CI: 4,7- 109; $p = 0,0001$) eine positive Assoziation für das jeweils seltene Allel unabhängig von einer Radon-Exposition. Gleichzeitig wird für diesen Marker aber eine negative Interaktion für das jeweils seltene Allel unter Radon-exponierten Bergarbeitern (OR = 0,03; $p = 0,0130$) geschätzt.

Das Gen **CUBN** (cubilin) – auf Chromosom 10p13 - war hinsichtlich des weitgefassten GO-Begriffs GO:0016020 *„Membrane (cellular-component)“*, der eine Signifikanz nur knapp verfehlte ($p = 0,0558$), das am stärksten assoziierte Gen. Ein Multimarker-Modell ergab ebenso für den innerhalb des Genes liegenden LD-Block Nr. 58 899 eine suggestive Signifikanz ($p = 0,000013$). Der Intron-Marker rs4748341 markiert dabei mit einer geschätzten OR > 36 die stärkste positive Interaktion für das jeweils seltene Allel unter Radon-exponierten Bergarbeitern ($p = 5,6 \times 10^{-6}$).

Darüber hinaus zeigten die Genfamilie der *„microRNAs“* (HGNC:476) sowie der *„acyl-CoA metabolic process“* (GO:0006637) eine auffällige „Anreicherung“ an auffälligen GxE-Interaktionen. Es konnte jedoch keinem einzelnen Gen eine zentrale Rolle hinsichtlich der untersuchten GxE-Interaktion in diesen Gen-Sets zugeschrieben werden.

Durch die Einzel- oder Multimarker-Modellierung konnten 10 weitere genomische Regionen mit suggestiver Signifikanz identifiziert werden, die möglicherweise weitere Gen x Radon-Interaktionen beherbergen.

Zum ersten Mal wurde in einer genomweiten Untersuchung nach genomischen Prädispositionen gesucht, die durch eine lebenslange, berufsbedingte Strahlenbelastung durch Radon das Risiko einer Lungenkrebserkrankung erhöhen oder davor schützen. Die ausreichende Fallzahl für diese Untersuchung wurde erst durch das Zusammenführen von Studiendaten des BfS und aller in TRILC/ILCCO vereinigten internationalen Studien erreicht. Die Konformität der genotypischen Daten wurde durch identische Typisierungsarrays und übereinstim-

mende Typisierungsprotokolle gewährleistet. Die Wirkmechanismen der durch diese Untersuchung durch statistische Modelle identifizierten Gene und molekular-biologischen Signalwege müssen jedoch weiter untersucht und validiert werden. Die Ergebnisse sind aber dennoch schon jetzt für den Strahlenschutz von Bedeutung, denn es konnte gezeigt werden, dass das Risiko für eine strahlungsinduzierte Lungenkreberkrankung durch eine individuell genetische Prädisposition mit determiniert ist.

6. UMSETZUNG DER ERGEBNISSE

Die Wismut-Kohorte umfasst Beschäftigte des Uranerzbergbaus in der ehemaligen DDR (tätig zwischen 1946 und 1990) und ist weltweit die größte Kohorte beruflich radonbelasteter Bergarbeiter. Das Bundesamt für Strahlenschutz (BfS) führt diese Studie seit mehreren Jahren durch mit dem Ziel, die gesundheitlichen Folgen dieser Tätigkeit wissenschaftlich aufzuarbeiten. 2009-2012 wurde von einem Teil der Wismut-Bergarbeiter eine Bioprobenbank angelegt, um molekular epidemiologische Untersuchungen durchzuführen und Strahlenempfindlichkeit in einem beruflich Radon exponierten Kollektiv genomweit auf Umweltinteraktionen zu untersuchen. Es konnten in diesem Projekt erstmalig durch ein genomweites Screening genetische Marker identifiziert werden, die im Zusammenhang mit Radon das individuelle Lungenkrebsrisiko signifikant modifizieren. Um diese Daten abzusichern, sollen in einem weiteren Kollektiv von Uranbergarbeitern die Ergebnisse validiert werden. Die hier identifizierte Gene, die für Strahlenempfindlichkeit prädisponieren, geben weitere Einblicke in die Mechanismen der Ätiologie des Lungenkrebs und können damit dessen Präventions und Therapiemöglichkeiten im Besonderen durch Strahlentherapie verbessern. Darüberhinaus können diese Ergebnisse für Präventionsmaßnahmen im Arbeitsschutz genutzt werden. Für den Strahlenschutz ist die Bedeutung vor allem in der individuellen Risikobetrachtung. Individuelle Risiken, insbesondere ein erhöhtes Risiko durch eine genetische Prädisposition, die nur im Zusammenhang mit mutagenen Stoffen wie Radon eine Risikomodifikation bewirkt, sind derzeit in der Risikobetrachtung nicht aufgenommen. Sollten sich die in diesem Vorhaben identifizierten Faktoren bestätigen und möglicherweise auch bei geringen Radondosen zu einer Risikomodifizierung beitragen, sollten genetische Marker in der Risikobetrachtung unbedingt berücksichtigt werden.

Themenbereich 04
Medizinische Strahlenexposition / Röntgenverordnung

Subject area 04
Medical radiation exposures / X-ray Ordinance

Thema Verbesserung der Inhalationsdosimetrie am Arbeitsplatz			
Subject <i>Improvement of the inhalation dosimetry at work places</i>			
Kennzeichen 3614S40015	Beginn 01.01.2015	Ende 30.06.2017	Fördermittel EUR 301.126,-
Forschungs- / Auftragnehmer Helmholtz Zentrum München, Institut für Strahlenschutz, Neuherberg			
Projektleitung Dr. J. Tschiersch	Fachbetreuung BfS Dr. A. Giussani / AG-SG 2.3	verantwortlich für den Text Dr. J. Tschiersch	

1. ZIELSETZUNG

Die Inhalationsdosis bei der Exposition mit radioaktiv kontaminiertem Aerosol hängt außer von der Aktivität der vorhandenen Nuklide ganz wesentlich von deren physikalisch-chemischen Eigenschaften ab. Dies sind vor allem die Größenverteilung, die den Ort und die Stärke der Deposition im Atemtrakt bestimmt, und die Löslichkeit der Nuklide nach der Ablagerung im Atemtrakt, die den Transfer ins Blut und damit in andere Organe beeinflusst. Üblicherweise werden für Arbeitsplätze vordefinierte Aktivitätsgrößenverteilungen und Löslichkeiten angenommen und mit tabellierten Dosiskoeffizienten die Inhalationsdosis berechnet.

Die Inhalationsdosimetrie am Arbeitsplatz sollte nun dahingehend verbessert werden, dass anstatt dieser fixen Werte individuell die Dosiskoeffizienten für verschiedene relevante Arbeitsplätze bestimmt werden. Dazu wurde die Größenverteilung des radioaktiven Aerosols an den exponierten Arbeitsplätzen gemessen und die Löslichkeit der Radionuklide in simulierter Lungenflüssigkeit bestimmt.

2. EINZELZIELSETZUNG

Die Einzelziele des Vorhabens waren daher:

- die Bestimmung der Aktivitäts-Größenverteilung an Arbeitsplätzen, an denen eine Inhalation von aerosolgebundenen Radionukliden möglich ist
 - direkt durch größenklassifizierte Sammlung
 - retrospektiv aus Aerosolfilterproben einschließlich eines Vergleichs der beiden Methoden
- die Bestimmung der Löslichkeit von Radionukliden, die an diesen Arbeitsplätzen auftreten, aus Aerosolfilterproben
- die Berechnung individueller Dosiskoeffizienten aus diesen Parametern und damit eine Abschätzung der Exposition der an den Arbeitsplätzen Beschäftigten.

3. METHODIK

Die experimentellen Methoden zur Bestimmung der Aktivitätsgrößenverteilung (in situ und retrospektiv) wurden bereits in verschiedenen Vorhaben erfolgreich eingesetzt und sind in Publikationen im Detail beschrieben.

Zur direkten Größenklassifizierung, d. h. der Bestimmung von AMAD (Activity Median Aerodynamic Diameter) und geometrischer Standardabweichung, stehen verschiedene Impaktortypen zur Verfügung. In der Umgebungsluft der Arbeitsplätze wurde der Niederdruckimpaktor LPI 30 nach Prof. Berner (9-stufig, 0,06 - 16 µm, 1,7 m³/h), der Andersen-Impaktor (6-stufig, 0,49 - 7,2 µm, 70 m³/h) und der IBP-Impaktor (5-stufig, 0,56 - 29 µm, 1,05 m³/h) zum größenfraktionierten Sammeln eingesetzt. Es wurde zusätzlich ein personengetragener Impaktor vom Typ Marple Serie 298 (8-stufig, 0,52 - 21 µm, 2 l/min) beschafft. Die Proben jeder Impaktorstufe wurden separat mittels Gamma-Spektrometrie vermessen. Dafür standen empfindliche Detektoren (u. a. Bohrlochdetektoren) zur Verfügung.

Zusätzlich wurden Aerosolfilterproben des Gesamtstaubs (70 bzw. 140 m³/h) an Arbeitsplätzen gesammelt und retrospektiv aus diesen Filterproben mit einer neu entwickelten Methode die Größenverteilung des radioaktiven Aerosols bestimmt.

Die Löslichkeit des radioaktiven Aerosols wurde anhand der Aerosolfilterproben gemessen. Die Proben wurden eine definierte Periode in simulierte Lungenflüssigkeit getaucht und das Eluat wurde anschließend gamma-spektrometrisch vermessen.

Die individuellen Inhalationsdosiskoeffizienten wurden entsprechend der Messwerte von Löslichkeit und Größenverteilung nach dem Verfahren des ICRP-Atemtraktmodells berechnet. Dafür stand die Standard-Software IMBA zur Verfügung.

4. DURCHFÜHRUNG

Im Vorhaben wurden die vorab definierten Arbeitspakete (AP) abgearbeitet.

4.1 VORBEREITENDE PLANUNGEN UND FESTLEGUNGEN FÜR DAS VORHABEN (AP 1)

In AP 1 war anhand von Literaturrecherche und eigener Erfahrung zu entscheiden über die Auswahl konkreter Arbeitsplätze, die durch partikelgebundene, luftgetragene Radionuklide potenziell exponiert werden. Die Auswahl wurde nach Relevanz und praktischen Möglichkeiten getroffen. Ferner wurde über die anzuwendende Methodik zur Messung von Aktivitätskonzentration, Größenverteilung und Löslichkeit der relevanten Radionuklide entschieden. Die Festlegungen wurden mit dem Auftraggeber abgestimmt. Das Arbeitspaket wurde 2016 mit einem Bericht abgeschlossen.

4.2 AMAD-MESSUNGEN UND FILTERPROBENSAMMLUNG (AP 2)

An folgenden Arbeitsplätzen wurden Aerosolproben genommen, die potenziell mit Radionukliden exponiert sein können und in AP 1 ausgewählt wurden:

- Bauarbeiten in kontaminiertem Gebiet (Bau des neuen Tschernobyl-Reaktorschutzgebäudes)
- Dekontaminationsarbeiten in wieder zu besiedelndem Gebiet von Fukushima
- Wolfram-Inertgas-Schweißen mit Thoriumoxid dotierten Schweißelektroden.



Abbildung 1: Foto der Sammelgeräte und Sammelorte neben dem Tschernobyl-KKW. Bei 1 ist ein Filtersammler (GRAD-1.8), bei 2 ein Impaktor (Andersen PM10), bei 3 ein Teil des künftigen Fundaments und bei 4 die neue Einhausung zu sehen.

Als Probenentnahmemethoden wurden folgende Verfahren eingesetzt:

- Sammeln von Gesamtstaub (bulk sampler)
- Sammeln von größenfraktionierten Aerosolproben (low pressure impactor)
- personenbezogenes Sammeln von größenfraktionierten Aerosolproben (Marple personal impactor).

Einen Eindruck über die Probenentnahmeorte und Sammelmethoden geben die Abbildung 1 für die Probenentnahme am Bauplatz des neuen Schutzgebäudes des Unfallreaktors von Tschernobyl, die Abbildung 2 für die Probenentnahme in der Evakuierungszone von Fukushima und Abbildung 3 für die Probenentnahme in der Schweißwerkstatt. 2017 wurde das Arbeitspaket mit einem Bericht abgeschlossen.



Abbildung 2: Kaskaden-Impaktor (LPI 30, Fa. Hauke, Gmunden) für größenfraktioniertes Sammeln (links) und HiVol-Filterstaubsammler (rechts im Vordergrund) zum Sammeln des Gesamtstaubes am Rand einer Wohnsiedlung in der Evakuierungszone von Fukushima

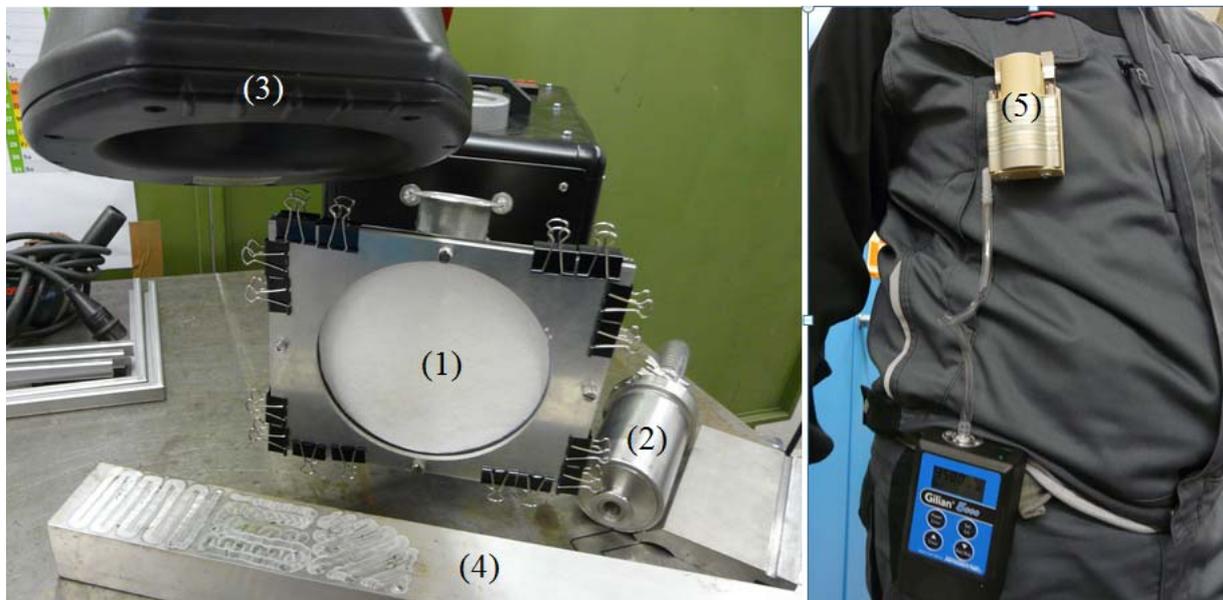


Abbildung 3: Versuchsaufbau für das Schweißen mit ThO₂ dotierten Elektroden: Filtersammler (1), Impaktor für größenfraktioniertes Sammeln (2), Absaugung (3), Aluminiumblock (4) und personengetragener Impaktor (5)

4.3 AUSWERTUNG DER FILTERPROBEN (AP 3)

Die Auswertung der Filterproben des Kooperationspartners PE „Institute of Radioecology“, Dr. Garger, Kiev, von den Bauarbeiten des neuen Tschernobyl-Schutzgebäudes liegt vor. Vergleichsmessungen zur Löslichkeit und Größenverteilung des Aerosols wurden durchgeführt. Messungen zur retrospektiven Ermittlung der Größenverteilung aus Filterproben nach erfolgreicher Wiederetablierung der entsprechenden Methode wurden abgeschlossen. Die Messung der Filter sowie der Impaktorproben von zwei Messkampagnen bei Dekontaminationsarbeiten in der Nähe des Fukushima-Unfallreaktors ist ebenfalls abgeschlossen. Messungen von Filter- und Impaktorproben sowie Löslichkeitstests wurden an Material durchgeführt, das bei Schweißarbeiten mit Thorium dotierten Schweißelektroden gesammelt wurde. Ein Bericht über die Auswertung der Proben und deren Ergebnisse wurde erstellt.

4.4 VERGLEICH DER DOSIS MIT STANDARDANNAHMEN MIT DER DOSIS UNTER VERWENDUNG DER ERMITTELTEN AEROSOLEIGENSCHAFTEN (AP 4)

Die durch direkte Messungen erhaltenen expositions-spezifischen Dosiskoeffizienten wurden mit den tabellierten Dosiskoeffizienten unter Standardmaßnahmen entsprechend der ICRP-Empfehlungen verglichen. Auf diese Weise kann für die verschiedenen getesteten Arbeitsbereiche ermittelt werden, inwieweit die Standardannahmen zu einer Unter- oder Überschätzung der realistischen Dosis führen. Es wurde geprüft, welche Folgerungen für den praktischen Strahlenschutz der Beschäftigten gezogen werden können. Für die Berechnungen der Dosiskoeffizienten wurde die Software „IMBA Professional“ eingesetzt und als Input wurden expositions-spezifische und Standard-Parameter verwendet. In dem 2017 erstellten Bericht wurde die benutzte Methode ausführlich dargestellt, die Ergebnisse für alle drei Arbeitsplätze präsentiert und Schlussfolgerungen gezogen.

5. ERGEBNISSE

Im Folgenden werden die Ergebnisse der Messungen in AP 3 an den radioaktiv exponierten Arbeitsplätzen aus AP 2 und der Berechnungen der Dosiskoeffizienten entsprechend AP 4 mit experimentellen Daten und Standardwerten nach ICRP dargestellt.

5.1 EXPERIMENTELLE ERGEBNISSE

Bei dem Bau des neuen Tschernobyl-Reaktorschutzgebäudes, bei den Dekontaminationsarbeiten im Sperrgebiet von Fukushima und bei Schweißarbeiten mit Schweißelektroden wurden Luftfilter- und Impaktorproben zur Bestimmung der Aktivität, ihrer Korngrößenverteilung und ihrer Löslichkeit in simulierter Lungenflüssigkeit gewonnen.

5.1.1 Ergebnisse der Messungen bei Arbeiten am Tschernobyl-Schutzgebäude

Während der Bauphase am neuen Tschernobyl-Reaktorschutzgebäude wurden um etwa eine Größenordnung höhere Luftaktivitäten gemessen im Vergleich zu Phasen ohne Baumaßnahmen (siehe Abbildung 4). Um das radioaktive Aerosol zu charakterisieren, wurden zusätzlich Impaktorproben zur Bestimmung der Größenverteilung vermessen. Die Ergebnisse unter Annahme einer logarithmischen Normalverteilung sind in Tabelle 1 dargestellt.

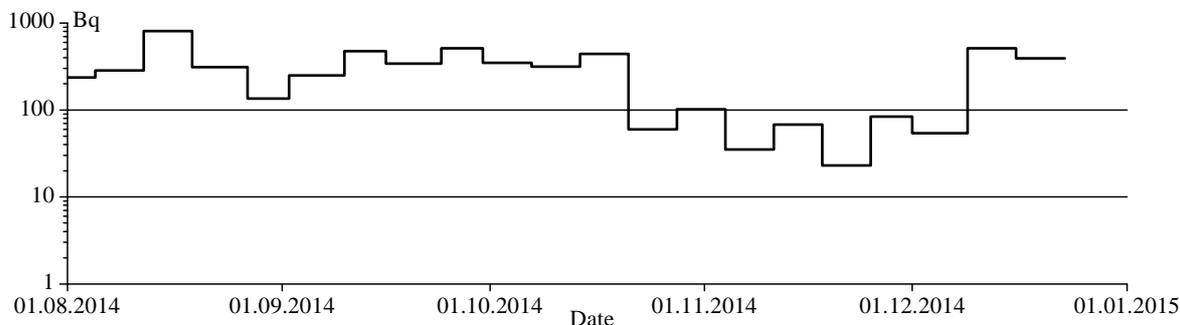


Abbildung 4: Die Luftaktivität von Cs-137 während der Bauphase im Herbst 2014 ist deutlich erhöht (Gesamtstaub gesammelt mit GRAD-1.8).

Tabelle 1: Charakteristische Parameter der Aktivitätsgrößenverteilung von Cs-137 mit angenommener Log-Normalverteilung (Andersen Sammler mit 5-stufigem Impaktor)

Messperiode 2015	Aktivitätskonzentration $\times 10^{-4}$ Bq m ⁻³	mittlerer Durchmesser μ m	Median μ m	Standardabweichung μ m	geometrische Standardabweichung d_g
02.07-14.07	5,14	4,23	2,69	2,98	3,26
15.07-28.07	18,6	4,31	3,05	2,81	2,64
29.07-06.08	16,9	2,14	1,05	2,67	3,19
18.08-01.09	38,5	3,17	2,11	2,53	2,71
09-09-22.09	18,4	2,94	1,67	2,77	3,14
22.09-07.10	18,3	3,57	2,34	2,73	2,82
22.10-03.11	28,0	3,32	2,08	2,77	2,90

Mit Filterabschnitten aus der Gesamtstaubmessung wurden Löslichkeitstests in simulierter Lungenflüssigkeit durchgeführt. Daraus wurden Löslichkeitsparameter entsprechend eines exponentiellen Löslichkeitsmodells bestimmt. Ein Beispiel ist in Abbildung 5 dargestellt. Die Übereinstimmung mit einer Parallelbestimmung beim Kooperationspartner in Kiev (Institute of Radioecology, Dr. Garger) ist sehr gut.

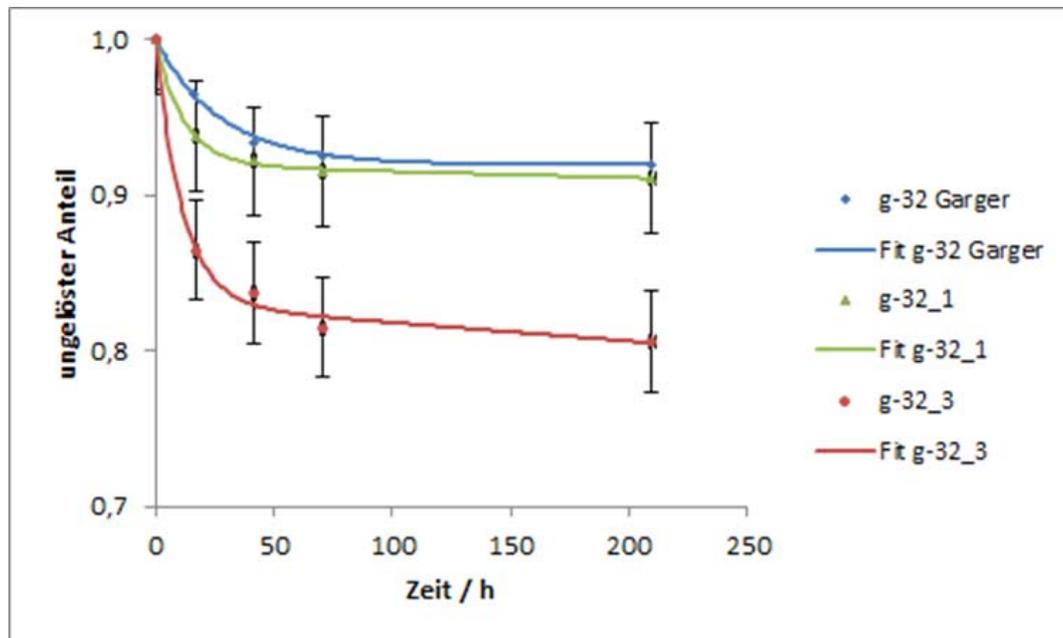


Abbildung 5: Ungelöster Anteil der Cs-137-Aktivität in Abhängigkeit der Extraktionszeit für die Filterfragmente g^{-32}_{-1} und g^{-32}_{-3} . Zum Vergleich sind die Werte des Kooperationspartners Dr. Garger mit eingezeichnet.

5.1.2 Ergebnisse der Messungen bei Dekontaminationsarbeiten im Sperrgebiet von Fukushima

In Abbildung 6 sind die Ergebnisse der Luftkonzentrationsmessung bei der Dekontamination eines Parks in der Evakuierungszone von Fukushima wiedergegeben. Je nach Tätigkeit sind unterschiedliche Expositionen zu erwarten. In einer zweiten Messkampagne im Dezember 2016 wurde zusätzlich parallel ein Impaktor betrieben. Die gemessene Größenverteilung ist in Abbildung 7 dargestellt. Unter Annahme einer Log-Normalverteilung lässt sich der Aktivitätsmedian (AMAD) zu 1,9 μ m aerodynamischer Durchmesser und die geometrische Standardabweichung zu 3,6 bestimmen. Die Gesamtaktivitäten auf den Filterproben waren zu gering, um eine Kaskade von Löslichkeitstests entsprechend Abbildung 5 durchzuführen.

5.1.3 Ergebnisse der Messungen bei Schweißarbeiten mit Thorium dotierten Schweißelektroden

Insgesamt wurden sehr kleine Aktivitäten von Th-232 gemessen, das beim Schweißen mit Thorium dotierten Schweißelektroden in die Raumluft gelangen kann. Dieser Umstand ist der effektiven Lüftung über dem

Schweißarbeitsplatz geschuldet, die aus Arbeitsschutzgründen über dem Arbeitsplatz installiert ist (siehe Abbildung 3). Der gamma-spektroskopische Nachweis von Th-232 wurde über das Tochternuklid Ac-228 geführt. Die Impaktorproben (sowohl des personengetragenen als auch des Arbeitsplatzimpaktors) lagen jeweils unter der Nachweisgrenze.

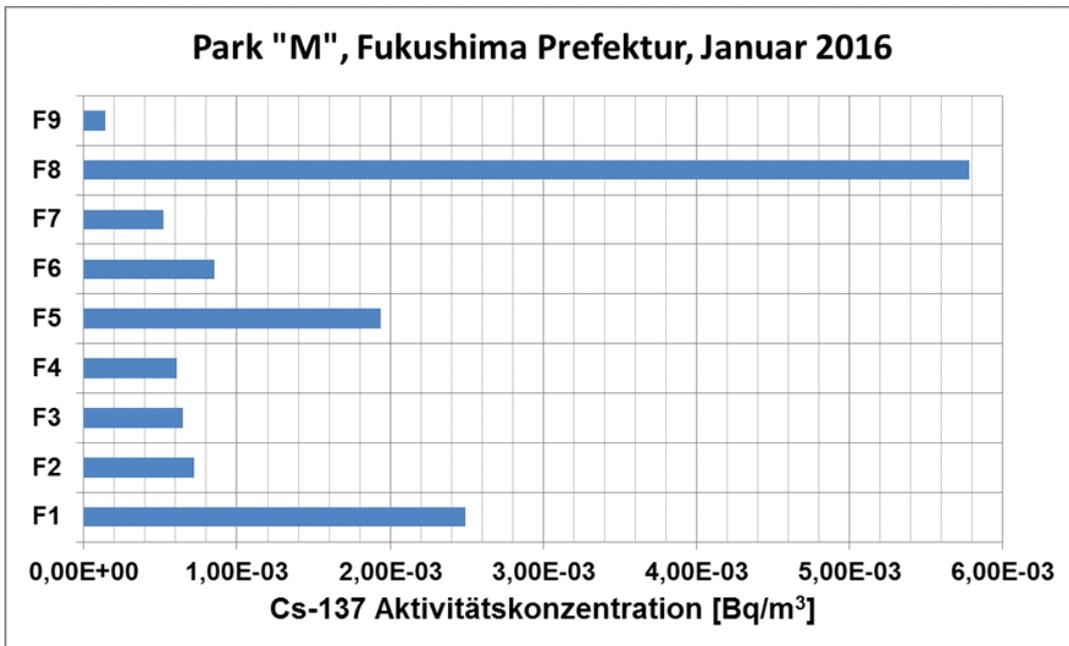


Abbildung 6: Aktivitätskonzentration von Cs-137 bei verschiedenen Dekontaminationsaktivitäten in der Fukushima-Sperrzone

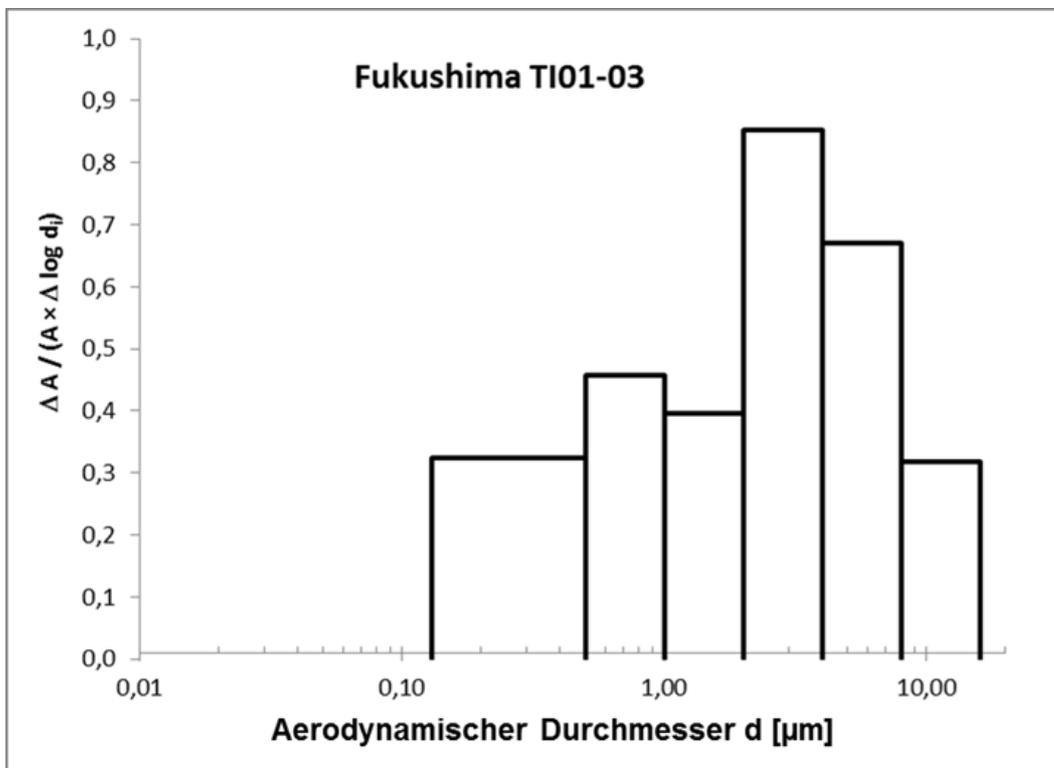


Abbildung 7: Größenverteilung der Cs-137-Aktivität im Sperrgebiet von Fukushima (Meßort „T“, Dezember 2016) entsprechend der Sammelstufen des Impaktors

5.2 BERECHNETE DOSISKOEFFIZIENTEN

Für die individuellen Messdaten bei den verschiedenen Arbeitsvorgängen wurden die Dosiskoeffizienten nach ICRP berechnet und mit Ergebnissen verglichen, die nach Standardwerten für die Parameter Größenverteilung und Löslichkeit ermittelt wurden. Der Vergleich zeigt große Unterschiede zwischen den auf Messdaten beruhenden Dosiskoeffizienten und den Referenzwerten auf. Die angegebenen Referenzwerte der ICRP unterschätzen stark die Dosiskoeffizienten für die Bauarbeiter im kontaminierten Gebiet von Tschernobyl. Ursache hierfür sind im Wesentlichen die experimentell bestimmten Löslichkeiten von Cs-137 in simulierter Lungenflüssigkeit. Die ermittelten Parameter lassen sich nicht eindeutig einem bestimmten Absorptionstyp F, M oder S¹⁾ zuordnen. Es scheint hier ein Mischtyp vorzuliegen mit einem starken Beitrag des Absorptionstyps S. Somit wird auch der Vergleich mit dem Referenzwert der ICRP für den Absorptionstyp S möglich, allerdings liegt dieser Referenzwert am oberen Ende des hier gemessenen Bereichs.

Verglichen mit dem Referenzwert der ICRP für AMAD (5 µm) variieren die berechneten AMAD-Werte in dieser Arbeit im Bereich von 0,74 µm bis 8,04 µm. Der Einfluss der AMAD-Werte auf die Dosiskoeffizienten ist aus den Berechnungen für die Impaktoren gut ersichtlich. Größere AMAD-Werte haben größere Dosiskoeffizienten zur Folge. Wegen der verwendeten ICRP-Werte für die Löslichkeitsparameter zeigt der Vergleich der berechneten Dosiskoeffizienten mit den Referenzwerten der ICRP hier gute Übereinstimmung.

Für die wieder zu besiedelnden Gebiete von Fukushima wurden aus den Messungen mit dem Impaktor AMAD-Werte der Aktivitätsverteilung ermittelt, die den Standardwerten der ICRP (1 µm und 5 µm) nahe liegen. Die daraus berechneten Dosiskoeffizienten sind im Vergleich zu den ICRP-Werten etwas kleiner. Für die Dekontaminationsarbeiten in Fukushima sind somit die Referenzwerte der ICRP etwas zu konservativ. Allerdings wäre es auch hier entscheidend, experimentelle Löslichkeitsparameter zu erhalten.

6. UMSETZUNG DER ERGEBNISSE

Genauere Informationen über Aerosol-Aktivitätskonzentrationen an verschiedenen charakteristischen Arbeitsplätzen mit erhöhtem Inkorporationsrisiko sowie zusätzliche Informationen über Größenverteilung und Löslichkeit in (simulierter) biologischer Flüssigkeit ermöglichen realistischere Dosiskoeffizienten für bestimmte berufliche Expositionen abzuschätzen und auch die Ergebnisse von Inkorporationsmessungen präziser auszuwerten. Die in diesem Vorhaben gewonnenen Informationen werden zusätzlich in die Arbeit der Arbeitsgruppe der internationalen Strahlenschutzkommission ICRP über berufliche Dosiskoeffizienten einfließen, in der ein Vertreter des BfS Mitglied ist. Somit wird das Vorhaben auch zur Verbesserung der Referenzmodelle bei Inkorporation von Radionukliden beitragen.

¹⁾ Löslichkeit; fast, medium and slow absorption

Thema			
Untersuchung des Brustkrebsrisikos nach Radioiodtherapie eines Schilddrüsenkarzinoms - Machbarkeitsstudie			
Subject			
<i>Assessment of breast cancer risk following radioiodine treatment for thyroid cancer - feasibility study</i>			
Kennzeichen 3615S42421	Beginn 01.11.2015	Ende 31.12.2017	Fördermittel EUR 216.686,-
Forschungs- / Auftragnehmer			
Klinik und Poliklinik für Nuklearmedizin der Universität Würzburg			
Projektleitung Prof. Dr. Chr. Reiners	Fachbetreuung BfS A. Erzberger / AG SG 2.1	verantwortlich für den Text Dr. R. Schneider, Prof. Dr. Chr. Reiners	

1. ZIELSETZUNG

Das wesentliche Ziel der Machbarkeitsstudie war die Erkundung der Rahmenbedingungen für eine langfristige internationale Folgestudie an einer größeren Patientinnen-Kohorte zur Abschätzung des Risikos von Brustkrebs als Zweitumor bei Schilddrüsenkarzinom-Patientinnen nach einer Radioiodtherapie (RIT) im Kindes- bzw. Jugendalter. Zur Erprobung des praktischen Arbeitsablaufs wurden Schilddrüsenkarzinom-Patientinnen und vergleichbare Kontrollen aus Belarus untersucht, die vor dem 19. Lebensjahr mit bzw. ohne RIT behandelt worden waren.

2. EINZELZIELSETZUNG

Das Forschungsvorhaben gliederte sich in zwei Teile mit je zwei Arbeitspaketen (AP 1 bis AP 4).

Der erste Projektteil verfolgte zwei Einzelzielsetzungen:

- Aufarbeitung des relevanten Stands von Wissenschaft und Technik, Identifizierung geeigneter nationaler und internationaler Patienten- und Kontroll-Kohorten und Beschreibung ihrer Charakteristika (AP 1)
- Planung der Machbarkeitsstudie, Erprobung des praktischen Arbeitsablaufs zur Durchführung der Folgestudie (AP 2).

Der zweite Projektteil hatte folgende Einzelziele:

- Durchführung der Machbarkeitsstudie (AP 3): Protokollkonforme Untersuchung von 111 Fällen (Schilddrüsenkrebs-Patientinnen nach RIT) und 90 Kontrollen (Schilddrüsenkrebs-Patientinnen ohne RIT)
- Aktualisierung der Datenbank, Analyse der erhobenen Daten, Erarbeitung von Empfehlungen für die Folgestudie (AP 4).

3. METHODIK

Zur Aktualisierung des relevanten Stands von Wissenschaft und Technik wurden eine neue Publikation des Auftragnehmers, wichtige Untersuchungen und Ergebnisse anderer Forschungseinrichtungen, Resultate des aktualisierten Literaturreviews und aktuelle Stellungnahmen nationaler (SSK) sowie internationaler (WHO, UNSCEAR) Gremien ausgewertet.

Für die Folgestudie geeignete Kohorten wurden weltweit ermittelt, ihre Charakteristika beschrieben und verglichen. Die Anzahl rekrutierbarer Patientinnen und Kontrollen sowie aktuell aufdeckbare Effekte wurden in einer Fallzahlberechnung nach statistischen Kriterien abgeschätzt. Zur Planung wurde die Bereitschaft der identifizierten Studienzentren zur langfristigen Zusammenarbeit erfragt; Verfahren zum Einholen der Einverständniserklärung der Patientinnen und das Vorgehen bei Studienabbruch wurden definiert. Für die Studierendurchführung wurden obligate und fakultative klinische, Labor- und bildgebende Untersuchungsmethoden ausgewählt und begründet. Anzahl und Umfang der Untersuchungsbögen wurden reduziert und Untersuchungs- und Qualitätssicherungsprogramme festgelegt.

Zur Erprobung der Machbarkeit einer Folgestudie untersuchte der Kooperationspartner, die weißrussisch-deutsche Stiftung „ARNICA“, entsprechend dem Protokoll je 111 Patientinnen und 90 vergleichbare Kontrollpersonen in Minsk, Belarus.

Die erhobenen Daten wurden zur Dokumentation RIT-bedingter Nebenwirkungen in eine ACCESS-Datenbank eingepflegt. Basierend auf der Auswertung der Resultate wurden Voraussetzungen und Empfehlungen für die Realisierung der Folgestudie unter Berücksichtigung vorgegebener Fragestellungen erarbeitet.

4. DURCHFÜHRUNG

Die Durchführung erfolgte gemäß der in Abschnitt 3 beschriebenen Methodik.

5. ERGEBNISSE

5.1 STAND VON WISSENSCHAFT UND TECHNIK

Auch auf Basis des durch fünf weitere Studien der Jahre 2016-2017 ergänzten Literaturreviews aus dem Jahr 2014 blieb die Datenlage zum Einfluss der RIT auf die Entstehung eines sekundären Mammakarzinoms unklar, da insbesondere entweder Daten zur RIT fehlen oder keine Korrelationen zwischen der RIT und dem Auftreten von Brustkrebs nachgewiesen wurden. Daher ließ sich ein Zusammenhang von Brustkrebs und einer vorausgegangenen RIT weder eindeutig belegen noch widerlegen.

5.2 PLANUNG DER FOLGESTUDIE

Die Anzahl zu rekrutierender Patientinnen und Kontrollen sowie aktuell aufdeckbare Effekte wurden in der Fallzahlberechnung nach statistischen Kriterien abgeschätzt; für eine Folgestudie sollten demnach mindestens 4 340 Fälle und 660 Kontrollen rekrutiert werden.

Insgesamt 10 klinische Zentren aus Deutschland, Belarus, der Ukraine, Polen, Italien, Brasilien, Serbien und Portugal bekundeten ihr Interesse und die grundsätzliche Bereitschaft, an der Folgestudie teilzunehmen und übermittelten Charakteristika und relevante Kenngrößen ihrer Patienten- und Kontrollkohorten. Nur bei Anhebung der Altersgrenze von 18 auf 40 Jahre zum Zeitpunkt der RIT beträgt die Anzahl der bisher einschließbaren Patientinnen insgesamt 3 800, davon 3 300 Frauen mit Schilddrüsenkarzinom, die nach Operation (mindestens) eine RIT erhalten haben und 500 Frauen ohne RIT.

Das Einholen der Einverständniserklärung aller von den Kooperationspartnern eingeschlossenen Patientinnen und Kontrollen erwies sich im Rahmen der Machbarkeitsstudie als nicht durchführbar, da die potenziellen Kooperationspartner die Übermittlung einer Einverständniserklärung erst nach Abschluss der Vereinbarung zur Beteiligung an der Folgestudie mit entsprechender Finanzierung zusagten.

Es wurde festgelegt, dass bei Abbruch der Nachsorge von bis zu 5 % der Patientinnen oder Kontrollen statistische Korrekturen vorgenommen werden, bei einem Abbruch der Nachsorge von mehr als 5 % wurde vorgesehen, für die Folgestudie weitere Patientinnen bzw. Kontrollen als Ersatz zu rekrutieren.

5.3 DURCHFÜHRUNG DER MACHBARKEITSSTUDIE

Zur Erprobung des praktischen Arbeitsablaufs und zur Simulation der Folgestudie wurde eine vergleichbare Patientinnen- und Kontrollgruppe protokollkonform in Minsk untersucht. Die Prozeduren und Verfahrensabläufe einschließlich der Erhebungsmethoden wurden in kleinerem Maßstab getestet.

5.3.1 Studienpopulation

Patientinnen und Kontrollen wurden aus mehreren Datenbanken identifiziert. Unter Berücksichtigung genereller Schwierigkeiten bei der Rekrutierung konnten für die Fallgruppe 111 und für die Kontrollgruppe 90 Patientinnen rekrutiert werden. Alle Patientinnen und Kontrollen der Machbarkeitsstudie dokumentierten ihre Einwilligung zur Studiendurchführung mit ihrer Unterschrift. Die Patientinnen waren sowohl zum Zeitpunkt der Schilddrüsenoperation ($12,7 \pm 3$ vs $14,3 \pm 3,44$; $P < 0,002$) als auch bei der Nachuntersuchung ($33,4 \pm 2,6$ vs. $35,3 \pm 3,8$; $P < 0,001$) geringfügig jünger als die Kontrollen.

5.3.2 Untersuchungsmethoden und Qualitätssicherung

Im Rahmen des zwingend erforderlichen Untersuchungsprogramms wurden die Studienteilnehmerinnen gemäß des im Minsker Studienzentrum geltenden Nachsorgeprotokolls und -intervalls befragt, ärztlich unter-

sucht und die jeweils vorgesehenen Routine-Laboruntersuchungen durchgeführt. Darüber hinaus wurde ein umfangreicheres, z. T. fakultatives Untersuchungsprogramm durchgeführt mit allgemeiner und spezieller Anamnese, Schilddrüsen- und gynäkologischen Untersuchungen sowie Laboruntersuchungen und in Verdachtsfällen mit einer indizierten Bestimmung von Tumormarkern entsprechend dem erweiterten Studienprotokoll.

Die Untersuchungsergebnisse wurden unter Anwendung des Fisher's t-Tests zum Vergleich der Mittelwerte von Patientinnen- und Kontrollgruppe und des Chi-Quadrat-Tests für den Vergleich von Häufigkeiten ausgewertet. Resultate wurden bei einer Irrtumswahrscheinlichkeit von $P < 0,05$ als signifikant angesehen.

Bezüglich der Labor- und apparativen (Sonographie, Mammographie und MRT) Untersuchungen hielt das Studienzentrum in Minsk die nationalen Leitlinien zur Qualitätssicherung ein. Befunde der bildgebenden Verfahren wurden unter Verwendung der einschlägigen BIRADS-Klassifikationen des American College of Radiologists dokumentiert. Die Qualitätssicherungsmaßnahmen bezüglich Datenerhebung und -eingabe sowie der Sicherung und des Schutzes der Daten wurden dokumentiert und eingehalten. Zusätzlich wurden zur Qualitätskontrolle der Laboruntersuchungen identische Fremdkontrollen (Lyphochek[®] 1, 2, 3; Fa. Biorad) sowohl im Labor in Minsk als auch im Universitätsklinikum Würzburg untersucht und die Ergebnisse der Richtigkeitskontrolle sowie der Intra-Assay- und Inter-Assay-Variabilität miteinander verglichen.

Auf Grundlage nationaler und internationaler Leitlinien zum Mamma- und Schilddrüsenkarzinom wurde ein auf wesentliche Punkte beschränkter Untersuchungsbogen entwickelt, der die im Rahmen des 2014 abgeschlossenen Forschungsvorhabens (3611S40006 „Untersuchung des Brustkrebsrisikos nach Radioiodtherapie eines Schilddrüsenkarzinoms bei Jugendlichen und jungen Frauen“) entwickelten umfangreichen Fragebögen ersetzte und in der Machbarkeitsstudie auf Praktikabilität getestet wurde.

5.3.3 Inzidenz von Brustkrebs und anderen Krebserkrankungen

In der Fallgruppe der Patientinnen nach RIT ($n = 11$) auf Grund eines Schilddrüsenkarzinoms wurde ein Brustkrebsfall diagnostiziert, in der Kontrollgruppe ($n = 90$) gab es dagegen keinen Brustkrebsfall. Dies würde in der Fallgruppe einer Inzidenz von 1 % entsprechen; eine Verallgemeinerung dieser Beobachtung ist wegen des geringen Stichprobenumfangs nicht zulässig. Bei den Patientinnen nach RIT wurden zudem drei Fälle von Zervixkarzinom beobachtet, in der Kontrollgruppe kein Fall. Die Unterschiede der Krebshäufigkeiten zwischen Fall- und Kontrollgruppe sind jedoch nicht signifikant.

5.3.4 Nebenbefunde bez. der Schilddrüsenerkrankung und deren Behandlung

In der Fallgruppe fanden sich – der Indikation zur RIT entsprechend - erwartungsgemäß signifikant häufiger Patientinnen mit Schilddrüsenkrebs in höheren Tumor-Stadien als in der Kontrollgruppe (T2-T4: 57 % vs. 9 %; N1: 60 % vs. 25 %, M1: 25 % vs. 0 %).

In der Kontrollgruppe nach nicht vollständiger Entfernung der Schilddrüse ohne RIT wurden zwei Rezidive entdeckt, in der Fallgruppe kein Fall. Bei der Patientinnen-Rekrutierung mussten im Vorfeld der Studie ca. 20 % der für die Kontrollgruppe vorgesehenen Frauen ohne RIT wegen eines Rezidivs in der Anamnese ausgeschlossen werden. Die damit deutlich geringere Rezidivhäufigkeit nach Thyreoidektomie und RIT spricht eindeutig für den Erfolg dieses Therapieansatzes auch in Tumorstadien mit scheinbar niedrigerem Risiko.

Bei 45 % der Patientinnen der Fallgruppe führte die Levothyroxin-Therapie zu der in höheren Tumorstadien gewünschten vollständigen TSH-Suppression. Die beobachtete TSH-Erhöhung im Sinne einer latenten Hypothyreose bei 7 % der Patientinnen der Fallgruppe ist als inakzeptabel zu bewerten und sollte durch häufigere Kontrollen der Hormonsubstitution und ggf. Anpassung der Levothyroxin-Dosis vermieden werden. Demgegenüber kam es bei 40 % der Patientinnen der Kontrollgruppe unter Levothyroxin zu einer vollständigen TSH-Suppression, was wegen möglicher Nebenwirkungen bei Patienten in niedrigen Tumorstadien wie in der Kontrollgruppe heute als nicht mehr adäquat betrachtet wird.

Die parathyreoprive Tetanie auf Grund einer unbeabsichtigten Mitentfernung der Nebenschilddrüsen ist eine typische Komplikation der Operation eines Schilddrüsenkarzinoms. Ein erniedrigter Parathormonspiegel war bei 35 % und ein erniedrigter Kalziumwert bei 36 % der Patientinnen der Fallgruppe festzustellen im Vergleich zu 9 % bzw. 21 % in der Kontrollgruppe. Die auffallend häufigen laborchemischen Zeichen einer parathyreopriven Tetanie vor allem in der Fallgruppe sind wohl darauf zurückzuführen, dass die Altersspannen in der Fallgruppe 4,2 - 18,0 Jahre und in der Kontrollgruppe 6,8 – 18,0 Jahre überdeckten und somit bei einem nicht unerheblichen Teil der Fälle technisch schwierige Schilddrüsenoperationen im frühen Kindesalter vorgenommen werden mussten. Die Substitution der parathyreopriven Tetanie mit Vitamin-D Präparaten bedarf regelmäßiger Kontrollen und ggf. Dosisanpassungen.

5.3.5 Nebenbefunde bez. der gynäkologischen Anamnese und Untersuchung

Die gynäkologische Untersuchung erbrachte in 51 % der Patientinnen der Fall- und in 36 % der Kontrollgruppe auffällige und im Einzelnen sehr unterschiedliche morphologische und funktionelle Befunde (mit 12 % am häufigsten Zervixerosionen in der Fallgruppe und entsprechend in 13 % Uterusfibrome (Myome) in der Kontrollgruppe).

Der auffälligste Nebenbefund war die hoch signifikant erhöhte Rate von Infertilität (nach WHO-Definition) von 23 % in der Fallgruppe gegenüber nur 4 % in der Kontrollgruppe. Entsprechend lag der Prozentsatz von Frauen, die schwanger wurden mit 76 % in der Fallgruppe deutlich niedriger als in der Kontrollgruppe mit 92 %. Zu den Ursachen dieses Unterschieds, der in dieser Form bisher nicht beobachtet wurde, kann derzeit nur spekuliert werden. Eine Rolle könnte außer der Strahlenexposition die Führung der Schilddrüsenhormontherapie einerseits und die Substitution der parathyreoopriven Tetanie andererseits spielen.

5.4 DATENANALYSE UND ERARBEITUNG VON EMPFEHLUNGEN

Die Frage nach einem erhöhten Risiko für Brustkrebs als Sekundär malignom nach RIT wegen eines Schilddrüsenkarzinoms ist insbesondere für jüngere Frauen von Bedeutung. Daten aus publizierten Studien und deren Bewertung durch internationale und nationale Gremien sind widersprüchlich und lassen keine eindeutige Abschätzung darüber zu, ob ein erhöhtes Brustkrebsrisiko nach Behandlung eines Schilddrüsenkarzinoms mit Radioiod besteht. Hierbei spielt eine nicht unwesentliche Rolle, dass wegen des - wenn überhaupt nur geringfügig um wenige Prozent erhöhten absoluten Risikos - kontrollierte Studien an größeren Kollektiven von Schilddrüsenkarzinom-Patientinnen nach RIT und Kontrollen ohne RIT erforderlich sind.

5.4.1 Anzahl der Frauen, die langfristig an der Studie teilnehmen müssen, um statistisch signifikante Ergebnisse zu erhalten

Aus den Darstellungen in AP 1 und nachfolgenden Berechnungen wird abgeleitet, dass der Umfang der Kohorten von Schilddrüsenkarzinom-Patientinnen unter 40 Jahren mindestens 4 340 nach RIT und 660 Kontrollen ohne RIT umfassen sollte. Damit ließe sich eine etwa dreifache Erhöhung des relativen Risikos für ein Mammakarzinom nach RIT mit statistischer Signifikanz erfassen. Nach der Kontaktaufnahme mit 10 Einrichtungen weltweit, die sich durch ihre Publikationen als qualifizierte Zentren für die Behandlung jüngerer Patienten mit Schilddrüsenkarzinom auswiesen, konnten für eine Folgestudie ca. 3 300 Patientinnen und 500 Kontrollen identifiziert werden.

5.4.2 Länderübergreifende Auflistung von Kooperationszentren, die sich bereit erklären, Personen für langfristige Untersuchungen zu rekrutieren

10 Studienzentren haben bisher Ihre Teilnahme unter der Voraussetzung einer ausreichenden Finanzierung einer Folgestudie zugesagt. Interesse an einer Folgestudie bekundeten zwei weitere Zentren der Columbia University New York, USA, und der niederländischen Arbeitsgruppe „Pediatric Thyroid Cancer“. Es ist davon auszugehen, dass durch konkrete Angebote zur finanziellen Kompensation des mit einer Folgestudie verbundenen Aufwands noch 2 - 3 weitere Studienzentren gewonnen werden können.

5.4.3 Bereitschaft der betreffenden Frauen, über einen längeren Zeitraum an der Folgestudie teilzunehmen

Die Folgestudie wäre im Optimalfall als prospektive kontrollierte Beobachtungsstudie im Rahmen der lebenslangen Nachsorge des Schilddrüsenkarzinoms zu planen. Hierfür wäre zusätzlich zum Nachsorgeprogramm für das Schilddrüsenkarzinom ein Brustkrebs-Screening in regelmäßigen, mindestens 2-jährigen Abständen über eine Beobachtungszeit von mindestens 20 Jahren durchzuführen - beginnend etwa 5 Jahre nach Operation des Schilddrüsenkrebses. Es erscheint aber unrealistisch, eine Beobachtungsstudie über einen solch langen Zeitraum an ca. 15 Zentren weltweit zu organisieren und zu finanzieren. Mit Schwierigkeiten ist auch bezüglich Motivation und Compliance der Untersuchungskollektive über einen solch langen Zeitraum zu rechnen.

Als Alternative käme eine Querschnittstudie im Rahmen eines nach den jeweiligen Standards anstehenden Nachsorgetermins für das Schilddrüsenkarzinom in Frage. Da nicht alle Patientinnen konsequent jährliche Nachsorgetermine wahrnehmen, sollten für die Folgestudie mindestens 3 Jahre angesetzt werden. Es ist davon auszugehen, dass die Bereitschaft der Schilddrüsenkarzinom-Patientinnen zur Mitarbeit an einer solchen zeitlich begrenzten Studie ausgesprochen hoch ist.

5.4.4 Auflistung der obligatorischen bzw. fakultativen Untersuchungen

Für das Brustkrebs-Screening käme unter Berücksichtigung des Stands der internationalen Empfehlungen primär die Mammographie in Betracht. Durch die damit verbundene Strahlenexposition ist sie aus ethischen

Gründen bei der Folgestudie an jüngeren Patientinnen mit einem allenfalls gering erhöhten Risiko für ein Mammakarzinom kaum vertretbar. Deshalb und unter dem Aspekt der Machbarkeit wurde für das Screening die Kombination aus klinischer Untersuchung und Mamma-Sonographie gewählt. Dieses Screening-Programm steht in Übereinstimmung mit den Empfehlungen der internationalen Gruppe zur Harmonisierung der Richtlinien zum Brustkrebs-Screening bei weiblichen Überlebenden von Krebserkrankungen im Kindes-, Jugend- oder jungen Erwachsenenalter nach Strahlenexposition der Brust, in denen als Basisuntersuchung eine klinische Untersuchung (Inspektion und Palpation) und eine Ultraschalluntersuchung der Brust empfohlen wird.

Nach den Ergebnissen systematischer Untersuchungen ist für die Palpation als klinische Untersuchung zur Entdeckung des Brustkrebses von einer Sensitivität von 94 % und einer Spezifität von 54 % auszugehen. Speziell bei jüngeren Frauen (< 40 Jahre) mit auffälligen Befunden bei der Palpation und/oder klinischen Symptomen kann die Ultraschalluntersuchung der Brust zu einer zwar nur unwesentlichen Erhöhung der Sensitivität auf 96 % bei allerdings sehr deutlicher Steigerung der Spezifität auf 89 % führen. Trotzdem bedingt die mit der Spezifität von 89 % verbundene zu erwartende Rate von ca. 10 % falsch positiven Befunden eine nicht zu unterschätzende Einschränkung für eine Folgestudie an 5 000 Patientinnen, da sie bei rund 500 Frauen zu einer ergänzenden Mammographie als notwendiger Folgeuntersuchung führen wird.

5.4.5 Zeitlicher und finanzieller Aufwand

Im Rahmen der Machbarkeitsstudie entstand ein relativ großer Aufwand für die Durchführung der einzelnen Arbeitspakete mit der wissenschaftlichen Analyse des Status quo (AP 1), der Suche nach Partnern für eine Folgestudie und die Recherche nach den an den Standorten verfügbaren Daten zu möglichen Studienkollektiven (AP 2), der praktischen Erprobung eines umfangreichen Studienprotokolls mit obligatorischen und fakultativen Anteilen in Zusammenarbeit mit den Kolleginnen in Minsk (AP 3) und der Analyse der erhobenen Daten in Hinblick auf eine mögliche Folgestudie (AP 4).

Das Programm für eine Folgestudie kann auf das Brustkrebs-Screening beschränkt werden. Außer der Untersuchung der Patientinnen bedarf es einer sehr guten Studienorganisation durch eine speziell zu etablierende Studienzentrale, die auch das Studienregister führt, sowie speziell geschulter und für die Tätigkeit im Rahmen der Studie finanzierter Mitarbeiter/innen an den jeweiligen Studienzentren. Deren vielfältige Aufgaben beinhalten die Identifikation und Einbestellung studiengeeigneter Patientinnen, Information über das Studienziel, Organisation der Untersuchungen, Datenerfassung und Qualitätskontrolle sowie Kommunikation mit der Studienzentrale.

Das Untersuchungsprogramm für die Folgestudie – bestehend aus Palpation und Ultraschalluntersuchung – ist zwar nicht sehr arbeitsaufwändig. Nach den Sätzen der deutschen Gebührenordnung für Ärzte (GOÄ) würden Kosten pro Untersuchung in Höhe von rund 65 € plus 25 % Overhead für Infrastrukturkosten, also insgesamt ca. 85 € entstehen. Zur Sicherheit sollte wegen der in anderen Ländern wie z. B. den USA mit 300 - 400 \$ zu erwartenden deutlich höheren Kosten von einem Kostensatz von durchschnittlich 200 € für das Brustkrebs-Screening ausgegangen werden. Für das Brustkrebs-Screening von 5 000 Patientinnen à 200 € ergibt sich somit eine Summe 1 000 T€. Auf Grund der mit 89 % für ein Screeningverfahren niedrigen Spezifität der Mammasonographie bedarf es bei rund 10 % der gescreenten Patientinnen mit auffälligen Befunden einer weitergehenden Diagnostik mittels Mammographie; hierfür sind je 100 € für die Mammographie von 500 Patientinnen, also 50 T€ anzusetzen. Für den personellen Aufwand der zentralen und dezentralen Studienorganisation sind folgende Kosten anzusetzen: Für die Studienzentrale (1 Wissenschaftler, 1 Informatiker à ca. 100 T€ für 3 Jahre = 600 T€; 2 Dokumentare à ca. 60 T€ für 3 Jahre = 360 T€ + 25 % Overhead auf 960 T€ = 240 T€) sind insgesamt 1 200 T€ anzusetzen. Für die teilnehmenden 15 Studienzentren (15 Dokumentare (50 %) = 7,5 Stellen à ca. 60 T€ für 3 Jahre = 450 T€ + 25 % Overhead auf 450 T€ = 113 T€) werden insgesamt 563 T€ angesetzt. Kosten für Software für das Studienregister betragen geschätzt 200 T€.

Insgesamt ergeben sich Kosten für Screening und weitergehende Diagnostik von 1050 T€, Personalkosten für die Studienorganisation von 1 763 T€ und Kosten für Studiensoftware von 200 T€. Die geschätzten Gesamtkosten für die Folgestudie belaufen sich somit auf ca. 3,0 Mio. €.

5.4.6 Datensicherheit/Datenschutz

Die Vorgaben bez. Datensicherheit und Datenschutz bei der Machbarkeitsstudie konnten alle eingehalten werden, wobei zu berücksichtigen ist, dass die Studienzentrale in Würzburg und das Studienzentrum in Minsk seit ca. 20 Jahren eng zusammenarbeiten und eine gemeinsam entwickelte Infrastruktur in Form eines geschützten, web-basierten Registers für kindliche Schilddrüsenkarzinome bereits existierte. Für eine Folgestudie sollte dieses Register durch eine Datenbank für elektronische Akten von Studienpatienten ersetzt werden, wobei hierbei auf kommerzielle Produkte zurückgegriffen werden kann.

5.4.7 Patientenrechte / ethische Fragen

Das geringe Risiko für ein Mammakarzinom nach RIT eines Schilddrüsenkarzinoms bei Jugendlichen und jungen Erwachsenen (< 40 Jahre) wirft die Frage nach der Rechtfertigung eines systematischen Brustkrebs-Screenings mit bildgebenden Verfahren zu Studienzwecken auf. Weltweit wird wegen der damit verbundenen Strahlenexposition davon Abstand genommen, die Mammographie zum Brustkrebscreening bei Frauen < 40 Jahre einzusetzen, da sie mit einem, wenn auch geringen Risiko behafteten sind.

Bei Abwägung des Nutzens einer möglicherweise frühzeitigen Erkennung eines Mammakarzinoms spielen Überlegungen zur Treffsicherheit von Screening-Verfahren generell und zur sogenannten „Überdiagnose“ eine erhebliche Rolle. Verfahren für das Massenscreening sollten generell eine möglichst hohe Spezifität von nahezu 99 % aufweisen (bei ausreichender Sensitivität in der Größenordnung von 95 %). Bei niedrigerer Spezifität resultiert eine u. U. hohe Rate falsch positiver Befunde in der Größenordnung von 5 % bei der Mammographie und von 10 % bei der Mammasonographie in Kombination mit der Palpation. Bei einem Studienkollektiv von 5 000 Patientinnen ist daher mit 500 Verdachtsfällen für ein Mammakarzinom zu rechnen, ohne dass Brustkrebs tatsächlich besteht. Betroffene Patientinnen werden durch den Malignitätsverdacht und die notwendige Mammographie zum Ausschluss eines Karzinoms hochgradig verunsichert und u. U. längere Zeit psychisch belastet. Auf der anderen Seite stellt sich selbst im Falle eines durch das Screening frühzeitig richtig diagnostizierten kleinen Mammakarzinoms und der nachfolgenden Operation die Frage, ob und wann der Tumor klinisch relevant geworden wäre. Man spricht hier von *Überdiagnose* als der Diagnose einer Erkrankung, die sich ohne eine Untersuchung nie bemerkbar gemacht und keine Beschwerden ausgelöst hätte. „Überdiagnosen“ können wie falsch positive Ergebnisse von Screening-Untersuchungen schaden, wenn sie psychisch belasten und überflüssige Behandlungen nach sich ziehen.

5.5 ZUSAMMENFASSENDE BEWERTUNG

Die Machbarkeitsstudie zeigte, dass eine Folgestudie an ca. 5 000 Schilddrüsenkarzinom-Patientinnen < 40 Jahre (4 340 nach RIT, 660 Kontrollen) in Zusammenarbeit von ca. 15 Studienzentren weltweit prinzipiell machbar ist. Der organisatorische Aufwand und die Kosten für eine solche Studie sind mit ca. 3 Mio. € jedoch nicht unerheblich. Außerdem erscheint ein Brustkrebscreening bei einem größeren Patientinnen-Kollektiv mit einem allenfalls gering erhöhten Brustkrebsrisiko nach RIT wegen der zu erwartenden hohen Rate falsch positiver Befunde von 10 % und einer nicht genauer zu beziffernden Zahl von „Überdiagnosen“ als ethisch kaum vertretbar. Diese Bedenken treffen auf das Kontrollkollektiv, bei dem keine Strahlenexposition als risikohöherer Faktor zum Tragen kommt, in noch größerem Ausmaß zu.

Andererseits ergab die Machbarkeitsstudie eine Reihe von Nebenbefunden, die einer besonderen Beachtung bei der Therapie und Nachsorge des Schilddrüsenkarzinoms bedürfen, etwa ein erhöhtes Rezidivrisiko bei nicht vollständig thyreoidektomierten und mit Radioiod nachbehandelten Patientinnen, die Notwendigkeit der engen Führung der Patientinnen und die sorgfältige Überwachung der Therapie mit Schilddrüsenhormonen und ggf. bei parathyreopriver Tetanie auch mit Vitamin-D-Präparaten.

Forschungsbedarf ergibt sich insbesondere zur Frage einer erhöhten Infertilitätsrate nach RIT wegen eines Schilddrüsenkarzinoms, die in 23 % der Fälle dieser Gruppe und damit rund sechsmal häufiger als in der Kontrollgruppe beobachtet wurde. Eine Folgestudie zu dieser Thematik dürfte im Vergleich zum Brustkrebsrisiko mit wesentlich geringeren Fallzahlen durchführbar sein.

6. UMSETZUNG DER ERGEBNISSE

Aus strahlenhygienischer Sicht ist eine systematische Erfassung von Brustkrebs als Folge einer Radioiodtherapie von besonderer Bedeutung, da die Radioiodtherapie eine gängige Form der Therapie bösartiger Schilddrüsentumoren und gegebenenfalls auch gutartiger Erkrankungen der Schilddrüse ist (ca. 60 000 Radioiodtherapien gutartiger und bösartiger Schilddrüsenerkrankungen pro Jahr, s. Jahresbericht BMU 2004).

Die Klärung des Nutzen/Risiko-Verhältnisses bei der Strahlentherapie, hier der möglichen Induktion des Zweittumors Brustkrebs nach RIT, ist insbesondere für junge Patienten von Bedeutung und dient dem BMU als Entscheidungsgrundlage für die Vorbereitung bzw. Umsetzung von rechtlichen Regelungen (z. B. „rechtfertigende Indikation“ gemäß § 80 StrlSchV, resp. „Richtlinien Strahlenschutz in der Medizin“).

Die Ergebnisse der Machbarkeitsstudie legen nahe, dass ein Brustkrebscreening bei einem größeren Kollektiv von Schilddrüsenkarzinom-Patientinnen mit einem allenfalls gering erhöhten Mammakarzinomrisiko nach RIT ethisch kaum vertretbar ist. Forschungsbedarf ergibt sich jedoch zur Frage einer erhöhten Infertilitätsrate nach RIT auf Grund eines Schilddrüsenkarzinoms.

Themenbereich 05
Radioökologie

Subject area 05
Radioecology

Thema			
Messtechnische und modellbasierte Abschätzung des Eintrags von I-131 in die OSPAR-Regionen auf Grund der nuklearmedizinischen Anwendungen von Radioiod in Deutschland			
Subject			
<i>Measurements and modelling of I-131 fluxes from nuclear medical applications in Germany into the OSPAR region</i>			
Kennzeichen	Beginn	Ende	Fördermittel
3614S50015	01.05.2015	31.10.2017	EUR 359.432,-
Forschungs- / Auftragnehmer			
Nuclear Control & Consult GmbH, Braunschweig			
Projektleitung	Fachbetreuung BfS	verantwortlich für den Text	
Dr. R. Gellermann	Dr. Chr. Strobl / SW 1.4	Dr. R. Gellermann	

1. ZIELSETZUNG

Im Rahmen des von 2011 bis 2013 durchgeführten Vorhabens „Messtechnische und theoretische Abschätzung des Eintrags von I-131 in die OSPAR¹⁾-Regionen auf Grund der nuklearmedizinischen Anwendung von Radioiod in Deutschland" wurden Einträge von I-131 aus Kläranlagen in große Flüsse und daraus resultierende I-131-Frachten aus deutschen Oberflächengewässern in die OSPAR-Regionen ermittelt. Dabei wurde eine Diskrepanz zwischen der aus Messergebnissen abgeschätzten I-131-Einleitung und den tatsächlich ermittelten I-131-Frachten in Flüssen festgestellt. Ziel des hier berichteten Vorhabens war es, weitere messtechnische Untersuchungen durchzuführen, um den Prozess und die möglichen Ursachen für die Rückhaltung und den Zerfall von I-131 zu prüfen und weitere Erkenntnisse zur Verbesserung der Modellgrundlagen zu gewinnen.

2. EINZELZIELSETZUNG

2.1 TEILZIELE

- Klärung des Einflusses der Kläranlagentechnologie auf die Aktivitätsbilanzen von I-131 und I-129 in den Kläranlagen
- Quantifizierung von Transportprozessen und Eingrenzung von Bilanzverlusten anhand ergänzender Messungen von I-131 im Ablauf und im Nahbereich der Einleitstellen von Kläranlagen
- Klärung der Bilanzanteile von I-131 in Zuflüssen aus dem Ausland und aus großen Nebenflüssen von Elbe, Weser, Ems und Rhein auf die Gesamtfrachten an I-131
- Ermittlung weiterer Basisdaten für eine Bilanzierung der I-131-Einträge mittels des Bilanzmodells OSBIMO in die Nordsee.

2.2 ARBEITSPAKETE

Im Vorhaben waren die folgenden Arbeitspakete zu bearbeiten:

- Bilanzierung von I-131 und I-129 in Wasserproben von vier vom Forschungsnehmer auszuwählenden Kläranlagen, die für den Eintrag von Radioiod in den Nordostatlantik relevant sind (AP 1)
- Messungen zur Ermittlung der räumlichen Verteilung der Aktivitätskonzentration von I-131 im Nahgebiet der Einleitstellen von vier vom Forschungsnehmer auszuwählenden Kläranlagen, die für den Eintrag von Radioiod in den Nordostatlantik relevant sind (AP 2)
- Bestimmung der Frachten von I-131 in für die Bilanzierung relevanten Nebenflüssen und Übergangsstellen der Hauptgewässer ins deutsche Hoheitsgebiet (AP 3)
- Ermittlung von organisch gebundenem I-131 in Biofilmen/Algen und Bilanzierung der damit einhergehenden Frachten (AP 4).

¹⁾ Oslo-Paris-Konvention zum Schutz der Meeresumwelt der Nordsee und des Nordostatlantiks

3. METHODIK

Zur Umsetzung der Aufgabenpakete wurde folgende Methodik realisiert:

- Analyse der Kläranlagentechnologie im Hinblick auf die Rückhaltung von I-131 in den Prozessschritten
- Auswahl von unterschiedlichen Kläranlagen unter Beachtung der jeweiligen Prozessschritte in den Anlagen und der Gewässerparameter im Nahgebiet der Einleitstellen
- Analyse von potenziellen I-131-Frachten in Nebenflüssen anhand der Kennziffer „Einwohner im Einzugsgebiet/Abfluss“ und Auswahl von Nebenflüssen sowie Probenentnahmestellen an Oberläufen von Elbe, Weser, Ems und Rhein für das Untersuchungsprogramm. Bei der Auswahl wurde eine unterschiedliche Größe der bilanzrelevanten Einzugsgebiete angestrebt.
- Durchführung der Probenentnahmen und Bestimmung von I-131 mittels Gammaskopie (Ausführung IUP Bremen, KIT Karlsruhe, VKTA Rossendorf) sowie von I-129 mittels AMS (Ausführung über IRS Hannover). Zur Qualitätssicherung der I-131-Analytik wurden Laborvergleichsmessungen an Flusswasserproben realisiert.
- Ergänzende Datenermittlung von Abflussdaten der untersuchten Gewässer und der Kläranlagen sowie von Einwohnerzahlen in untersuchten Einzugsgebieten
- Auswertung der gewonnenen Ergebnisse mit Ermittlung von I-131-Frachten.

4. DURCHFÜHRUNG

4.1 UNTERSUCHUNG VON KLÄRANLAGEN

Die Kläranlagen Hannover-Gümmerwald, Gütersloh, Hamburg-Köhlbrandhöft/Dradenau und Dinslaken (Em-scher-Kläranlage) wurden monatlich beprobt. Untersucht wurde I-131 im Kläranlagenzulauf (unfiltriert) sowie getrennt in eine gelöste Fraktion (Filtrat 0,45 µm) und eine partikuläre Fraktion (Filtrerrückstand) im Kläranlagenablauf. In der Kläranlage Hannover-Gümmerwald wurde neben I-131 auch das langlebige Radionuklid I-129 mit untersucht.

4.2 UNTERSUCHUNG IM NAHBEREICH VON EINLEITSTELLEN

Ergänzend zu den Untersuchungen in den Kläranlagen wurden im Abstand von 2 Monaten die I-131-Konzentrationen der Flüsse vor und nach Einleitstellen der Kläranlagen bestimmt. Dabei wurden in der Regel Querprofile über das gesamte Gewässer entnommen, um eine repräsentative Frachtbestimmung ausführen zu können.

4.3 UNTERSUCHUNG VON NEBENFLÜSSEN UND OBERLÄUFEN

Als Nebenflüsse wurden die Saale als Nebenfluss der Elbe, die Aller als Nebenfluss der Weser, die Werse als Nebenfluss der Ems und die Flüsse Main, Ruhr und Lippe als Nebenflüsse des Rheins ausgewählt. Die Probenentnahmestellen der Nebenflüsse wurden nach Möglichkeit in die Nähe der jeweiligen Mündung in den Hauptfluss gelegt, die Probenentnahmestellen der Oberläufe von Elbe und Rhein an die Stellen des vollständigen Übertritts in deutsches Staatsgebiet, bei der Weser an den Zusammenfluss von Werra und Fulda und bei der Ems auf eine Abflussposition mit nur zwei Kläranlagen im zugehörigen Einzugsgebiet.

4.4 UNTERSUCHUNG VON BIOFILMEN

In Flussabschnitten, in denen die I-131-Frachten der Kläranlagen räumlich aufgelöst untersucht wurden, wurden am Gewässerbett Algen und Biofilme von Wasserbausteinen und gezielt eingebrachten Betonplatten beprobt, um die möglichen Senken von I-131 im Gewässer ermitteln zu können.

5. ERGEBNISSE

5.1 KLÄRANLAGEN (AP 1)

Die aus den Untersuchungen an Abwasserproben von Kläranlagen im Jahr 2016 erhaltenen Ergebnisse sind in Tabelle 1 aufgeführt. Unter Bezug auf eine Empfehlung des BLAK-Arbeitskreises „Internationale Berichtspflichten zu punktförmigen Abwassereinleitungen / Einheitliche Berechnungsmethode zur Frachtermittlung im

Abwasser“ wurden Messwerte unter der Nachweisgrenze mit dem halben Wert der Nachweisgrenze berücksichtigt.

Tabelle 1: Ermittelte Kennzahlen von I-131 im Abwasser von Kläranlagen im Jahr 2016

	Hamburg	Hannover	Gütersloh	Dinslaken
I-131 im Zulauf in Bq/m ³ , Mittelwert	187	163	386	105
Wertebereich (Min – Max)	(27-447)	(22-534)	(18-2136)	(<37-428)
I-131 im Ablauf in Bq/m ³ , Mittelwert	168	69	139	68
Wertebereich (Min – Max)	(104-257)	(<27-290)	(16-287)	(27-135)
Ablaufmenge in 1000 m ³ /d, Mittelwert	429	94	19,3	1109
Zahl der Einwohner (EW)/1000 im Einzugsgebiet der Kläranlage	1960	410	75	2100
Einwohnerbezogene I-131-Fracht im Zulauf kBq/EW/a	14,1	12,7	29,8	19,8
Einwohnerbezogene I-131-Fracht im Ablauf kBq/EW/a	12,8	6,6	12,4	17,7

Eine ergänzende Auswertung von Daten aus dem IMIS-Messprogramm ergab für Kläranlagen, bei denen mindestens 50 % der Messwerte über der Bestimmungsgrenze lagen, die in Tabelle 2 aufgeführten Ergebnisse.

Tabelle 2: Aus IMIS-Daten ermittelte Kennzahlen von I-131 im Abwasser von Kläranlagen

Anzahl auswertbare Kläranlagen	Einwohner	Fracht I-131 in kBq/EW/a			
10	> 200 000	6,3	13,3	5,9	20,6
7	100 000 - 199 000	6,4	10,7	6,4	24,9
9	unter 100 000	1,9	8,4	4,3	14,9

Die Ergebnisse stützen die im Vorläuferprojekt erhaltenen Befunde im Hinblick auf die einwohnerbezogenen I-131-Frachten im Ablauf von Kläranlagen. Aus allen bisher erhobenen Daten kann eine einwohnerbezogene Fracht von (12 ± 4) kBq/EW/a als repräsentativ für die Abschätzung der Einleitungen von I-131 über Kläranlagen in Gewässer abgeleitet werden. Die I-131-Fracht in den Zuläufen zu den Kläranlagen ist deutlich höher als die im Ablauf, wobei die Rückhaltung in den einzelnen Kläranlagen unterschiedlich ausfällt. Die Rückhaltung von I-131-Frachten in den Kläranlagen liegt bei den Kläranlagen Hannover und Gütersloh bei ca. 50 % bis 60 %, bei den beiden sehr großen Anlagen in Dinslaken und Hamburg nur bei ca. 10 %.

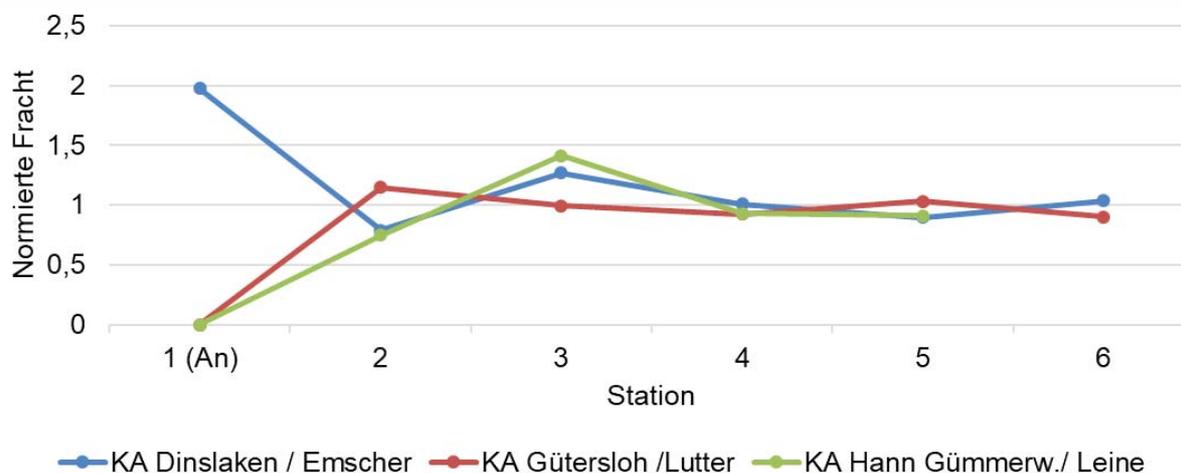
Die in Tabelle 3 zusammengefassten Messergebnisse von I-129 und I-127 im Abwasser der Kläranlage Hannover-Gümmerwald ordnen sich in die bisherigen Kenntnisse zu I-129 in Oberflächengewässern in Niedersachsen ein. Effekte durch das nuklearmedizinische Radioiod wurden nicht gefunden.

Tabelle 3: Messergebnisse von I-129 und I-127 im Abwasser der Kläranlage Hannover-Gümmerwald

	I-129 g/kg	I-127 g/kg
Zufluss, gelöst (Mittelwert 6 Messungen)	1,6E-13	3,10E-05
Zufluss, partikulär (Mittelwert 4 Messungen)	1,0E-14	4,60E-07
Abfluss, gelöst (Mittelwert 7 Messungen)	9,1E-14	2,90E-05
Abfluss, partikulär (Mittelwert 5 Messungen)	9,4E-15	4,60E-07
Vergleichswert Oberflächengewässer Niedersachsen	1,0E-13	6,60E-06

5.2 NAHFELD VON EINLEITSTELLEN (AP 2)

Bei den Untersuchungen im Nahfeld der Einleitstellen wurden Fließstrecken von 2,1 km (Obere Lutter) bis zu 11 km (Leine) erfasst. Da die Einzelwerte der gemessenen Konzentrationen stark schwanken, wurden als Kennziffern die auf den jeweiligen Mittelwert der am Probenentnahmetag im Abstrom der Kläranlage ermittelten Frachten normierte Verhältniswerte errechnet. Das Ergebnis dieser Auswertung ist in Abbildung 1 dargestellt. Bei der Elbe lagen die meisten Messwerte unter der Nachweisgrenze, so dass hierfür eine entsprechende Auswertung nicht möglich war.



Normierte I-131-Frachten im An- und Abstrom von Einleitstellen der untersuchten Kläranlagen

Die Ergebnisse zeigen für alle im Abstrom gelegenen Stationen sehr konstante Werte um den Wert 1 auf. Ein Trend, der auf eine effektive Senke von I-131 im Gewässer hinweist, kann aus diesen Ergebnissen nicht abgeleitet werden.

Während der Anstromwert „Null“ für die Obere Lutter plausibel ist, da im Anstrom keine weitere Kläranlage einleitet, ist der dargestellte Wert „Null“ für die Leine ein Ergebnis der Datenbehandlung im Bilanzverfahren, bei dem im Falle von mehr als 90 % Messwerten unter der Nachweisgrenze die Fracht als „Null“ auszuweisen ist. Die höhere Anstromfracht der Emscher ist auf die Besonderheit dieser Kläranlage, die das gesamte Gewässer reinigt, zurückzuführen.

5.3 OBERLÄUFE UND NEBENFLÜSSE (AP 3)

In den Oberläufen vom Rhein und der Weser sowie in der Aller lagen alle 6 Messwerte der I-131-Konzentration, bei der Saale 5 Messwerte unter der Nachweisgrenze. Die höchsten Einzelmesswerte wurden in der Werse mit 67 Bq/m^3 und der Lippe mit 71 Bq/m^3 festgestellt.

Um eine Grundlage für Bilanzbetrachtungen zu erhalten, wurden aus den Messwerten unter Benutzung von Abflussdaten an Referenzpegeln Frachten errechnet. Angelehnt an die „Einheitliche Berechnungsmethode zur Frachtermittlung im Abwasser“ wurden Einzelmesswerte unter der Nachweisgrenze mit dem halben Wert des Messwertes berücksichtigt, soweit mindestens 1 Messwert oberhalb der Nachweisgrenze vorlag. Aus den Einzelwerten der jeweils 6 Messungen wurden Mittelwerte der Frachten errechnet und durch Bezug auf die Einwohnerzahl im Einzugsgebiet (ggf. korrigiert um hydrologisch abgekoppelte Teileinzugsgebiete) einwohnerbezogene Frachten bestimmt. Die Ergebnisse dieser Auswertung sind in Abbildung 2 in Abhängigkeit vom mittleren Abfluss der Gewässer zu den Probenentnahmen dargestellt. Flüsse, bei denen alle Messwerte unter der Nachweisgrenze lagen, wurden mit einem Wert von $0,1 \text{ kBq/a/Einwohner}$ eingetragen.

Ergänzend zu den Ergebnissen des Messprogramms an Oberläufen und Nebenflüssen wurden auch Messergebnisse aus dem AP 2, die eine analoge Information enthalten, mit ausgewertet. Bei der Oberen Lutter (Abstrom Kläranlage Gütersloh, mittlerer Abfluss ca. $1\text{E}+5 \text{ m}^3/\text{d}$) stimmt die einwohnerbezogene Fracht mit dem im AP 1 ermittelten Wert weitgehend überein. Bei der Emscher (Kläranlage Dinslaken, Abfluss ca. $1\text{E}+6 \text{ m}^3/\text{d}$) lag die im Gewässer ermittelte Fracht niedriger als aus den Messwerten im Kläranlagenablauf zu erwarten war. Bei der Leine (Kläranlage Hannover-Gümmerwald) wurde als Maßstab zum Einwohnerbezug die Gesamtzahl der Einwohner in den stromoberhalb gelegenen Teileinzugsgebieten zuzüglich der Einwohnerzahl von Hannover (in Summe 1,47 Mio.) verwendet.

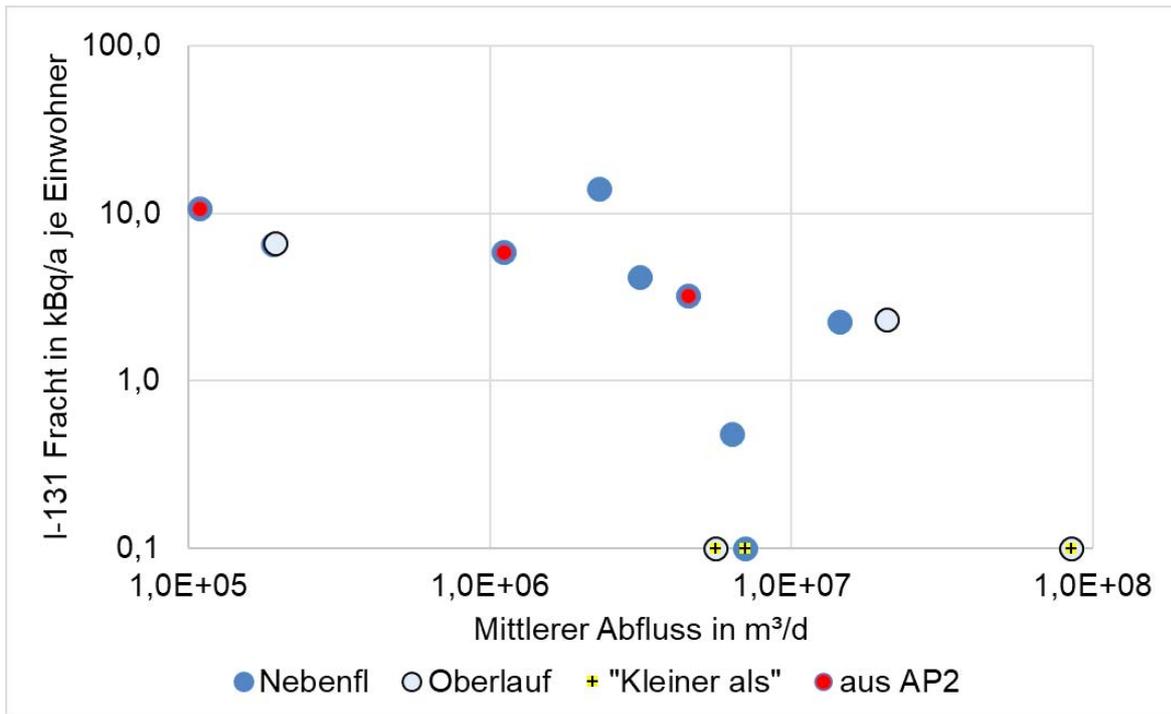


Abbildung 1: Einwohnerbezogene Frachten in Oberläufen und Nebenflüssen

Die Auswertung zeigt, dass mit Ausnahme der Lippe und der Lutter in allen anderen Einzugsgebieten geringere einwohnerbezogene Frachten ermittelt wurden als auf der Basis der Kläranlageneinleitungen zu erwarten war. Ein klarer Trend ist aber aus den bisherigen Daten nicht abzuleiten.

Da im hier berichteten Projekt vor allem die großen Einzugsgebiete nur mit einfachen Kennziffern charakterisiert werden konnten, ist eine genauere Betrachtung auf der Basis detaillierterer hydrologischer Daten Inhalt eines Ergänzungsprojektes (3616S72570 „Modellbasierte Ermittlung des Eintrags von I-131 in die OSPAR-Regionen des Nordostatlantiks auf Grund von nuklearmedizinischen Anwendungen mit Radioiod in Deutschland“).

5.4 I-131 IN BIOMASSE

An den Proben des Biomaterials wurden zusätzlich zur Bestimmung der I-131-Aktivität auch Feuchtmasse, Trockenmasse und Aschemasse bestimmt. Die Differenz von Trockenmasse und Aschemasse kann als Indikator der Biomasse interpretiert werden. Die auf die so bestimmte Biomasse bezogenen I-131-Aktivitäten sind in Abbildung 3 in Relation zur mittleren I-131-Konzentration im jeweiligen Gewässer dargestellt. Die I-131-Konzentrationen im Gewässer wurden als Mittelwert der im AP 2 gemessenen I-131-Konzentrationen in den Gewässern ermittelt. Da bei der Elbe die Messwerte unter den Nachweisgrenzen lagen, wurde die Konzentration aus der mittleren Einleitfracht der Kläranlage Hamburg (69 MBq/d) und dem mittleren Abfluss (MQ) am Pegel Neu Darchau (705 m³/s) zu etwa 1 Bq/m³ abgeschätzt. Mit diesem Konzentrationswert wurde auch eine Probe aus dem Mündungsbereich der Emscher in den Rhein belegt.

Im Diagramm der Abbildung 3 ist ein tendenzieller Zusammenhang von I-131 in der Biomasse und der mittleren I-131-Konzentration im Gewässer zu erkennen. Die eingezeichnete Gerade entspricht einem Zusammenhang

$$K = \frac{C(I-131)_{\text{Bio}}}{C(I-131)_{\text{Wasser}}} = 10 \frac{\text{m}^3}{\text{kg}}$$

Dieses Verhältnis stimmt zahlenmäßig exakt mit dem K_F -Wert für die Anlagerung von Elementen an Schwebstoffe gemäß Anlage 14 der Allgemeinen Verwaltungsvorschrift zu § 47 StrlSchV (AVV) überein. Es ist hier allerdings nicht als Verteilungskoeffizient von Schwebstoffen aufzufassen, sondern als Parameter zur Beschreibung einer Stoffsenke für I-131 in Fließgewässern. Die Bedeutung dieses Parameters für die Abnahme von I-131-Frachten im Gewässer wird im Ergänzungsprojekt (3616S72570) untersucht.

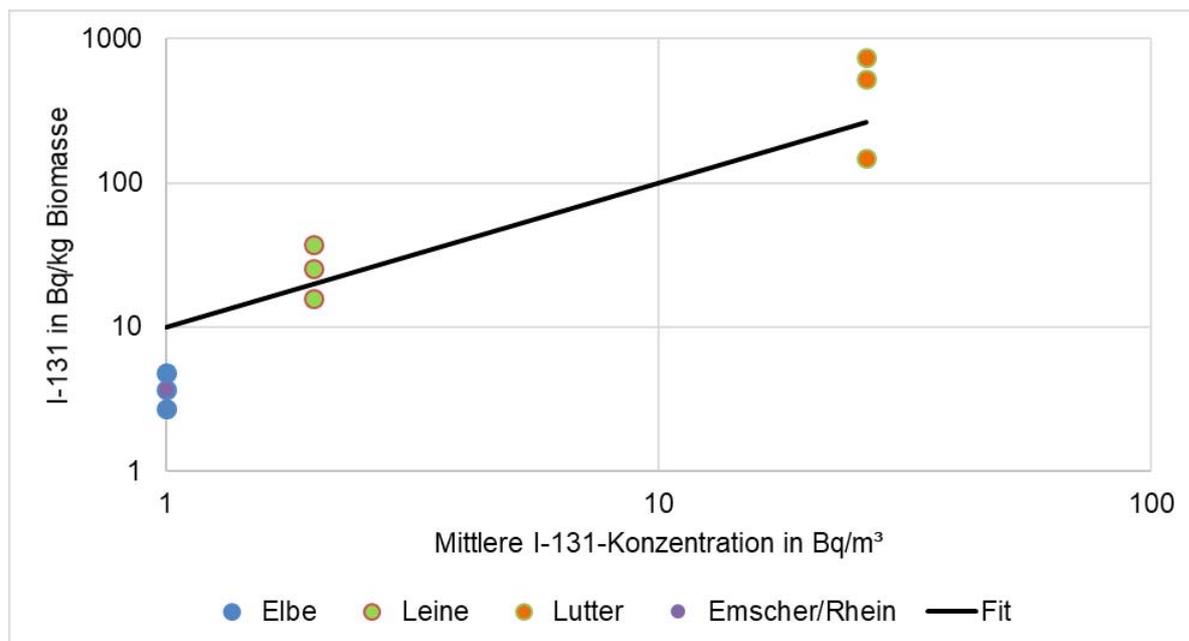


Abbildung 2: I-131 in Biomasse in Relation zur I-131-Konzentration der Gewässer

6. UMSETZUNG DER ERGEBNISSE

Im Rahmen der Abschätzung des Eintrags von I-131 in die OSPAR-Regionen auf Grund nuklearmedizinischer Anwendungen von Radioiod in Deutschland wurden dem Radioactive Substances Committee (RSC) der OSPAR Kommission bereits erste Einzelergebnisse dieses Forschungsvorhabens vorgestellt.

Abschließende Ergebnisse und deren Bewertung werden als eigenständiger Bericht dem RSC demnächst vorgelegt und zusätzlich im nächsten Implementation Report 2020 im Themenbereich „Nuklearmedizinische Ableitungen“ mit aufgenommen werden.

Themenbereich 06
Notfallschutz

Subject area 06
Emergency management

Thema			
Entscheidungsregeln bei kerntechnischen Unfällen: Anwendung von Entscheidungskonzepten für dringende Schutzmaßnahmen			
Subject			
<i>Decision rules at nuclear accidents: application of decision concepts for urgent safety measures</i>			
Kennzeichen 3615S62536	Beginn 01.03.2016	Ende 31.10.2016	Fördermittel EUR 100.734,-
Forschungs- / Auftragnehmer TÜV SÜD Industrie Service GmbH, München			
Projektleitung Dr. R. Mameghani	Fachbetreuung BfS Dr. F. Gering / SW 2.2	verantwortlich für den Text Dr. R. Mameghani, Dr. F. Gering	

1. ZIELSETZUNG

Bei Unfällen in kerntechnischen oder radiologischen Anlagen mit erheblichen radiologischen Auswirkungen muss davon ausgegangen werden, dass die Informationslage hinsichtlich des Anlagenzustandes zu einem frühen Zeitpunkt noch unvollständig ist und damit weder belastbare Ausbreitungsrechnungen noch Dosisabschätzungen vorliegen. Es sollten daher auf Basis von bereits vorhandenen Ausbreitungs- und Dosisberechnungen des BfS mit dem Programmsystem RODOS für eine Reihe von angenommenen Unfallszenarien einfache erste Entscheidungskriterien für Notfallmaßnahmen abgeleitet werden.

2. EINZELZIELSETZUNG

Das Projekt gliederte sich in drei Arbeitspakete (AP).

2.1 DATENERHEBUNG (AP 1)

Die vom BfS bereitgestellten RODOS-Datensätze sollten in der gewählten Programmiersprache eingelesen werden. Es sollten Eigenschaften von Gebieten identifiziert werden, in denen für die jeweilige Aktivitätskonzentration oder Strahlendosis ein vorgegebener Richtwert überschritten wird. Unter Anwendung von Verfahren des maschinellen Lernens war eine geeignete Methode zur Erkennung der auftretenden räumlichen Muster zu ermitteln. Es waren insgesamt 10 verschiedene Kombinationen aus Quellterm und Anlagenstandort zu betrachten, wobei der Fokus auf exemplarischen Simulationen für die Kernkraftwerke Grohnde und Philippsburg lag.

2.2 ANALYSE (AP 2)

Für die Gebiete mit Richtwertüberschreitungen sollte die Abhängigkeit von einfachen meteorologischen Parametern betrachtet werden, welche dann auch in die Beschreibung der räumlichen Muster mit einfließen. Insgesamt waren für alle Datensätze jeweils 12 verschiedene Dosisgrößen bzw. Richtwerte zu untersuchen.

2.3 ENTSCHEIDUNGSREGELN (AP 3)

Es war eine Programmroutine zu erstellen, welche auf Grund der vorhandenen meteorologischen Parameter Entscheidungskriterien dazu liefert, in welchen Gebieten Richtwertüberschreitungen zu erwarten sind. Diese sollten durch WENN-DANN-Bedingungen festgelegt werden. Zusätzlich waren die erzielten Ergebnisse durch Vergleich von Prognosewerten mit Simulationsdaten zu validieren.

3. METHODIK

3.1 DATENERHEBUNG (AP 1)

Die Analysesoftware für RODOS-Daten wurde in der quelloffenen Programmiersprache PYTHON 3 erstellt, als zusätzliche Softwaremodule wurden NUMPY, SCIPY und MATPLOTLIB sowie für die Routinen zum maschinellen

Lernen aus SCIKIT-LEARN verwendet. Im Laufe des Vorhabens wurde, in Absprache mit dem BfS, entschieden, zunächst vorbereitend die relevanten RODOS-Originaldaten grafisch aufzubereiten.

3.2 ANALYSE (AP 2)

Die Datenanalyse wurde mit SCIKIT-LEARN durchgeführt, wobei verschiedene meteorologische Parameter als Eingangsgrößen getestet wurden. Es wurde versucht, zu möglichst einfachen Entscheidungskriterien zu gelangen. Stark korrelierte Eingangsgrößen wurden durch das Lernverfahren automatisch zusammengefasst. Die Berechnungen wurden für räumliche Abdeckungen der Gebiete mit Richtwertüberschreitungen von 50 %, 80 %, 95 % und 99 % durchgeführt. Anschließend wurden diese mit Verfahren des maschinellen Lernens zum einen deutlich vereinfacht und zum anderen deren Abhängigkeit von zusätzlichen meteorologischen Parametern miteinbezogen.

3.3 ENTSCHEIDUNGSREGELN (AP 3)

Die in der Datenanalyse mittels maschinellen Lernens ermittelten Entscheidungsregeln auf Basis der Lernparameter wurden in Form von natürlichem Text ausgegeben, wobei enthaltene räumliche Kriterien in Diagrammform dargestellt wurden. Die Gebiete mit Richtwertüberschreitungen wurden in diesen Diagrammen markiert.

4. DURCHFÜHRUNG

4.1 DATENERHEBUNG (AP 1)

Es wurden ProgrammROUTINEN erstellt, welche die mit dem Programmsystem RODOS erzeugten und vom BfS bereitgestellten Datensätze mit den Ergebnissen von Ausbreitungsrechnungen einlesen und in PYTHON 3- bzw. NUMPY-Datenstrukturen umwandeln können. Einmal eingelesene Daten können automatisch zusätzlich in binärer Form abgespeichert werden, um zukünftige Datenzugriffe deutlich zu beschleunigen.

Die relevanten RODOS-Datensätze wurden in verschiedenen Koordinatensystemen überlagert und hinsichtlich der statistischen Häufigkeiten kartiert. Es waren jeweils 120 Permutationen aus RODOS-Datensätzen und vorgegebenen Richtwerten zu untersuchen.

Es wurden die verschiedenen Methoden zum maschinellen Lernen aus SCIKIT-LEARN betrachtet und ein geeignetes Verfahren ermittelt, welches sowohl die auftretenden räumlichen Muster gut beschreiben kann und gleichzeitig einfach nachvollziehbare Resultate liefert.

4.2 ANALYSE (AP 2)

Die eingelesenen RODOS-Daten wurden gemäß den Erkenntnissen aus AP 1 in geeignete Koordinaten transformiert und mittels der quelloffenen Softwarebibliothek SCIKIT-LEARN hinsichtlich weiterer Einflussgrößen analysiert. Dem Lernverfahren wurden geeignete meteorologische Parameter wie die mittlere Windgeschwindigkeit oder Niederschlagsmenge als Eingangsvariablen zur Verfügung gestellt und getestet, ob deren Information vom Lernverfahren herangezogen wurde.

4.3 ENTSCHEIDUNGSREGELN (AP 3)

Programmroutinen zur Ausgabe der Entscheidungsregeln wurden implementiert. Die Entscheidungsregeln liegen zunächst nur als Entscheidungsbaum vor. Enthält dieser nur Abfragen von geometrischen Größen, so ist eine polare Darstellung im in der Störfallbetrachtung etablierten Schema mit zwölf Sektoren möglich, welche jeweils einen Winkelbereich um die kerntechnische Anlage abdecken. Wenn der Entscheidungsbaum Fragen nach weiteren Größen enthält, so müssen diese erst vollständig aus dem Baum entfernt und separat behandelt werden.

5. ERGEBNISSE

5.1 DATENERHEBUNG (AP 1)

Die Wahl von Polarkoordinaten relativ zum Windgeschwindigkeitsvektor ergibt - unabhängig von zusätzlichen Einflussgrößen - bereits eine gegenüber kartesischen Koordinaten oder absoluten Polarkoordinaten deutlich verbesserte Eingrenzung potenziell betroffener Gebiete. Außerdem konnte in guter Näherung eine Winkel-

symmetrie der Überlagerungsergebnisse bestätigt werden, was bei der anschließenden Datenanalyse ausgenutzt werden konnte.

Die Überlagerungsstudien zeigten, dass mit zunehmender zeitlicher Streckung der Freisetzungsszenarien das Auftreten von Richtwertüberschreitungen in größerer Entfernung seltener wurden. Dies konnte auf Verdünnungseffekte durch die zeitliche Variation der meteorologischen Situation zurückgeführt werden.

Als maschinelles Lernverfahren wurde die Erzeugung von Entscheidungsbäumen durch einen optimierten sogenannten CART-Algorithmus gewählt, da die hiermit erzielten Ergebnisse direkt auf den Rohdaten basieren und sich die ermittelten Kriterien auch ohne die Verwendung von Software anwenden lassen.

5.2 ANALYSE (AP 2)

Die RODOS-Daten wurden mit SCIKIT-LEARN in Entscheidungsbäume konvertiert und durch zusätzliche Programmroutinen zur besseren Übersichtlichkeit vereinfacht. Als besonders nützliche meteorologische Variablen konnten die Windgeschwindigkeit und die Variation der Windrichtung ausgemacht werden. Die Ergebnisse von AP 1 und AP 2 wurden in einem Zwischenbericht dokumentiert.

5.3 ENTSCHEIDUNGSREGELN (AP 3)

Die neu entwickelten Entscheidungsregeln werden in Form von Sektordarstellungen dargestellt. Diese Form der Darstellung sowie hierbei gegebenenfalls getroffenen Fallunterscheidungen sollen dabei helfen, im Ernstfall oder bei Planung des Notfallschutzes unter Zuhilfenahme von nur wenigen meteorologischen Parametern die räumlichen Zonen um den Standort einer kerntechnischen Anlage auszumachen, in denen mit radiologischen Schutzzielüberschreitungen für die Bevölkerung zu rechnen ist.

Abbildung 1 zeigt exemplarisch eine der abgeleiteten Entscheidungsregeln für einen sehr schweren Unfall in einem Kernkraftwerk (Quellterm „FKA“) für eine Empfehlung für die Schutzmaßnahme „Einnahme von Jodtabletten durch Erwachsene“. Diese Empfehlung gilt in Richtung der vorherrschenden Windgeschwindigkeit. Die Darstellung zeigt als rot markierte Zonen, in denen mit einer Richtwertüberschreitung zu rechnen ist (bei einer angestrebten statistischen Abdeckung von 80 % der betroffenen Gebiete). Die Karte gibt in radialer Richtung den Abstand von der kerntechnischen Anlage in Kilometern an.

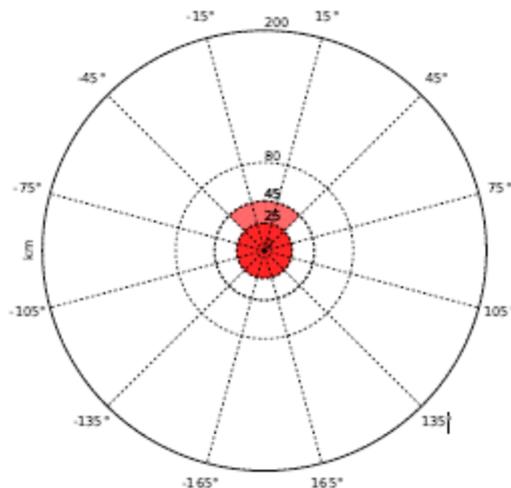


Abbildung 1: Abgeleiteten Entscheidungsregeln für einen sehr schweren Unfall in einem Kernkraftwerk

Die Entscheidungsregeln wurden auf der Basis von BfS-Rechnungen mit der Simulationssoftware RODOS ermittelt. Zur Ausgewogenheit der Datensätze wurde als Betrachtungszeitraum genau ein Jahr angesetzt, wobei in den Simulationen jeweils ein Unfall im mittleren Abstand von etwa einem Tag betrachtet wurde. Trotz dieser Anzahl an Rechnungen haben statistische Fluktuationen in manchen Fällen zu nicht besonders sicheren Entscheidungsregeln geführt. Durch die Unterteilung der RODOS-Ergebnisse in Lern- und Testdatensätze und deren Abgleich war es meistens möglich, die im Folgenden definierten Qualitätsparameter für die ermittelten Entscheidungsregeln zu berechnen und bei allen Entscheidungsregeln mit anzugeben. Naturgemäß werden von den Qualitätsparametern nur die sich aus der endlichen Anzahl von Simulationsrechnungen ergebenden statistischen Schwankungen bzw. Unsicherheiten abgedeckt, jedoch keine systematischen Unsi-

cherheiten aus möglichen Abweichungen von den RODOS-Simulationen zur Realität. Zu jeder Entscheidungsregel werden die Qualitätsparameter in Form einer Übersichtstafel nach einem eigens entwickelten Schema angegeben.

6. UMSETZUNG DER ERGEBNISSE

Dieses Vorhaben hat einfache Entscheidungsregeln für die Frühphase eines kerntechnischen Unfalls geliefert. Diese Regeln sollen in dieser Frühphase eine Entscheidung darüber erleichtern, in welchen Gebieten um den Standort einer kerntechnischen Anlage bei einem kerntechnischen Unfall mit Richtwertüberschreitungen zu rechnen ist und wo somit entsprechende Schutzmaßnahmen empfehlenswert sind. Die Einsatzfähigkeit dieser Entscheidungsregeln wird im BfS zukünftig insbesondere im Rahmen von Notfallschutz-Übungen getestet werden. Abhängig von diesen Ergebnissen ist dann zu entscheiden, in welcher Form derartige Entscheidungsregeln zukünftig in die Notfallschutzplanung in Deutschland integriert werden können.

Thema

Anpassung eines Entscheidungshilfesystems für die Zwecke der Nuklearspezifischen Gefahrenabwehr an neue Anforderungen in der urbanen Umgebung

Subject

Adaptation of a decision support system for nuclear-specific security purposes to new requirements in the urban environment

Kennzeichen

4716R01652
(3616R01652)

Beginn

01.12.2016

Ende

31.10.2017

Fördermittel

EUR 108.457,-

Forschungs- / Auftragnehmer

Ingenieurbüro Janicke, Überlingen

Projektleitung

Dr. U. Janicke

Fachbetreuung BfS

H. Walter / SW 2.2

verantwortlich für den Text

H. Walter

1. ZIELSETZUNG

Das Programmsystem LASAIR berechnet den Transport radioaktiver Nuklide in der Atmosphäre und ihre Deposition am Erdboden. Unter Anwendung eines vorgegebenen Nuklidspektrums wird hieraus die Aktivität und die Dosis hinsichtlich Inhalation und Gamma-Wolken- und Bodenstrahlung berechnet.

Zur interaktiven Erstellung der Eingabedaten (Freisetzungparameter, Meteorologie, Gebäude und Gelände), der Durchführung der Ausbreitungsrechnung und der Ergebnisdarstellung bietet LASAIR eine interaktive grafische Benutzeroberfläche (Java-Programm) und greift zur Berechnung des Windfeldes, des Transportes und der Gammasubmersion auf das Programmsystem LASAT (C-Programme) zurück.

In diesem Projekt wurde LASAIR so angepasst, dass eine flexible und einfache Handhabung insbesondere auch in urbaner Umgebung ermöglicht wird.

2. EINZELZIELSETZUNG

Im Folgenden werden die wesentlichen Einzelzielsetzungen aufgeführt. Kleinere Anpassungen und Details sind im letzten Unterabschnitt zusammengefasst.

2.1 GEBÄUDE

OpenStreetMap (OSM) stellt Gebäudeinformationen über einen Server im Internet zur Verfügung. Sie können für ein vorgegebenes Gebiet ausgelesen und weiterverarbeitet werden. Diese Daten sollten in LASAIR nutzbar gemacht werden, so dass die Möglichkeit eröffnet wird, in urbaner Umgebung interaktiv Gebäude einzulesen, in einer Karte auszuwählen, bei Bedarf zu editieren und dann in einer Ausbreitungsrechnung einzusetzen. Eine Reihe von Aspekten kommen dabei hinzu:

- Meist fehlt in den OSM-Daten die Höheninformation. Es soll daher ermöglicht werden, auf einfache Weise die OSM-Daten zu ändern oder einzelne Gebäude ganz per Hand zu definieren, in einem Repository zu archivieren und wieder einzulesen.
- OSM-Daten können sehr komplexe Gebäudestrukturen mit mehreren Innenhöfen und Außenbereichen enthalten. Es soll gewährleistet sein, dass diese Strukturen korrekt abgebildet und für die Ausbreitungsrechnung verarbeitet werden.
- In der Ausbreitungsrechnung werden Gebäude auf dem Rechnernetz aufgerastert. Die Festlegung eines geeigneten Satzes von geschachtelten Netzen, die sich in Maschengröße und Ausdehnung an die Erfordernisse der vorgegebenen Quellen und Gebäude, die Vorgaben des Ausbreitungsmodells und das Ziel einer möglichst effizienten Ausbreitungsrechnung richten, ist nicht trivial und sollte daher automatisch vom Programm vorgenommen werden.

2.2 EMISSIONSZEITREIHEN

Bisher wurde in LASAIR die Ausbreitungsrechnung für einen Teststoff mit Einheitswerten durchgeführt und die Ergebnisse im Nachhinein mit der vom Benutzer vorgegebenen Emissionsmenge und Eigenschaften eines konkreten Nuklids skaliert. Das System sollte so erweitert werden, dass nuklidspezifische Emissionszeitreihen vorgegeben werden können.

2.3 RECHENZEITRAUM

Bisher führte LASAIR die Ausbreitungsrechnung für 5-Minuten-Intervalle über einen Zeitraum von maximal 24 Stunden durch. Es sollte die Möglichkeit geschaffen werden, längere Zeiträume betrachten und dabei auch die Meteorologie geeignet vorgeben zu können.

2.4 AUSGABE FÜR BELIEBIGE HÖHEN

Bisher wies LASAIR die Ergebnisse der Ausbreitungsrechnung für die bodennahe Schicht aus. Die Ausgabe sollte auf beliebige Höhen erweitert werden.

2.5 WEITERE EINZELZIELE

- Aktualisierung des Ausbreitungs- und Windfeldprogramms nach LASAT 3.4
- Berücksichtigung der Ortsabhängigkeit des Coriolis-Parameters für das Grenzschichtprofil
- Vorgabe einer strukturierten Volumenquelle
- Verwendung des Modells PLURIS für die Bestimmung der Abgasfahnenüberhöhung
- Auswahl zwischen Wolkenstrahlung, Bodenstrahlung und der Summe aus beidem
- Ausweisung der Ortsdosisleistung
- Ergänzung der Druckausgabe um die Expositionszeit
- Aktuelle Position in OSM über Vorgabe von Ort und Straße wählen
- Ausmessung von Strecken in der Ergebnisgrafik.

3. METHODIK

Im Folgenden wird die Vorgehensweise zu den wichtigsten Erweiterungsmaßnahmen erläutert.

3.1 PROJEKTDATEN

Die Einbindung von Gebäuden aus OSM erforderte eine Überarbeitung der Datenhandhabung in LASAIR.

Alle vom Benutzer vorgegebenen Objekte - insbesondere Quellen, Gebäude und Rechnernetze - können nun in einer Datenbank (Repository) gespeichert und für spätere Projekte ausgewählt werden. In einem neuen Projekt kann der Benutzer Objekte neu definieren oder aus dem Repository nehmen und sich so das Projekt zusammenbauen. Beim Sichern eines Projektes werden die Objekte zusätzlich projektbezogen abgespeichert, so dass spätere Änderungen keine Auswirkung auf abgeschlossene Projekte haben.

Ein abgeschlossenes Projekt kann aus Sicherheitsgründen nicht nachträglich editiert werden. Jedoch kann ein abgeschlossenes Projekt geladen werden und seine Objekte stehen dann für ein neues Projekt zur Verfügung, so als ob sie von Hand oder über das Repository festgelegt worden wären.

3.2 AUSBREITUNGSRECHNUNG

In LASAIR 4 wurde die Ausbreitungsrechnung für eine Testsubstanz mit Einheitsquellstärke und Einheitseigenschaften durchgeführt; im Anschluss gibt der Benutzer die freigesetzte Masse und das freigesetzte Nuklid an, und das Programm schätzt aus dem Einheitsergebnis der Ausbreitungsrechnung das konkrete Ergebnis entsprechend den Benutzervorgaben ab. Diese Vorgehensweise hat den Vorteil, dass die Ausbreitungsrechnung nur einmal durchgeführt werden muss.

Möchte man für jedes Nuklid frei wählbare Emissionszeitreihen vorgeben, ist diese Methodik nicht mehr einsetzbar. Daher werden in LASAIR 5 die Nuklide und ihre Emissionszeitreihen vor der Ausbreitungsrechnung festgelegt und so auch explizit ohne Umrechnungen oder Näherungen gerechnet. Diese Methodik hat darüber hinaus den Vorteil, dass Deposition und Zerfall während der Ausbreitung unmittelbar berücksichtigt werden

können. Der unabwendbare Nachteil ist, dass bei anderen Nukliden oder Emissionszeitreihen die Ausbreitungsrechnung wiederholt werden muss.

3.3 AUSGABE FÜR BELIEBIGE HÖHEN

Für die Aktivitätskonzentration ist die Ausgabe unterschiedlicher Höhenintervalle unproblematisch, da die Konzentration in der Ausbreitungsrechnung ohnehin für den gesamten dreidimensionalen Raum berechnet wird. Ein Problem ist die Gamma-Submersion, deren Berechnungsformel nach der Allgemeinen Verwaltungsvorschrift zu § 47 Strahlenschutzverordnung (AVV) nur für den Erdboden gilt. Es stellt sich jedoch heraus, dass eine Berechnung der Gamma-Submersion nicht erforderlich ist, sondern eine Beurteilung über den Vergleich der Aktivitätskonzentration mit Operational Intervention Levels (OILs) erfolgen kann. Hierfür wird in LASAIR 5 eine geeignete Ausgabe mit einer alternativen Farbpalette angeboten, mit dem das Gebiet, in dem ein vorgegebener Wert überschritten wird, farblich gekennzeichnet werden kann.

3.4 STRUKTUR DER BENUTZEROBERFLÄCHE

Mit den zahlreichen, zum Teil sehr komplexen Erweiterungen bestand die Gefahr, dass die Benutzeroberfläche von LASAIR überlastet und unübersichtlich wird. Daher wurde anhand der Erfahrungen der Praxis geprüft, welche Elemente nicht mehr benötigt werden. Als Ergebnis wurde in LASAIR 5 die Übersichtsrechnung und die optionale Verzweigung einer Rechnung als nicht mehr erforderlich identifiziert. Dadurch lässt sich eine stringenter Menüführung und erheblich klarere Strukturierung des Arbeitsablaufes realisieren.

4. DURCHFÜHRUNG

Die Erweiterungen und Umstrukturierungen wurden in enger Abstimmung mit dem Auftraggeber durchgeführt. Eine detaillierte Beschreibung zu den einzelnen Punkten der Umsetzung ist im Abschlussbericht zum Projekt aufgeführt, ebenso eine Beschreibung der Funktionsweise von LASAIR 5.

5. ERGEBNISSE

Im Folgenden veranschaulichen eine Reihe von Bildschirmkopien die Funktionsweise und das erweiterte Leistungsspektrum von LASAIR 5.

Bei den Darstellungen handelt es sich um reine Demonstrationsbeispiele ohne jeden realen Bezug.

Als Örtlichkeit wurde der Standort Salzgitter des Bundesamtes für Strahlenschutz gewählt. Abbildung 1 zeigt das Hauptfenster von LASAIR nach dem Programmstart. Im linken Teil erfolgt später die Darstellung der OSM-Karten. Im mittleren Teil erfolgen Benutzereingaben, hier die Wahl der Sprache sowie die Festlegung, ob LASAIR auf das Internet zugreifen soll oder nicht. Der rechte Teil enthält die menüspezifische Online-Dokumentation.

In Abbildung 2 ist im linken Teil die OSM-Karte mit dem Standort des Bundesamtes für Strahlenschutz in Salzgitter dargestellt. Sie kann beliebig verschoben und in den Vergrößerungsstufen von OSM dargestellt werden. Die weltweit verfügbaren Karten werden automatisch aus dem Internet geladen und lokal gespeichert, so dass sie bei späterer Verwendung nicht erneut geladen werden müssen. In die hier dargestellte Karte wurden für einen vorgegebenen Ausschnitt Gebäudeinformationen aus dem Internet geladen (Gebäude mit einer etwas dunkleren Flächenfarbe). Ein Gebäude kann durch Anklicken ausgewählt und in einem kleinen Datenfenster, wie hier dargestellt, editiert werden. Die Änderungen werden lokal gespeichert.

Abbildung 3 zeigt, wie mit einem Rechtsklick in der Karte die ausgewählten Gebäude in einer dreidimensionalen Darstellung betrachtet werden können. Die Darstellung kann durch Bewegung der Maus gekippt und gedreht werden.

In Abbildung 4 wurde die Dokumentation weggeklappt. Die ausgewählten Gebäude sind mit einem grünen Umriss gezeichnet. Die grüne Markierung im Stadtpark kennzeichnet die Anemometerposition, für die die Zeitreihe der meteorologischen Parameter gilt. Das blaue Kreuz ist der Quellort. Das gestrichelte rote Rechteck ist das vom Benutzer vorgegebene Rechengebiet. Es dient der automatischen Erzeugung eines Satzes von drei geschachtelten Netzen entsprechend den Quellen und Gebäuden (durchgezogene rote Rechtecke). Die Aufrasterung der Gebäude auf dem feinsten Netz ist in Form grauer Quadrate dargestellt. Alle Orte und Umrisse können in den Untermenüs rechts direkt eingegeben oder mit der Maus in der Karte links festgelegt werden.

Abbildung 5 zeigt eine Ergebnisdarstellung, hier die bodennahe Aktivitätskonzentration als Mittel über die ersten 5 Minuten nach einer explosiven Freisetzung bei Wind aus südwestlicher Richtung. Im Menü rechts stehen weitere Farbskalen zur Verfügung, die Legende kann in der Grafik frei verschoben werden und die Konzentration (ebenso Zeitreihen) können an einzelnen Punkten eingblendet werden.



Abbildung 1: Hauptfenster von LASAIR nach dem Programmstart

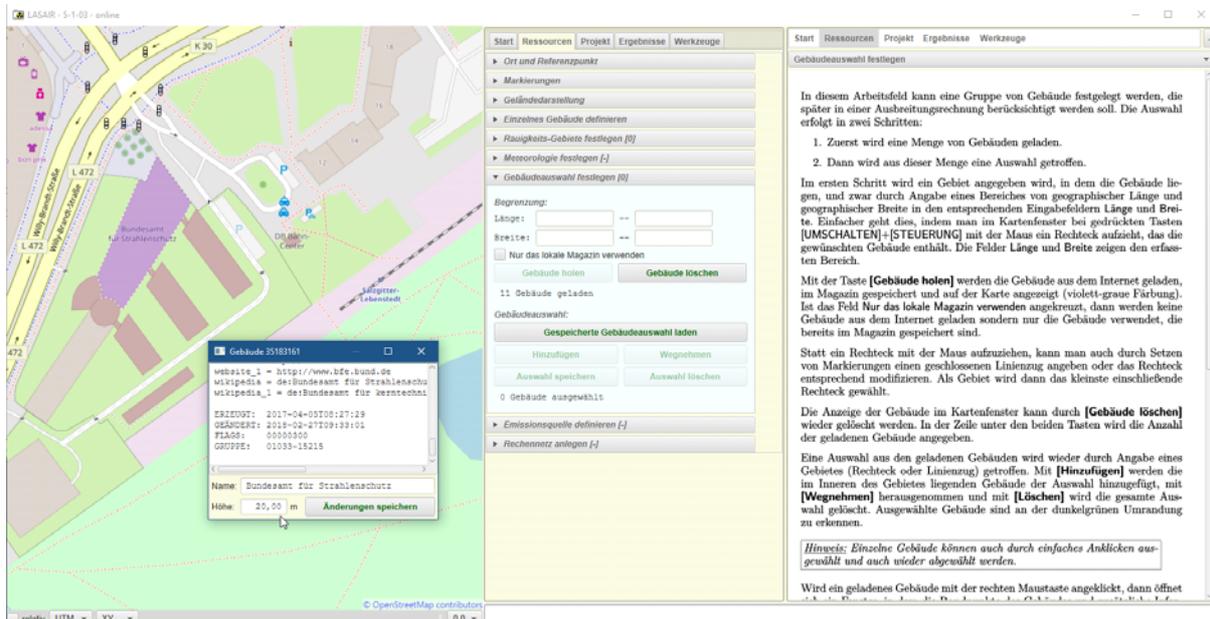


Abbildung 2: OSM-Karte mit dem Standort des Bundesamtes für Strahlenschutz in Salzgitter

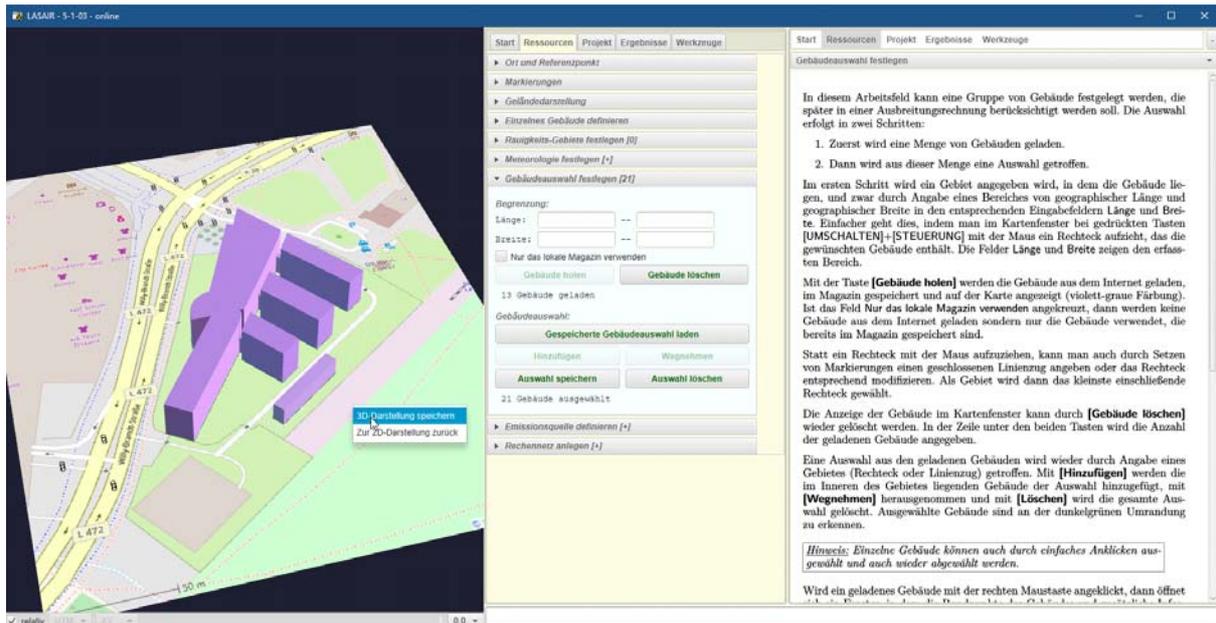


Abbildung 3: Dreidimensionale Darstellung ausgewählter Gebäude

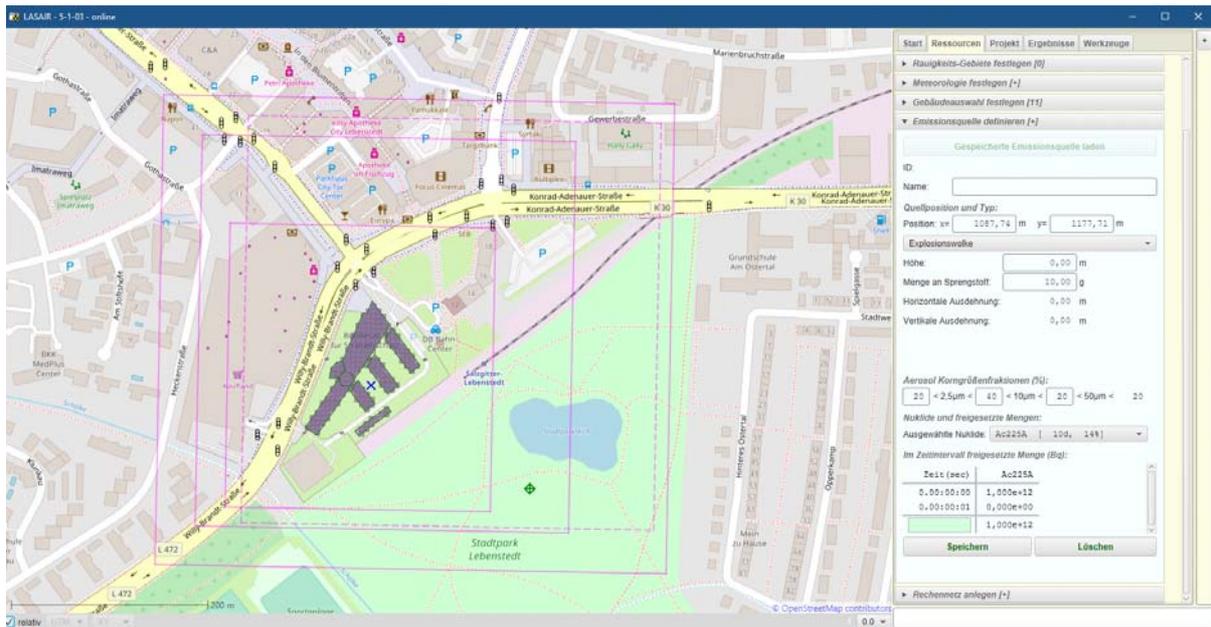


Abbildung 4: Darstellung der Karte mit weggeklappter Dokumentation

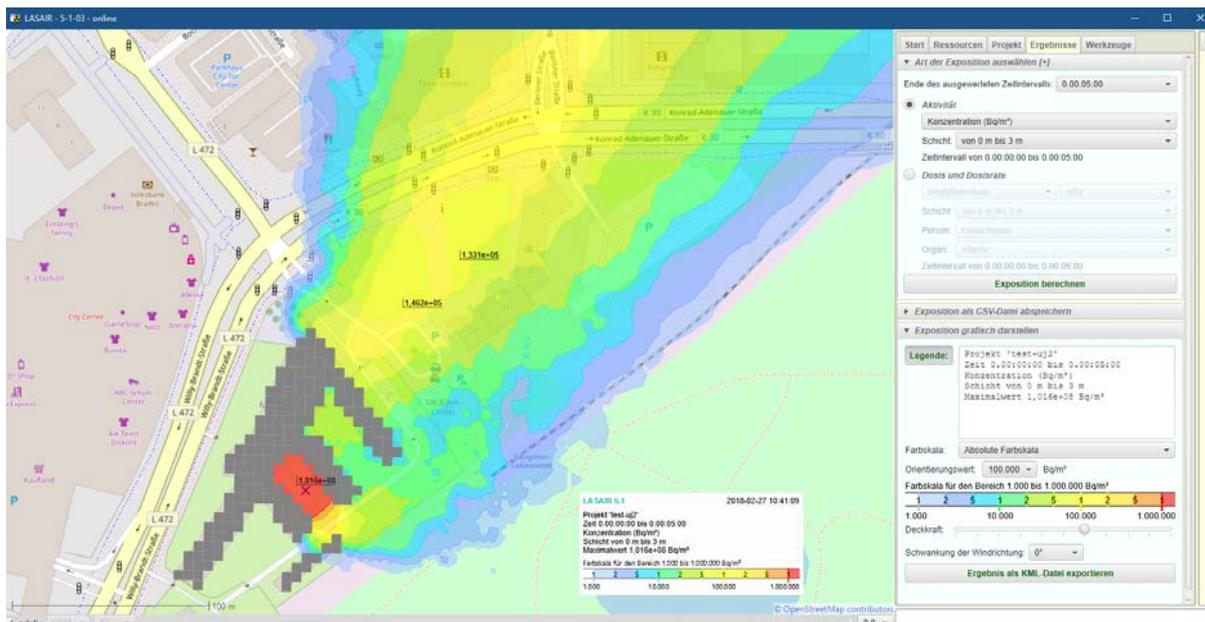


Abbildung 5: Ergebnisdarstellung

6. UMSETZUNG DER ERGEBNISSE

Die Ergebnisse des Forschungsvorhabens, der erweiterte Programmumfang von LASAIR, dienen in erster Linie dem Einsatz der Nuklearspezifischen Gefahrenabwehr (NGA) des BfS in der Zusammenarbeit mit den Bundesbehörden BKA und BPol, den Katastrophenschutzbehörden der Bundesländer sowie Institutionen, die sich mit der terroristischen Gefahrenabwehr beschäftigen.

Das BMUB ist nach Artikel 5, Abs. 1 des „Gesetzes zum Übereinkommen über den physischen Schutz von Kernmaterial“ als verantwortliche nationale Behörde und Verbindungsstelle für die Koordination von Gegenmaßnahmen bei unrechtmäßigem Umgang mit Nuklearmaterial zuständig; das Vorhaben dient unmittelbar der Unterstützung bei der Erfüllung dieser Ressortaufgabe.

Darüberhinaus schreibt die Richtlinie 2013/59/EURATOM eine Ereignis- und Szenarien-spezifische Notfallschutzplanung vor (ANHANG XI Notfallmanagementsysteme und Notfallpläne nach den Artikeln 69, 97 und 98..., B. Im Rahmen eines Notfallplans zu berücksichtigende Aspekte..., 3. optimierte Schutzstrategien für möglicherweise exponierte Einzelpersonen der Bevölkerung, für unterschiedliche postulierte Ereignisse und die entsprechenden Szenarien). Darin wird explizit die Notfallschutzplanung für einen terroristisch oder anderweitig motivierten Anschlag bzw. für einen Transportunfall gefordert. Die Ergebnisse des Forschungsvorhabens erweitern die Möglichkeiten von LASAIR, so dass derartige Planungsaufgaben hinreichend gelöst werden können.

Themenbereich 07

Vorhaben mit allgemeiner Bedeutung für den Strahlenschutz

Subject area 07

Projects of general importance to radiation protection

Thema Überarbeitung von technischen Strahlenschutznormen aus dem Bereich des Normenausschuss Materialprüfung (NMP)			
Subject <i>Revision of technical radiation protection standards in the range of the Materials Testing Standards Committee (NMP)</i>			
Kennzeichen 3614S70005	Beginn 02.12.2014	Ende 30.09.2017	Fördermittel EUR 102.124,-
Forschungs- / Auftragnehmer DIN Deutsches Institut e. V., Berlin			
Projektleitung V. Seibicke	Fachbetreuung BfS U. Häusler / AG-SG 2.6	verantwortlich für den Text M. Treige	

1. ZIELSETZUNG

Ziel dieses Vorhabens war die Überarbeitung sowie Anpassung mehrerer Normen an den aktuellen Stand von Wissenschaft und Technik.

2. EINZELZIELSETZUNG

Im Rahmen dieses Vorhabens sollten die folgenden Normen den geltenden Rechtsvorschriften und dem Stand von Wissenschaft und Technik angepasst werden:

- Normen der Reihe DIN 25409: „Fernbedienungsgeräte zum Arbeiten hinter Schutzwänden“ (9 Teile)
- DIN 25483: „Verfahren zur Umgebungsüberwachung mit integrierenden Festkörperdosimetern“
- Normen der Reihe DIN 25488: „Komponenten für Heiße Zellen“ (2 Teile)
- Normen der Reihe DIN 54113: „Zerstörungsfreie Prüfung - Strahlenschutzregeln für die technische Anwendung von Röntgeneinrichtungen bis 1 MV“ (4 Teile)

Zudem sollte die frühzeitige und direkte Mitwirkung von deutschen Experten bei der internationalen Normung im Bereich „Strahlenschutz“ sichergestellt werden.

3. METHODIK

Die zu prüfenden Normen wurden existierenden Arbeitsausschüssen des DIN-Normenausschuss Materialprüfung (NMP) zugeordnet.

Die Mitarbeiter der Arbeitsausschüsse überprüften unter der Leitung des DIN-Bearbeiters die Normtexte hinsichtlich Stand von Wissenschaft und Technik und fassten entsprechende Beschlüsse zur Norm (Überarbeitung, Zurückziehung, Bestätigung).

Im Fall der Überarbeitung wurden vom jeweiligen Arbeitsausschuss Manuskripte erstellt, die vom Ausschuss nach ausführlicher Diskussion zur Veröffentlichung als Norm-Entwurf verabschiedet wurden.

Die jeweiligen Norm-Entwürfe wurden mit einer Einspruchsfrist von 2 Monaten oder 4 Monaten (je nach Schweregrad der Überarbeitung) veröffentlicht. Die in dieser Zeit eingegangenen Stellungnahmen wurden in den Arbeitsausschüssen mit den Einsprechern diskutiert, danach wurden im Konsensverfahren überarbeitete Manuskripte erstellt. Diese wurden nach Verabschiedung durch den zuständigen Arbeitsausschuss bei DIN eingereicht und als Norm veröffentlicht.

Um die Mitarbeit von deutschen Experten in internationalen Normungsgremien (IEC, ISO) und den entsprechenden Arbeitsausschüssen sicherzustellen, wurden vom DIN e. V. die dazu erforderlichen Spiegelgremien eingerichtet, in denen die Dokumente der ISO/IEC verteilt, entsprechende Stellungnahmen erarbeitet und an ISO/IEC weitergeleitet wurden.

4. DURCHFÜHRUNG

Das Vorhaben wurde in folgenden Schritten durchgeführt:

- Die Normen wurden den folgenden Arbeitsausschüssen zugeordnet:
 - Normen der Reihe DIN 25409 NA 062-07-62 AA „Strahlenschutzeinrichtungen“
 - DIN 25483 NA 062-07-63 AA „Radionuklidlaboratorien“
 - Normen der Reihe DIN 25488NA 062-07-62 AA „Strahlenschutzeinrichtungen“
 - Normen der Reihe DIN 54113NA 062-08-22 AA „Durchstrahlungsprüfung und Strahlenschutz“ bzw. NA 062-07-47 AA „Zerstörungsfreie Prüfung (ZfP) in der Kerntechnik“
- Die Arbeitsausschusssitzungen wurden durchgeführt (bis zu 3 Termine pro Jahr) und die vergebenen Aufgaben nachverfolgt. Je nach Beschluss wurden Vorlagen für die Überarbeitung erstellt und dann als Manuskript zum Norm-Entwurf verabschiedet. In der Geschäftsstelle erfolgte dann die Drucklegung der Texte und Veröffentlichung als Norm-Entwurf.
- Nach Ablauf der Einspruchsfrist wurden die Einspruchsverhandlung durchgeführt. Nachdem alle Einsprüche behandelt wurden, wurde eine Vorlage zur Norm erstellt und als Manuskript zum Druck als Norm durch den Arbeitsausschuss verabschiedet. In der Geschäftsstelle erfolgte die Schlussbearbeitung sowie die Drucklegung und Veröffentlichung als Norm.

Auf den Sitzungen der Arbeitsausschüsse wurden die internationalen Themen besprochen und in die Normüberarbeitung mit einbezogen.

5. ERGEBNISSE

5.1 ZU DEN NORMEN DER REIHE DIN 25409

Der zuständige Ausschuss hatte beschlossen, die Normen der Reihe DIN 25409 zu überarbeiten, da der Stand der Technik nicht mehr sichergestellt war. Die wichtigsten Änderungen waren:

- Aktualisierung der Verweisungen
- Berücksichtigung gesetzlicher Vorgaben wie bspw. der Betriebssicherheitsverordnung
- Aufnahme rechnergesteuerter Systeme
- Aufnahme typischer Bewegungsmöglichkeiten
- redaktionelle Überarbeitung der Norm.

Die Normen DIN 25409-1 bis DIN 25409-6 und DIN 25409-8 und das zugehörige Beiblatt DIN 25409 Beiblatt 1 wurden mit Ausgabe Dezember 2015 veröffentlicht.

DIN 25409-7 ist mit Ausgabe Januar 2016 erschienen.

Die Überarbeitung der Normen der Reihe DIN 25409 ist damit abgeschlossen.

5.2 ZU DER NORM DIN 25483

Der Ausschuss hatte beschlossen die Norm zu überarbeiten, da sie nicht mehr den Stand der Technik darstellt. Auf einer ersten Sitzung wurde das weitere Vorgehen zur Überarbeitung der Norm (Zeitplan, Projektpaten, zu erledigende Aufgaben der Experten und der Geschäftsstelle) festgelegt. Es wurde ebenfalls festgestellt, dass für eine Überarbeitung weitere Experten hinzugezogen werden müssen. Anfragen bei der DKE und dem NAR haben zur Meldung weiterer Experten geführt. Es wurde eine Arbeitsgruppe (AG) gebildet, die sich mehrfach getroffen hat, aber keinen Änderungsentwurf vorlegen konnte, da die Überarbeitung tiefgreifender gehen musste als geplant und zudem kein Konsens über verschiedene Grundsatzfragen, insbesondere über die Berücksichtigung der Unsicherheitsbetrachtungen, erzielt werden konnte. Zudem stand nach einem Jahr der AG-Leiter nicht mehr zur Verfügung. Es wurde zwar ein neuer Leiter bestimmt und auch weitere Treffen der AG durchgeführt, aber es wurde kein ausreichender Projektfortschritt erzielt. Die AG wurde letztendlich aufgefordert, ein abschließendes Manuskript vorzulegen. Da dies nicht erfolgt ist, wurden die offiziellen Arbeiten an dem Projekt eingestellt, das Projekt wurde gestrichen. Die Norm wurde zur Zurückziehung angekündigt, da sie nicht mehr dem Stand der Technik entspricht. Sollte es dazu keine Einsprüche geben, wird die Norm ersatzlos zurückgezogen. Die AG wird aber weiter an dem Thema arbeiten und sich wieder an DIN wenden, wenn ein entsprechender Fortschritt erreicht ist.

5.3 ZU DEN NORMEN DER REIHE DIN 25488

Die beiden Normen der Reihe DIN 25488 standen zur Überprüfung an und wurden in diesem Rahmen auf der Sitzung des Arbeitsausschusses NA 062-07-62 AA-Strahlenschutzzeirrichtungen überprüft. Die entsprechenden Dokumente wurden zur Kommentierung verteilt. Da die Fertigstellung der Normenreihe DIN 25409 vorrangig behandelt wurde, wurde erst im Dezember 2015 der Beschluss gefasst, Teil 1 zu überarbeiten, während die Entscheidung für Teil 2 noch offen bleibt. Die Überarbeitung von Teil 1 mit Veröffentlichung eines Entwurfs im Juli 2016 und die Diskussionen auf der Einspruchsverhandlung im Dezember 2016 führten zu folgendem Ergebnis:

Die Mitarbeiter entschieden, dass eine Norm zu Strahlenbeständigkeit im Hinblick auf die zukünftigen Herausforderungen von immenser Wichtigkeit sei. Dieses Thema soll allerdings nicht als Teil einer Norm für spezielle Komponenten weitergeführt, sondern allgemeiner und mit einem größeren Anwendungsbereich formuliert werden.

Daraufhin wurden die Anforderungen, welche nur für die Komponenten für Heiße Zellen gelten, aus Teil 2 in den Teil 1 mit aufgenommen. Es wurde ein zweiter Norm-Entwurf mit der Nummer DIN 25488 erstellt, welcher die beiden Teile 1 und 2 zusammenführt und ersetzt. Der Norm-Entwurf hierzu ist mit Ausgabedatum März 2017 erschienen und die Einspruchsfrist endete am 24. Juni 2017. Die Einspruchssitzung fand am 22. November 2017 statt. Die Arbeiten wurden abgeschlossen. Die Herausgabe der Norm erfolgt mit Ausgabe März 2018.

5.4 ZU DEN NORMEN DER REIHE DIN 54113

Auf der Sitzung des NA 062-07-47 AA (18. Februar 2015) wurde das Vorgehen zur Überarbeitung der Norm (Zeitplan, Projektpaten, zu erledigende Aufgaben der Experten und der Geschäftsstelle) festgelegt. Zur Überarbeitung sollten noch weitere interessierte Kreise (z. B. die DGZfP) kontaktiert werden, da für sie die Dichtheitsprüfung von Bedeutung ist und es ein entsprechendes Interesse an der Mitarbeit geben sollte.

Es wurde eine Arbeitsgruppe gegründet, die selbständig die Manuskripte für die anstehenden Norm-Entwürfe erarbeiten sollte. Auf der Sitzung am 12.01.2016 wurde beschlossen, Teil 1 in der von der AG vorgeschlagenen Weise zu überarbeiten, Teil 2 der Normenreihe wurde dabei in den Teil 1 mit aufgenommen. Das Manuskript für den Norm-Entwurf wurde im Umlauf verabschiedet. Der Entwurf wurde mit Ausgabe Mai 2016 veröffentlicht. Zum Norm-Entwurf gab es mehrere Einsprüche der Kommission für Arbeitsschutz, so dass eine komplette Überarbeitung zur Beantwortung dieser Kommentare nötig wurde. Als Konsequenz wurde ein zweiter Norm-Entwurf verabschiedet, welcher im März 2017 erschienen ist. Die Einspruchsfrist endete am 10. Juni 2017. Hierzu gab es redaktionelle Einsprüche, welche gesichtet und durch den Projektleiter beantwortet wurden. Anschließend wurden diese Kommentare sowie das überarbeitete Manuskript durch den Ausschuss freigegeben. Die Norm wird mit Ausgabe Januar 2018 erscheinen.

Auf seiner letzten Sitzung am 14. November lagen die ersten Ergebnisse des Ringversuches zur Überarbeitung von Teil 3 vor. Diese Ergebnisse umfassen bereits die neuen Kurven für 500 kV, 520 kV und 600 kV, welche in die Norm aufgenommen werden sollen und so den Anwendungsbereich erweitern werden. Zur Verifizierung der Versuchsergebnisse werden zusätzlich Simulationsrechnungen durchgeführt und die Streustrahlung sowie die Durchlassstrahlung werden noch durch den Ringversuch ermittelt. Die Arbeitsgruppe wird sich bei Vorliegen der Ergebnisse der letzten Ringversuche sowie der Simulationsrechnungen treffen und das Manuskript weiter bearbeiten. Im Frühjahr 2018 soll ein erster Arbeitsentwurf zu Teil 3 vorliegen. Wenn dieser zeitnah als Entwurf veröffentlicht werden kann, ist mit der Veröffentlichung der Norm Ende 2018 bzw. Anfang 2019 zu rechnen. Hierbei wird dann auch das neue Strahlenschutzgesetz berücksichtigt.

6. UMSETZUNG DER ERGEBNISSE

Im Verlauf dieses Forschungsvorhabens wurden mehrere für den Strahlenschutz bedeutsame Normen überarbeitet und nach Abstimmung der jeweiligen Entwürfe erneut veröffentlicht. Normen sind sowohl für Anwender wie auch für betroffene Behörden bei der Umsetzung des Strahlenschutzes in der Praxis der Genehmigung und Aufsicht von entscheidender Bedeutung. Durch das Forschungsvorhaben wird somit ein wesentlicher Beitrag zur Gewährleistung des Standes von Wissenschaft und Technik bei der Nutzung von Vorrichtungen, die den Anforderungen der StrlSchV bzw. RöV unterliegen, geleistet.

Bislang hat sich im Rahmen der überarbeiteten Normen noch keine Erkenntnis ergeben, die eine Anpassung der gesetzlichen Grundlagen erforderlich machen würde. Da noch nicht alle den Strahlenschutz betreffenden Normen überarbeitet werden konnten, wird die Thematik im Forschungsvorhaben 3617S72381 fortgeführt.

Themenbereich 08
Nichtionisierende Strahlung

Subject area 08
Non-ionising radiation

Thema Synergetische Wirkung hochfrequenter elektromagnetischer Felder in Kombination mit kanzerogenen Substanzen - Kokanzerogenität oder Tumorpromotion?			
Subject Synergetic effect of radiofrequency electromagnetic fields in combination with carcinogenic substances - cocarcinogenity or tumor promotion?			
Kennzeichen 3615S82431	Beginn 01.01.2016	Ende 31.05.2017	Fördermittel EUR 164.045,-
Forschungs- / Auftragnehmer Jacobs University Bremen gGmbH, Bremen			
Projektleitung Prof. Dr. Alexander Lerchl	Fachbetreuung BfS PD Dr. B. Pophof / AG-SG 1.4	verantwortlich für den Text Prof. Dr. A. Lerchl, Dr. D. Lerchl	

1. ZIELSETZUNG

In zwei vorangegangenen unabhängigen Studien an Mäusen (Tilman et al., 2010, Lerchl et al., 2015) konnte eine tumorfördernde Wirkung hochfrequenter elektromagnetischer Felder (UMTS) beobachtet werden. In dieser Studie sollte geklärt werden, ob die Wirkung hochfrequenter elektromagnetischer Felder des UMTS-Standards im Sinne eines ko-kanzerogenen Effektes erfolgt.

2. EINZELZIELSETZUNG

Ziel dieser Studie war es zu klären, ob das Kanzerogen Ethylnitrosoharnstoff (ENU) unter verschiedenen Expositionsbedingungen (Scheinexposition, 0,04 und 0,4 W/kg) zu unterschiedlichen DNA-Schäden führt und somit von einem kokarzinogenen Effekt hochfrequenter elektromagnetischer Felder (UMTS) auszugehen ist.

3. METHODIK

3.1 TIERMODELL

Die Nachkommen von weiblichen C57BL/6N- und männlichen C3H/HeN-Mäusen wurden in utero ab dem sechsten Tag der Trächtigkeit verschiedenen Expositionsstärken (Scheinexposition, 0,04 oder 0,4 W/kg) ausgesetzt. Allen trächtigen Muttertieren (n=45) wurde am 14. Tag der Trächtigkeit einmalig ENU (40 mg/kg) in die Bauchhöhle injiziert und aus allen 3 Expositionsstärken jeweils so viele Muttertiere nach 24, 36 und 72 Stunden getötet und die Föten entnommen, bis pro Gruppe und Zeitpunkt die Mindestanzahl (16) an Föten erreicht wurde, um die Anforderungen an die statistische Power zu erreichen. Diese Zahl wurde mit folgenden Parametern errechnet: Fehler erster Art: 5 %; Fehler 2. Art: 20 %; relevanter Unterschied: 50 %; Cohen's d: 1,4. Die Föten wurden fixiert und bei -80 °C aufbewahrt, bevor Gefrierschnitte angefertigt wurden und die durch ENU verursachten Alkylierungen der DNA in Leber, Lunge und Gehirn mittels Fluoreszenzmarkierung quantitativ ausgewertet wurden.

3.2 EXPOSITION

Trächtige C57BL/6N-Mäuse wurden ab dem sechsten Tag der Trächtigkeit bis zum Versuchsende einer chronischen (24 Stunden, 7 Tage/Woche) Ganzkörper-Exposition mit hochfrequenten elektromagnetischen Feldern des UMTS-Standards ausgesetzt. Die Expositionshöhen betragen: SAR 0 (Scheinexposition), SAR 0,04 und SAR 0,4 W/kg. Die trächtigen Tiere befanden sich einzeln in den Expositionskäfigen und konnten sich frei bewegen. Die Exposition erfolgte verblindet.

4. DURCHFÜHRUNG

4.1 EXPOSITIONSANLAGEN

Die verwendeten Expositionsanlagen kamen bereits in vorherigen Projekten im Auftrag des BfS (FM 8828 „Langzeitstudie an Labornagern mit UMTS-Signalen“, 3611S30017 „Tumorpromotion durch hochfrequente elektromagnetische Felder in Kombination mit kanzerogenen Substanzen“) zum Einsatz. Vor Expositionsbeginn wurden die Anlagen sorgfältig überprüft, technisch überarbeitet und Feldstärken und Temperaturen im Leerbetrieb gemessen. Des Weiteren erfolgte eine neue Berechnung der Ganzkörper-SAR-Werte (0,04 bzw. 0,4 W/kg) für eine trächtige Maus pro Käfig. Während der Exposition wurden Feldstärken und Innentemperaturen permanent messtechnisch überwacht und aufgezeichnet. Diese Arbeiten wurden von der Bergischen Universität Wuppertal (Lehrstuhl für Theoretische Elektrotechnik, Prof. Dr. M. Clemens) durchgeführt.

4.1.1 Exposition

Ab dem sechsten Tag der Trächtigkeit wurden alle trächtigen C57BL/6N-Mäuse in die Anlagen verbracht, jeweils 15 Mäuse pro Anlage, 1 Maus pro Käfig. Die Tiere wurden einer chronischen UMTS-Ganzkörper-Exposition (24 Stunden, 7 Tage/Woche) ausgesetzt und erhielten am Tag 14 Tag der Trächtigkeit eine einmalige ENU-Injektion in die Bauchhöhle. Alle Mäuse vertrugen die Injektion gut und überlebten bis zum geplanten Versuchsende, d. h. 24, 36 bzw. 72 Stunden nach erfolgter Injektion.

4.2 IMMUNOHISTOCHEMIE

24, 36 bzw. 72 Stunden nach erfolgter ENU-Injektion wurden die Muttertiere eingeschläfert und die Föten entnommen. Die Föten wurden gewogen und der Körper und der Kopf getrennt voneinander in Paraformol fixiert und nach 24 Stunden in eine Sucrose-Lösung überführt. Sobald Körper und Kopf in der Sucrose-Lösung abgesunken waren, wurden sie bei $-80\text{ }^{\circ}\text{C}$ eingefroren. Mittels Gefriermikrotom wurden $3\text{ }\mu\text{m}$ dünne Schnitte der Körper und Köpfe angefertigt und fixiert. Nach dem Trocknen wurden sie erneut bis zur weiteren Behandlung bei $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ eingefroren. Die Gewebeschnitte wurden mit 2 Fluoreszenzfarbstoffen markiert (Methode nach Seiler et al. (1993) und Thomale et al. (1994)). Zunächst wurden die Proben mit einem monoklonalen Antikörper (ER 17, Squarix, Marl) und anschließend mit einem 2. Antikörper inkubiert, der an den Fluoreszenzfarbstoff Cy3 gekoppelt ist, um die durch das ENU entstehenden Alkylierungsprodukte O^6 -Ethyl-Deoxyguanosin zu markieren. Anschließend wurde mit dem Fluoreszenzfarbstoff DAPI die gesamte DNA im Zellkern gefärbt. Als Negativkontrolle wurden Schnitte ohne den 1. Antikörper mitgeführt. Am Fluoreszenzmikroskop wurden Fotos von der Leber, der Lunge und dem Gehirn gemacht und anhand der Fotos die Fluoreszenzintensität der beiden Farbstoffe an jeweils 10 zufällig ausgewählten Zellen gemessen. Der Mittelwert dieser 10 Zellen geht in die weitere Analyse als einzelner Wert ein, um eine quantitative Aussage über die durch ENU verursachten Alkylierungen im Verhältnis zur gesamten DNA treffen zu können. Zur Auswertung der Fluoreszenzintensität wird die Open Source Software ImageJ genutzt.

4.3 STATISTISCHE AUSWERTUNG

Die statistische Auswertung erfolgte mittels zweifaktorieller Varianzanalyse (SPSS Version 23, IBM Corp.). Nach kompletter Analyse wurden die Rohdaten sowie die Auswertungen der Analysen dem Kooperationspartner (Universität Wuppertal, Lehrstuhl f. Theoretische Elektrotechnik) übermittelt. Danach wurde im Gegenzug mitgeteilt, welche Expositionsanlagen welchem SAR-Wert entsprach (Aufhebung der Verblindung).

5. ERGEBNISSE

Die im Antrag angegebene und begründete Mindestanzahl Föten pro Gruppe (16) wurde in keinem Fall unterschritten, sondern deutlich übertroffen. Weiterhin waren die Variationskoeffizienten ($\text{CV}\% = \text{Standardabweichung}/\text{Mittelwert}$) deutlich unter 36% , wie im Antrag angegeben. Damit waren die beiden wichtigen Randbedingungen für eine aussagekräftige und belastbare Statistik nicht nur erfüllt, sondern sehr deutlich übererfüllt, so dass die statistische Aussage sehr belastbar ist. Weiterhin wurden ausnahmslos in den Geweben jedes Tieres DNA-Schäden festgestellt, so dass von einer 100% Erfolgsquote der Induktion von DNA-Schäden ausgegangen werden kann.

Es fanden sich keine signifikanten Unterschiede zwischen den Expositionsgruppen (s. Abb. 1 – 3).

Die Abbildungen zeigen die Werte der DNA-Schäden in Gehirn, Leber und Lunge der Föten, ausgedrückt als Verhältnis der Fluoreszenzen von Cy3 (als Maß für DNA-Alkylierungsprodukte) und DAPI (als Maß für den gesamten DNA-Gehalt). Je höher der Wert, desto höher der DNA-Schaden. Dargestellt sind die Mittelwerte plus

Standardabweichungen. Die gestrichelte Linie markiert die Anfärbung ohne den Antikörper gegen das Alkylierungsprodukt und ist somit ein Maß für die unvermeidbare unspezifische Anfärbung.

Die statistische Analyse der DNA-Schäden im Gehirn (Abb.1) ergab keine signifikanten Unterschiede zwischen den unterschiedlich EMF-exponierten Tieren ($p = 0,17$). Tabelle 1 zeigt die Daten zu Abbildung 1.

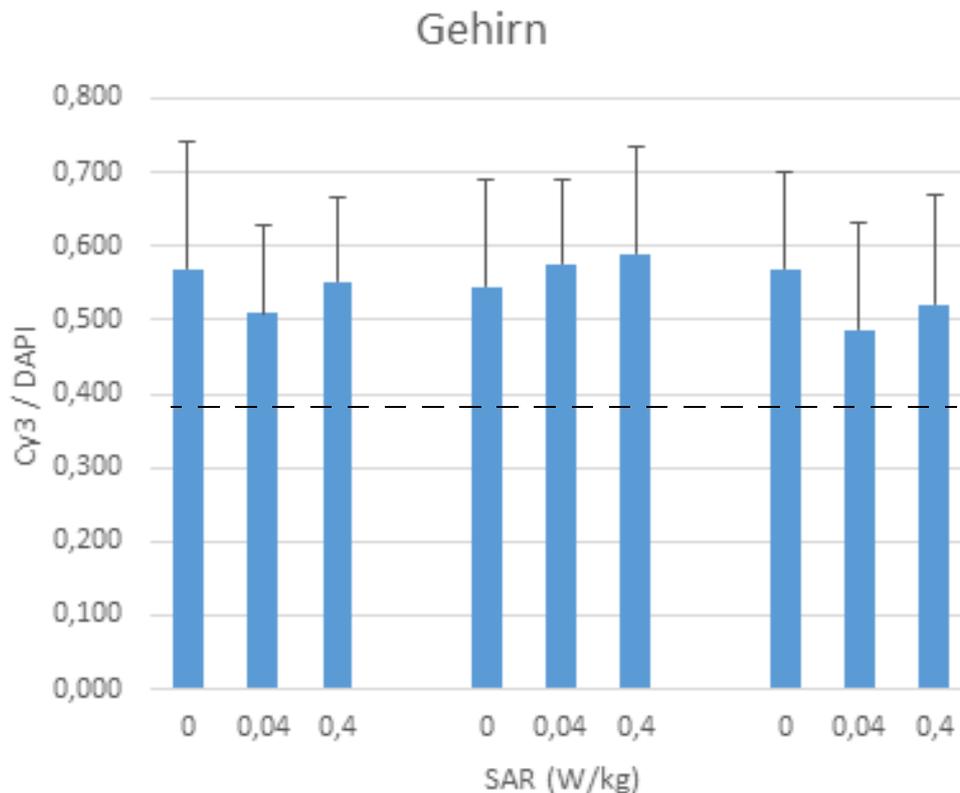


Abbildung 1: Werte der DNA-Schäden im Gehirn

Tabelle 1: Daten zu Abbildung 1 (Werte der DNA-Schäden im Gehirn)

SAR (W/kg)	0	0,04	0,4		0	0,04	0,4		0	0,04	0,4
Stunden	24	24	24		36	36	36		72	72	72
Mittelwert	0,559	0,599	0,588		0,568	0,486	0,485		0,609	0,532	0,519
Standardabweichung	0,179	0,135	0,130		0,147	0,162	0,119		0,170	0,186	0,149
Anzahl	26	25	26		30	28	31		57	28	24
% CV	32,0 %	22,5 %	22,2 %		25,9 %	33,4 %	24,6 %		27,9 %	35,0 %	28,7 %

Abbildung 2 und Tabelle 2 zeigen die Werte der DNA-Schäden der Leber der Föten, die statistische Analyse ergab keine signifikanten Unterschiede zwischen den unterschiedlich EMF-exponierten Tieren ($p = 0,406$).

Auch die statistische Analyse der DNA-Schäden der Lunge der Föten (Abb. 3, Tab. 3) ergab keine signifikanten Unterschiede zwischen den unterschiedlich EMF-exponierten Tieren ($p = 0,08$).

Die schwächsten DNA-Schäden waren in den Gehirnen festzustellen, die stärksten in der Leber. Diese Befunde decken sich mit den Beobachtungen aus den Studien von Tillmann et al. (2010) und Lerchl et al. (2015), wonach nur sehr wenige Tiere Gehirntumoren nach ENU-Gabe entwickelten, was auch für die Tierart insgesamt gilt; Ratten hingegen sind diesbezüglich wesentlich empfindlicher. Besonders interessant ist in diesem Zusammenhang, dass die Daten der vorliegenden Studie zeigen, dass es keinerlei Korrelation zwischen den Werten für die DNA-Schäden des Gehirns einerseits und Leber und Lunge andererseits gibt ($r = 0,02$ bzw. $0,04$), dass aber zwischen den Werten der Lunge und der Leber eine sehr hohe Korrelation existiert ($r = 0,703$,

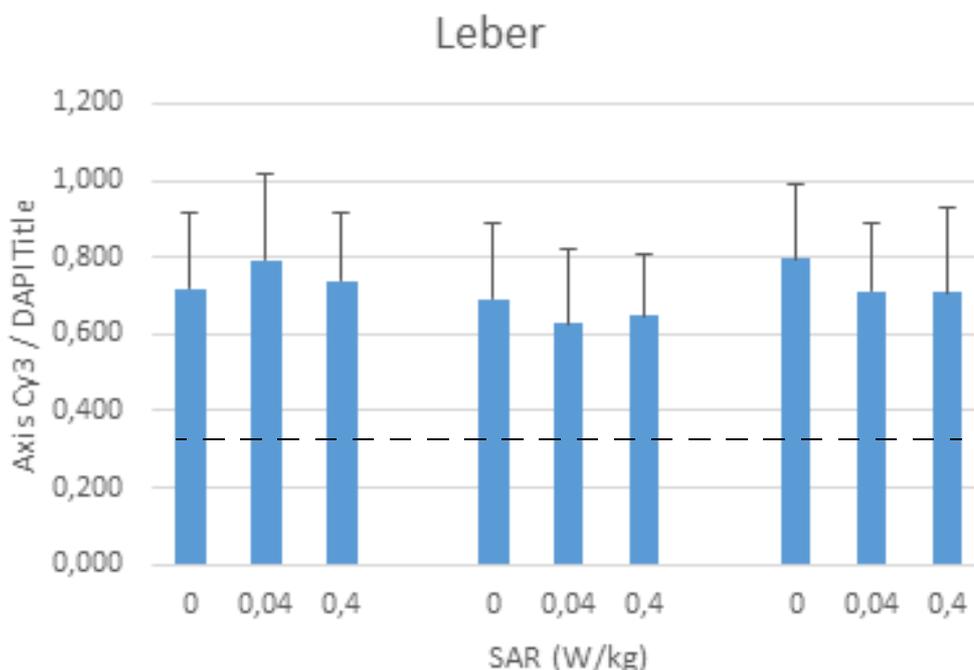


Abbildung 2: Werte der DNA-Schäden der Leber

Tabelle 2: Daten zu Abbildung 2 (Werte der DNA-Schäden in der Leber)

SAR (W/kg)	0	0,04	0,4		0	0,04	0,4		0	0,04	0,4
Stunden	24	24	24		36	36	36		72	72	72
Mittelwert	0,720	0,794	0,740		0,691	0,627	0,649		0,797	0,713	0,707
Standardabweichung	0,196	0,220	0,173		0,201	0,192	0,161		0,194	0,174	0,220
Anzahl	28	26	26		30	28	31		57	28	24
% CV	27,3 %	27,7 %	23,4 %		29,0 %	30,7 %	24,8 %		24,3 %	24,4 %	31,0 %

$p < 0,001$). Zusammen mit den nur geringfügigen DNA-Schäden im Gehirn könnte dies bedeuten, dass die Aufnahme von ENU in das Hirngewebe in Mäusen grundsätzlich geringer ist als in Ratten, wodurch die Unterschiede in der Fähigkeit zur Tumorinduktion erklärbar wären.

Insgesamt zeigt die Studie, dass die beobachteten Effekte einer erhöhten Anzahl von Tumoren in der Lunge und der Leber von Mäusen, die in utero mit ENU behandelt und lebenslang EMF-exponiert wurden, höchstwahrscheinlich nicht durch einen ko-karzinogenen Effekt durch EMF verursacht werden. Dies ist auch mit dem derzeitigen Kenntnisstand hinsichtlich der möglichen Wirkmechanismen hochfrequenter elektromagnetischer Felder kompatibel, denn außer thermischen Wirkungen wurde bislang trotz Jahrzehnten intensiven Forschens kein anderer Mechanismus identifiziert. Dies bedeutet andererseits aber, dass die als gesichert anzusehenden tumorpromovierenden Effekte im Tiermodell Maus eine andere Ursache haben müssen. Es erscheint zielführend, sich den dielektrischen Eigenschaften von Tumorgewebe zu widmen, da es erste Hinweise gibt, dass diese in Tumoren anders als im normalen Gewebe sind und EMF besser absorbiert werden. Dies könnte, zusammen mit der andersartigen Durchblutung von Tumoren, dazu führen, dass es in diesen Geweben zu thermischen Effekten kommt, die sich letztendlich in einem schnelleren Wachstum äußern.

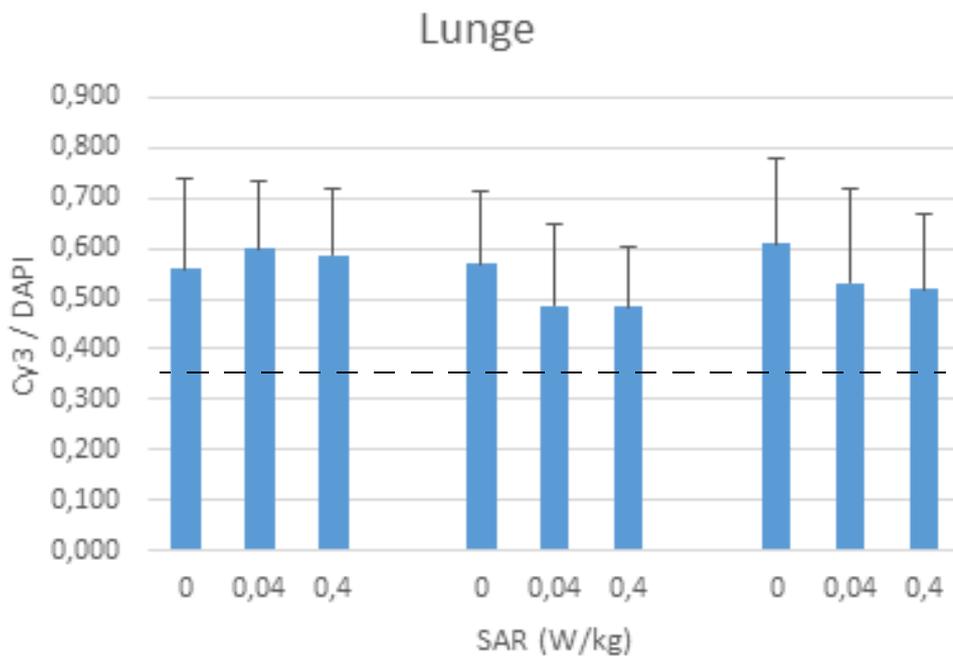


Abbildung 3: Werte der DNA-Schäden der Lunge

Tabelle 3: Daten zu Abbildung 3 (Werte der DNA-Schäden in der Lunge)

SAR (W/kg)	0	0,04	0,4	0	0,04	0,4	0	0,04	0,4
Stunden	24	24	24	36	36	36	72	72	72
Mittelwert	0,559	0,599	0,588	0,568	0,486	0,485	0,609	0,532	0,519
Standardabweichung	0,179	0,135	0,130	0,147	0,162	0,119	0,170	0,186	0,149
Anzahl	26	25	26	30	28	31	57	28	24
% CV	32,0 %	22,5 %	22,2 %	25,9 %	33,4 %	24,6 %	27,9 %	35,0 %	28,7 %

6. UMSETZUNG DER ERGEBNISSE

Das wichtigste Ergebnis ist, dass die Exposition mit hochfrequenten elektromagnetischen Feldern (HF-EMF) des Mobilfunks nach dem UMTS-Standard nicht kokarzinogen wirkt, da die durch ENU induzierten karzinogenen Effekte auf die DNA in drei Geweben der Maus nicht gesteigert werden. Dies wäre zu erwarten gewesen, wenn die in zwei Studien beobachteten tumorpromovierenden Effekte durch HF-EMF auf Kokarzinogenität zurückzuführen wären. Dieser Befund deckt sich auch mit theoretischen bzw. physikalischen Überlegungen, da die Energie im Frequenzbereich des Mobilfunks zu niedrig ist, um chemische Bindungen aufzubrechen und somit die DNA schädigen zu können. Deswegen ist von einem tumorpromovierenden Effekt auszugehen, wobei der zu Grunde liegende Mechanismus noch unbekannt ist. Weiteres Vorgehen beinhaltet eine wissenschaftliche Veröffentlichung der Ergebnisse, Information der Bevölkerung sowie weitere Untersuchungen der möglichen Wirkmechanismen.

Thema Nebenwirkungen bei Anwendungen optischer Strahlung in der Kosmetik - repräsentative Umfrage			
Subject <i>Side effects of using optical radiation in cosmetics - representative survey</i>			
Kennzeichen 3616S82432	Beginn 20.05.2016	Ende 28.02.2017	Fördermittel EUR 182.070,-
Forschungs- / Auftragnehmer aproxima Gesellschaft für Markt- und Sozialforschung Weimar mbH, Weimar			
Projektleitung S. Götte	Fachbetreuung BfS Dr. M. Asmuß / AG-SG 1.5		verantwortlich für den Text Dr. M. Asmuß

1. ZIELSETZUNG

Leistungsstarke Quellen optischer Strahlung wie Laser, intensive gepulste Lichtquellen („Blitzlampen“, IPL) und Leuchtdioden (LED) werden zunehmend zu kosmetischen Zwecken wie der dauerhaften Haarentfernung, der Entfernung von Tätowierungen oder kleinen Blutgefäßen sowie zur Faltenglättung verwendet. Zu den professionellen Anwendern gehören sowohl Ärzte als auch Personen ohne spezielle Fachkenntnisse. Hinzu kommen die Nutzer von Heimgeräten. Auftretende Komplikationen und Nebenwirkungen werden nicht systematisch erfasst. Ziel der Umfrage war es, die Informations- und Datenlage zu diesem Thema zu verbessern und insbesondere Aussagen über folgende Fragen treffen zu können:

- In welchem Umfang (prozentualer Anteil der befragten Altersgruppe) werden in Deutschland Quellen optischer Strahlung regelmäßig oder gelegentlich zu kosmetischen Zwecken der oben genannten Art verwendet?
- Was sind die relevanten Anwendungen (z. B. Epilation, Faltenminderung, Entfernung von Tätowierungen, Gefäßveränderungen oder pigmentierten Hautveränderungen)?
- Welche Strahlungsquellen werden vorwiegend dafür eingesetzt (Laser, IPL, LED)?
- Welchen Anteil haben unterschiedliche Anwendergruppen (Ärzte/Ärztinnen, Kosmetiker/-innen, sonstige kommerzielle Anwender, Heimgerätenutzer) an den Anwendungen?
- Wie häufig werden bei welchen Anwendungen Komplikationen/unerwünschte Nebenwirkungen beschrieben (z. B. vorübergehende oder bleibende Hautrötungen, Fehlpigmentierungen, Verbrennungen, Narbenbildungen)?
- Lassen sich bei der Häufigkeit von Komplikationen/unerwünschten Nebenwirkungen Unterschiede im Hinblick auf die verschiedenen Anwendergruppen feststellen?
- Wurde das Ziel der Anwendung erreicht?

2. EINZELZIELSETZUNG

Zur Beantwortung dieser Fragen wurde in folgenden Schritten vorgegangen:

2.1 AUFARBEITUNG DES AKTUELLEN STANDES VON WISSENSCHAFT UND TECHNIK

Für einen Überblick über die aktuelle Datenlage und als Informationsbasis für die Erstellung der Fragebögen für die Punkte 2) und 3) erfolgte eine umfassende Quellenrecherche. Sie betraf zum einen den aktuellen wissenschaftlichen Stand zum Thema (Wirkungsweisen optischer Strahlung, Vorsichtsmaßnahmen bei der Anwendung, Studien zu Nebenwirkungen). Zum anderen wurde der Anbietermarkt von Geräten zur Heimanwendung betrachtet.

2.2 DURCHFÜHRUNG EINER REPRÄSENTATIVEN NUTZER/-INNENBEFRAGUNG

Mittels einer Telefonbefragung (CATI) in der in Deutschland wohnhaften deutschsprachigen Bevölkerung ab 18 Jahren wurden repräsentative Anteile von Nutzer/-innen kosmetischer Anwendungen optischer Strahlung ermittelt und zu ihren Anwendungen und vertieft zu Anwendungen mit Nebenwirkungen befragt.

2.3 DURCHFÜHRUNG EINER BEFRAGUNG PROFESSIONELLER ANWENDER

Zusätzlich wurde die Seite der professionellen Anwender mittels einer - nicht repräsentativen - telefonischen Befragung beleuchtet. Da diese Informationen ergänzenden Charakter haben, wurde eine relativ niedrige Fallzahl von N=60 angestrebt.

2.4 AUSWERTUNG DER BEFRAGUNGSERGEBNISSE UND ABSCHLUSSBERICHT

Die Ergebnisse beider Befragungen wurden ausgewertet und der Abschlussbericht gefertigt.

3. METHODIK

3.1 AUFARBEITUNG DES AKTUELLEN STANDES VON WISSENSCHAFT UND TECHNIK

Die Quellenrecherche erfolgte über öffentliche Suchmaschinen, Publikationsverzeichnisse (z. B. PubMed), Bibliothekskataloge (z. B. FernUni Hagen) sowie Literaturverzeichnisse bereits gefundener Quellen. Gesucht wurden

- Grundlagen zu den Einsatzgebieten, den verwendeten Geräten und den Möglichkeiten optischer Strahlung bei kosmetischen Anwendungen
- wissenschaftliche Beiträge zu den Gefahren von optischer Strahlung bei kosmetischen Anwendungen und Präventionsmaßnahmen sowie
- Studien zu Nebenwirkungen bei der Anwendung optischer Strahlung in der Kosmetik.

Für den Marktüberblick zu Heimanwendergeräten wurden Online-Kaufportale (z. B. Amazon, Ebay, Alibaba) sowie Bedienungsanleitungen einschlägiger Geräte konsultiert.

3.2 BEFRAGUNG VON NUTZERINNEN UND NUTZERN

Die Befragung der Nutzerinnen und Nutzer basierte auf einer repräsentativen Bevölkerungsstichprobe. Dies ist notwendig, um die Nutzungsinzidenzen in der Bevölkerung (Frage 1) abschätzen zu können. Die Bevölkerungsstichprobe wurde über eine nach Region und Urbanitätsgrad geschichtete systematische Zufallsauswahl aus der ADM¹⁾-Auswahlgrundlage („ADM-Stichprobe“) erstellt. Auf Basis der Haushalte erfolgte die Zufallsauswahl mittels der Last-Birthday-Methode.

Aus dieser Bevölkerungsstichprobe wurden per Screeningfrage diejenigen Personen ermittelt, die bereits kosmetische Anwendungen mit optischer Strahlung genutzt haben. Diese erhielten detaillierte Fragen zu den Umständen der Anwendung und eventuell aufgetretenen Nebenwirkungen. Bei allen anderen Befragten wurden nur die zur Ermittlung der Stichprobengüte und Gewichtung notwendigen demographischen Faktoren ermittelt.

Zielgröße bei der Befragung der Nutzerinnen und Nutzer waren mindestens N=150 Personen mit dauerhaften Nebenwirkungen durch eine Anwendung optischer Strahlung in der Kosmetik.

3.3 BEFRAGUNG PROFESSIONELLER ANWENDER

Für die telefonische Befragung der Anwender bestand die Stichprobe aus Arztpraxen und nicht-ärztlichen Anbietern (Kosmetikstudios, Haarentfernungsstudios, etc.). Beide Gruppen wurden aus öffentlichen Verzeichnissen recherchiert. Dabei wurde beachtet, dass eine regionale Heterogenität bewahrt wurde und auch Anbieter unterschiedlicher Größe in die Stichprobe gelangten.

Zielgröße für die Befragung professioneller Anbieter waren je 20 Arztpraxen, 20 ausgebildete Kosmetiker/-innen und 20 sonstige nicht-ärztliche Anbieter (N=60).

4. DURCHFÜHRUNG

4.1 AUFARBEITUNG DES WISSENSCHAFTLICHEN KENNNTNISSTANDES

Die Aufarbeitung des wissenschaftlichen Kenntnisstandes erfolgte in einem Zwischenbericht. Dazu wurden bisher existierende Studien zu Nebenwirkungen bei der Anwendung optischer Strahlung in der Kosmetik recherchiert und für die Fragestellungen dieser Studie aufgearbeitet. Zum Teil daraus abgeleitet und mit Hilfe

¹⁾ Arbeitskreis Deutscher Markt- und Sozialforschungsinstitute

bisher existierender Verordnungen und Qualitätskriterien wurde die *Good Practice* bei der Nutzung von Lasern und IPL in der Kosmetik beschrieben. Zusätzlich erfolgte ein erster Überblick über die Anbieter, Geräte und Nutzer/-innen.

4.2 ERSTELLUNG UND PRETEST DER FRAGEBÖGEN

Auf Basis des Zwischenberichts wurden die beiden Fragebögen für die Befragungen (Nutzer/innen bzw. professionelle Anwender/innen) erstellt. Sowohl hier als auch beim Zwischenbericht selbst wurde die Expertise einer praktizierenden Dermatologin einbezogen. Die Fragebögen wurden anschließend in einer kleinen Stichprobe von Interviews getestet und leicht überarbeitet. Die Ergebnisse der Tests inklusive der Änderungsvorschläge wurden in Pretest-Berichten festgehalten.

4.3 DURCHFÜHRUNG DER INTERVIEWS

Die Feldphase der Nutzerbefragung umfasste den Zeitraum vom 26. September 2016 bis zum 11. Januar 2017. Die Anwenderbefragung fand im Zeitraum 02. November 2016 bis 08. Dezember 2016 statt. Die Interviews wurden im Telefonstudio von *aproxima* unter professioneller methodischer Betreuung und Kontrolle geführt.

5. ERGEBNISSE

5.1 NUTZERBEFRAGUNG

5.1.1 Umfang der Nutzung

Die Umfrage ergab, dass ca. 6,6 % der deutschsprachigen Bevölkerung ab 18 Jahren schon einmal eine Anwendung mit optischen Strahlenquellen (Laser oder IPL-Geräte) in Anspruch genommen oder in Heimanwendung selbst durchgeführt haben. Dies bedeutet unter Berücksichtigung der Fehlertoleranzen zwischen 4 und 5 Millionen Bürgerinnen und Bürger. Insgesamt nutzten mehr Frauen (67 %) als Männer (33 %) optische Strahlenquellen zu kosmetischen Zwecken.

5.1.2 Relevante Anwendungen

Die häufigsten von den Befragten genannten Anwendungen waren „Entfernung von Pigmentstörungen“, „Entfernung von Hautunebenheiten“ sowie „dauerhafte Haarentfernung“. Die Anteile der Anwendungen „Entfernung von Gefäßveränderungen“, „Tattooentfernung“, „Entfernung von Falten“ und „Entfernung anderer Hautveränderungen“ lagen jeweils unter einem Prozent der Gesamtstichprobe.

5.1.3 Strahlungsquellen

Aus Sicht der Nutzerinnen und Nutzer kommen überwiegend Laser zum Einsatz, insbesondere für die Entfernung von Pigmentstörungen und Hautunebenheiten. Nur für die dauerhafte Haarentfernung und die Faltenentfernung wurden in nennenswertem Umfang IPL-Geräte eingesetzt.

5.1.4 Anwendergruppen

83 % der Befragten hatten für die Anwendungen Arztpraxen aufgesucht, nur 14 % hatten die Anwendung bei einem nicht-ärztlichen Anbieter (ganz überwiegend Kosmetikstudios) durchführen lassen. Der Anteil der Heimgerätenutzer betrug nur 3 %. Den Großteil der aufgesuchten Ärzte machten Dermatologen aus (92 %) (s. Abb. 1).

5.1.5 Nebenwirkungen

Nur 42,5 % aller Anwendungen verliefen vollständig ohne Nebenwirkungen. In 39,5 % der durchgeführten Anwendungen traten vorübergehende Nebenwirkungen auf, in 18 % der Anwendungen auch bleibende. „Bleibend“ bedeutet in diesem Fall, dass die Nebenwirkung zum Zeitpunkt des Interviews noch anhielt.

Die häufigste berichtete Nebenwirkung war eine vorübergehende Rötung der behandelten Hautpartien (s. Abb. 2). Am zweithäufigsten kam es zu Krustenbildungen, auch diese waren fast immer vorübergehender Natur. Schwerwiegendere Nebenwirkungen wie Narben und Pigmentveränderungen (Über- oder Unterpigmentierungen der behandelten Hautpartien) waren demgegenüber überwiegend bleibend.

Auch Verletzungen an den Augen wurden abgefragt, jedoch glücklicherweise von keinem der Befragten genannt.

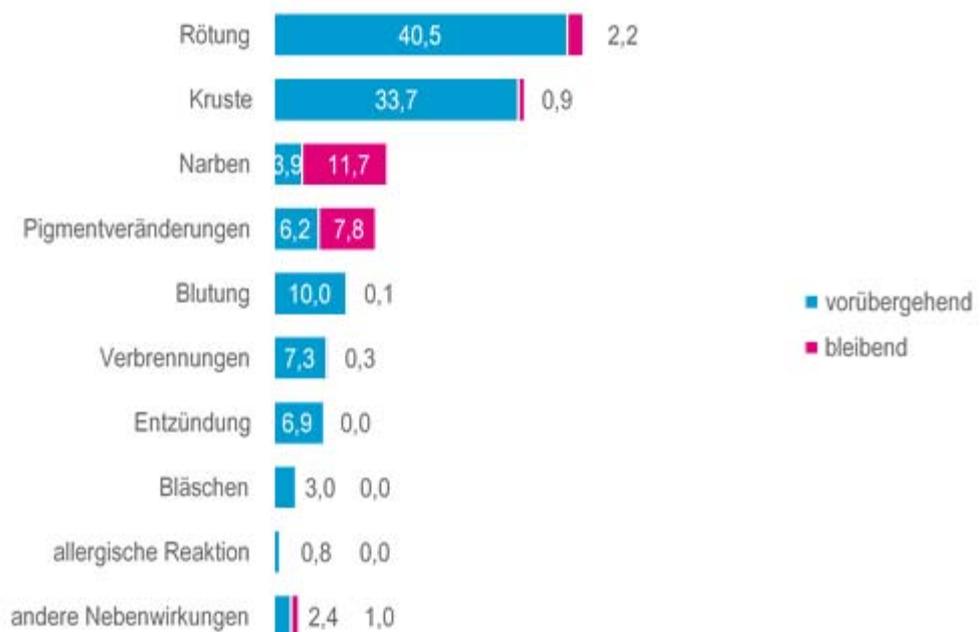
Anbieter der kosmetischen Anwendung mit optischer Strahlung



links: in Prozent aller detailliert abgefragten Anwendungen inkl. Heimanwendungen | N=743
rechts: in Prozent aller detailliert abgefragten professionellen Anwendungen | N=722

Abbildung 1: Anbieter der kosmetischen Anwendung mit optischer Strahlung

Auftreten von temporären und bleibenden Nebenwirkungen nach Nebenwirkungstyp



links: in Prozent aller angegebenen Anwendungen (Mehrfachnennungen pro Befragtem möglich) | N=872

Abbildung 2: Auftreten von temporären und bleibenden Nebenwirkungen nach Nebenwirkungstyp

5.1.6 Nebenwirkungen im Hinblick auf verschiedene Anwendergruppen

Insgesamt nannten die Befragten, die ihre Anwendungen in Arztpraxen durchführen ließen, einige Nebenwirkungen häufiger als die Befragten, die bei nicht-ärztlichen Anbietern gewesen waren oder Heimanwendungen

durchgeführt hatten. Allerdings unterschied sich das Anwendungsprofil zwischen ärztlichen und nicht-ärztlichen Anwendern deutlich. Während in den Arztpraxen die ganze Palette der genannten Anwendungen durchgeführt wird, konzentrieren sich die nicht-ärztlichen Anbieter überwiegend auf dauerhafte Haarentfernung. Nur die letzte Anwendung konnte daher zwischen den Anwender-Gruppen verglichen werden. Auch bei dieser Anwendungen wurden von den Befragten, die eine Arztpraxis aufgesucht hatten, einige Nebenwirkungen (Krustenbildung, Blutung, Verbrennungen) häufiger genannt. Gründe hierfür können aus der Befragung nicht abgeleitet werden.

5.1.7 Erreichtes Ziel/Zufriedenheit mit der Anwendung

Obwohl der Anteil an Anwendungen mit Nebenwirkungen höher als erwartet ausfiel, waren die Befragten mit dem Ergebnis der Behandlungen durch professionelle Anbieter sehr (62 %) oder eher (23 %) zufrieden.

5.1.8 Heimanwendungen

Bei den befragten Heimgärätenutzern war die Zufriedenheit mit dem Behandlungsergebnis geringer. Offenbar wurden die in die Anwendung gesetzten Erwartungen nicht immer erfüllt. Da im Falle der Heimanwendung die Nutzung der optischen Strahlenquellen in den Händen von Laien liegt, wurden diesem Personenkreis auch Fragen zu Herstellerinformationen und Bedienungsanleitungen gestellt. 71,4 % der Befragten gaben an, die Bedienungsanleitung vor Gebrauch des Gerätes gelesen zu haben, allerdings konnten sich 47 % dieser Gruppe an fast gar nichts erinnern, 33 % an eher wenige oder einzelne Dinge und nur 20 % meinten, sich sehr gut zu erinnern.

5.2 ANWENDERBEFRAGUNG

Interviews der Anwenderbefragung wurde mit den Personen geführt, die am besten Auskunft zu Anwendungen mit optischer Strahlung geben konnten oder wollten. In den Arztpraxen waren dies entweder Ärzte oder medizinisches Fachpersonal, in den Kosmetikstudios vorwiegend Kosmetikerinnen.

Zum Anwendungsprofil ergaben die Interviews, das von den nicht-ärztlichen Anbietern vor allem dauerhafte Haarentfernungen und Behandlungen zur Faltenglättung sowie Entfernungen von Tattoos mit optischen Strahlenquellen durchgeführt werden.

Von den befragten Kosmetikstudios wird meist nur eine optische Strahlenquelle verwendet, vorwiegend IPL-Geräte. In den Arztpraxen werden häufig mehrere Quellen eingesetzt, wobei die Laser im Vordergrund stehen. Bei den eingesetzten Lasern handelt es sich nach Angaben der Befragten überwiegend (ca. 70 %) um Medizinprodukte, bei den IPL-Geräten trifft dies nur auf ca. 40 % zu.

Die Frage nach unerwünschten Nebenwirkungen bei durchgeführten Behandlungen ist im Rahmen dieser kleinen, nicht repräsentativen Befragung zur bedingt zu beantworten. Ergebnisse müssen mit Vorsicht interpretiert werden. Auch den Anwendern zufolge stehen Hautrötungen an erster Stelle, gefolgt von Pigmentveränderungen, Krustenbildung und Bildung von Bläschen. Der Anteil der Behandlungen mit dauerhaften Nebenwirkungen (vor allem Pigmentveränderungen und Narben) liegt nach Einschätzung der Befragten unter drei Prozent. Als mögliche Erklärung für Nebenwirkungen wurde von den Anwendern am häufigsten das Verhalten der Nutzer genannt (61 %). 33 % sind nach Ansicht der Befragten der Behandlung geschuldet oder der Hautbeschaffenheit (28 %). Der mögliche Grund „Bedienfehler“ wurde nur in 9,4 % der Fälle genannt, Allergien, Unverträglichkeit oder Krankheit in 3,1 % der Fälle (Mehrfachnennungen möglich).

6. UMSETZUNG DER ERGEBNISSE

Die Ergebnisse der Umfrage sprechen dafür, dass bei kosmetischen Behandlungen mit optischer Strahlung häufiger als erwartet Nebenwirkungen auftreten. Meistens sind diese zwar vorübergehend und lassen sich bei manchen Anwendungen wohl auch nicht vermeiden. Allerdings treten in knapp einem Fünftel der Fälle auch bleibende Nebenwirkungen wie Narben oder Fehlpigmentierungen auf. Selbst wenn die Befragten mit den Ergebnissen der Anwendungen ganz überwiegend zufrieden waren, erscheint dieser Anteil bleibender Nebenwirkungen hoch. Aus Sicht des Strahlenschutzes spielt die Ausbildung professioneller Anbieter eine wichtige Rolle für eine sichere Anwendung optischer Strahlung. Eine rechtlich verbindliche Regelung der Fachkunde für nicht-medizinische Anwendungen wird als notwendig erachtet. Eine solche Verordnung zum Schutz vor schädlichen Wirkungen nichtionisierender Strahlung bei der Anwendung am Menschen wird derzeit im BMUB unter fachlicher Beteiligung des BfS erarbeitet. Die aus der Umfrage gewonnenen Ergebnisse werden in die Diskussionen zur Verordnung einfließen. Zudem werden sie zur Information der Bevölkerung herangezogen.

Thema			
Internationaler Workshop zum Zusammenhang zwischen neurodegenerativen Erkrankungen und Magnetfeldexposition – Stand des Wissens und Forschungsperspektiven			
Subject			
<i>International Workshop: Relationship between neurodegenerative diseases and magnetic field exposure - State of knowledge and research perspectives</i>			
Kennzeichen	Beginn	Ende	Fördermittel
3617102410	01.07.2017	28.02.2018	EUR 20.754,-
Forschungs- / Auftragnehmer			
Valentum Kommunikation GmbH			
Projektleitung	Fachbetreuung BfS	verantwortlich für den Text	
Dr. Blanka Pophof Dr. Gunde Ziegelberger Dr. Anne Dehos	PD Dr. B. Pophof / AG-SG 1.4 Dr. G. Ziegelberger / AG-SG 1.4	Valentum Kommunikation GmbH	

1. ZIELSETZUNG

Seit dem Ausstieg aus der Kernenergie und der zunehmenden Nutzung erneuerbarer Energien als Stromquelle wird der Stromnetzausbau bzw. die Umrüstung bestehender Netze in Deutschland weiter vorangetrieben. Diese Entwicklung kann dazu führen, dass die Bevölkerung vermehrt elektrischen und magnetischen Feldern ausgesetzt wird. Um die möglichen Auswirkungen genauer zu untersuchen, wurde vom Bundesamt für Strahlenschutz das Forschungsprogramm „Strahlenschutz beim Stromnetzausbau“ ins Leben gerufen. Ein Forschungsaspekt, der dabei genauer untersucht wird, beschäftigt sich mit dem möglichen Zusammenhang zwischen niederfrequenten Magnetfeldern und neurodegenerativen Erkrankungen wie Alzheimer und ALS.

Im Rahmen einer 2,5-tägigen Veranstaltung wurde der aktuelle Forschungsstand aus unterschiedlichen wissenschaftlichen Perspektiven umfassend beleuchtet, um daraus mögliche weitere Forschungsansätze ableiten zu können.

2. EINZELZIELSETZUNG

Unmittelbares Ziel der Veranstaltung war es, einen Überblick über den aktuellen Forschungsstand zu erhalten und neue Ansätze zu identifizieren, um auf deren Grundlage weitere Forschung aufzubauen. Für das Podium wurden internationale Rednerinnen und Redner aus verschiedenen Fachbereichen nach München eingeladen, um sich der Frage nach dem Zusammenhang zwischen Magnetfeldexposition und neurodegenerativen Erkrankungen von verschiedenen Seiten anzunähern. Ergänzt wurden sie durch ein internationales Teilnehmerfeld aus unterschiedlichen Fachbereichen.

Der Workshop wurde in acht inhaltlich aufeinander abgestimmte Sessions eingeteilt.

3. METHODIK

Der Workshop fand im Tagungssaal des Salesianums, Don Bosco in München Haidhausen-Au statt. Der Veranstaltungsort ist sowohl vom Flughafen als auch vom Hauptbahnhof mit einer direkten S-Bahn-Verbindung innerhalb von ca. 30 Minuten zu erreichen. Das Tagungscatering wurde durch den Veranstaltungsort geleistet.

3.1 PLANUNG UND ABLAUF DES WORKSHOPS

Die Aufgaben für die Organisation des Workshops wurden in drei Arbeitspakete eingeteilt.

3.1.1 Planung des Workshops (AP 1)

- Festlegung eines Veranstaltungstermins
- Auswahl eines Veranstaltungsortes und Einrichtung der notwendigen Infrastruktur (Technik, Catering)
- Einrichtung und Führung eines Tagungsbüros

- Erstellung einer Website und eines Flyers
- Rednermanagement
- Einladungsversand
- Strukturierung des Programms
- laufende Organisation und Vorbereitung des Workshops:
 - Registrierung der Teilnehmerinnen und Teilnehmer
 - Gestaltung und Druck der Namensschilder
 - Gestaltung und Druck des Programmhefts sowie weiterer relevanter Dokumente
 - Betreuung der Rednerinnen und Redner sowie Gäste im Vorfeld
 - Koordination der Unterkunft der Rednerinnen und Redner
- Erstellung eines Abstractbandes.

3.1.2 Durchführung des Workshops (AP 2)

Der Workshop sollte eine möglichst breite Sicht der Thematik abbilden. Zu diesem Zweck wurden Rednerinnen und Redner gebeten, Talks in verschiedenen Formaten und Längen vorzubereiten und mit Hilfe dieser einen Überblick über ihr Fachgebiet zu geben. Als Rednerinnen und Redner wurden Experten aus aller Welt geladen. Im Anschluss an die jeweilige Redezeit wurde den Teilnehmerinnen und Teilnehmern eine Diskussion ermöglicht. Dabei konnten die Zuhörer Statements zum Gehörten abgeben und ihre Fragen oder Kritikpunkte äußern. Diese Möglichkeit wurde in den meisten Fällen gerne angenommen und es entspann sich eine rege Diskussion.

Auf diese Weise konnte umfassender Input zu den verschiedenen Themenbereichen gesammelt werden.

3.1.3 Nachbereitung (AP 3)

- Bereitstellung der fotografischen Dokumentation der Veranstaltung
- Reisekostenabrechnungen
- Abschluss.

3.2 ORGANISATOREN

Die 2,5-tägige Veranstaltung „International Workshop: Relationship between neurodegenerative diseases and magnetic field exposure - State of knowledge and research perspectives“ wurde vom Bundesamt für Strahlenschutz veranstaltet.

Die inhaltlichen Details und Vorbereitungen des Workshops wurden vom Bundesamt für Strahlenschutz und dem wissenschaftlichen Komitee erarbeitet. Die organisatorische Umsetzung erfolgte mit Unterstützung eines externen Dienstleisters (Valentum Kommunikation GmbH).

4. DURCHFÜHRUNG

4.1 HINTERGRUND

Der Workshop fand vom 12. bis 14. Dezember 2017 in München statt. Unmittelbar nach dem Auftaktgespräch am 04. Juli 2017 wurde die Veranstaltungswebseite <https://www.neurodegenerative-workshop.de> eingerichtet. Hier wurden laufend aktuelle Informationen zum Programm und dem Ablauf der Tagung sowie die Möglichkeit zur Registrierung bereitgestellt. Zudem wurde der Einladungsflyer als Download zur Verfügung gestellt und per E-Mail an interessierte Kontakte versandt.

4.2 PROGRAMM

Mit 21 Vorträgen von geladenen Rednern aus neun Ländern sowie zwei Kurzvorträgen (Short Talks) wurde das Programm des 2,5-tägigen Workshops gestaltet. Das Programm wurde in acht Einheiten gegliedert, die den Inhalt aufeinander aufbauend strukturierten (s. Abb. 1).

Jede Einheit setzte sich aus den Präsentationen der Rednerinnen und Redner (20-35 Minuten) sowie so genannten Short Talks (10 Minuten) zusammen. Interessierte Teilnehmerinnen und Teilnehmer konnten sich im

Vorfeld durch die Einreichung eines Abstracts um einen Beitrag zur Veranstaltung in Form eines Short Talks bewerben. Insgesamt wurden zwei Abstracts aus zwei Ländern eingereicht.

Zwischen den Programmpunkten konnte das Publikum Fragen zu den Präsentationen stellen und Probleme oder Streitpunkte diskutieren. Den Abschluss der Veranstaltung bildete eine ca. einstündige Diskussionsrunde. Teilnehmende, Redner und Veranstalter tauschten sich hier noch einmal über das Gehörte aus und erörterten gemeinsam Ansatzpunkte für die Weiterentwicklung der Forschung. Auf Basis des erhaltenen Feedbacks wird nun die weitere Vorgehensweise erarbeitet.

In den Programmpausen sowie einem gemeinsamen Conference Dinner am zweiten Veranstaltungstag konnten die Gäste den Austausch sowie das Networking im lockeren Rahmen fortsetzen. Insgesamt nahmen 57 Personen aus 15 Ländern am Workshop teil. Die Teilnahme war für die Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter des Bundesamts für Strahlenschutz kostenlos.

5. ERGEBNISSE

Der Workshop hat die Erwartungen erfüllt und einen umfassenden Überblick über den aktuellen Stand der Forschung zum Zusammenhang zwischen neurodegenerativen Erkrankungen und niederfrequenten Magnetfeldern geliefert. Insgesamt zeigt sich, dass zunächst die Ergebnisse der aktuellen epidemiologischen Forschung in der Form von Metaanalysen bzw. gepoolten Analysen aktualisiert werden müssen. Sollte ein potenzieller Zusammenhang zwischen den genannten Erkrankungen und Magnetfeldern weiterhin bestätigt werden, wird geprüft, ob die beim Workshop vorgestellten molekularen Signaturen der Krankheiten geeignet sind um unter einer Magnetfeldexposition im Tiermodell oder in Zellen weiter untersucht zu werden.

6. UMSETZUNG DER ERGEBNISSE

Im Nachgang des Workshops wird vom Bundesamt für Strahlenschutz ein gemeinsamer Report mit dem Input der Rednerinnen und Redner in einer Fachzeitschrift veröffentlicht werden. Auf dieser Grundlage werden ggf. weitere Forschungsvorhaben initiiert.

Abbildung 1: Programm des Workshops

Program**Tuesday | December 12**

From 11:00 Arrival & registration | Welcome coffee & snacks

 12:30 – 12:45 Official welcome
 Michaela Kreuzer, Federal Office for Radiation Protection, Germany

Session 1: Introduction to neurodegenerative diseases: What we know and what we do not know

Chair: Blanka Pophof | Federal Office for Radiation Protection, Germany

12:45 – 13:30 ALS: Current views on clinics, etiology and therapies
 Julian Großkreutz, Germany

13:30 – 14:15 Alzheimer's disease: Current views on clinics, etiology and therapies
 Oliver Peters, Germany

Session 2: Exposure assessment

Chair: Jens Kuhne | Federal Office for Radiation Protection, Germany

14:15 – 14:45 Residential magnetic field exposure assessment
 Mike Silva, USA

14:45 – 15:15 Occupational exposure assessment - Electric work environment, magnetic fields, electric shocks, heavy metals and other exposures
 Hans Kromhout, The Netherlands

15:15 – 15:45 Coffee break

Session 3: Epidemiology: Low frequency magnetic fields as potential risk factors for neurodegenerative diseases

Chair: Gunde Ziegelberger | Federal Office for Radiation Protection, Germany

15:45 – 16:15 Residential MF and ALS/AD
 Martin Röösli, Switzerland

16:15 – 16:45 Occupational extremely low frequency magnetic fields exposure and neurodegenerative diseases
 Ximena Vergara, USA

16:45 – 17:15 ALS and the electric work environment: Electric shocks or magnetic fields?
 Leeka Kheifets, USA

 From 18:00 Informal Get-together at "Klinglwirt" | Balanstraße 16, 81669 Munich

Wednesday | December 13

From 08:30 Arrival & registration

Session 4: Etiology of ALS

Chair: Gunde Ziegelberger | Federal Office for Radiation Protection, Germany

09:00 – 09:45 Lessons from prospective population based-registers in ALS
James Rooney, Ireland

09:45 – 10:30 The genetics of ALS
Jochen Weishaupt, Germany

10:30 – 11:00 Coffee break

Session 5: Etiology of Alzheimer's disease

Chair: Blanka Pophof | Federal Office for Radiation Protection, Germany

11:00 – 11:45 The status of Alzheimer's genetics: From GWAS to NGS and beyond
Lars Bertram, Germany

11:45 – 12:30 Vitamin B12, folate and sulfur amino-acids as risk factors for
Alzheimer's disease and structural brain changes
Babak Hooshmand, Sweden

12:30 – 14:00 Lunch break

Session 6: Molecular pathways of ALS

Chair: Albrecht Clement | University of Mainz, Germany

14:00 – 14:45 Molecular pathways and animal models in ALS
Ludo van den Bosch, Belgium

14:45 – 15:15 FUS mouse and FUS pathogenesis
Jelena Scekcic-Zahirovic, France

15:15 – 15:45 Impaired DNA damage response signaling by FUS-NLS mutations
leads to aggregate formation, distal axonopathy and
neurodegeneration
Arun Pal, Germany

15:45 – 16:15 Coffee break

Short talks

Chair: Anne Dehos | Federal Office for Radiation Protection, Germany

16:15 – 16:30 Neurodegenerative disease and magnetic-field exposure: Findings
from the cohort study of UK electricity supply workers
John Swanson, UK

16:30 – 16:45 Extremely low frequency magnetic fields and Alzheimer's disease:
From mechanisms to epidemiology
Jonne Naarala, Finland

From 18:00 Conference Dinner at "Dreigroschenkeller" | Lilienstr. 2, 81669 Munich

Thursday | December 14

From 08:00 Arrival & registration

Session 7: Molecular Pathways of Alzheimer's disease*Chair: Blanka Pophof | Federal Office for Radiation Protection, Germany*08:30 – 09:00 The role of the blood-brain barrier in Alzheimer's disease
*Claus Pietrzik, Germany*09:00 – 09:30 Inflammation in Alzheimer's disease and ALS
*Patrick Weydt, Germany*09:30 – 10:00 Tau and Alzheimer's disease: The neurodegenerative triad of synaptic changes, dendritic simplification and neuron loss
Roland Brandt, Germany

10:00 – 10:30 Coffee break

Session 8: Molecular responses to low frequency magnetic field exposure in cellular and animal models*Chair: Gunde Ziegelberger | Federal Office for Radiation Protection, Germany*10:30 – 11:00 Extremely low frequency magnetic field exposure, inflammation and neurodegenerative diseases - In vivo and in vitro experimental evidence
*Myrtil Simkó, Austria*11:00 – 11:30 Potential effect of low-frequency magnetic fields (LF-MFs) on mouse models of amyotrophic lateral sclerosis and Alzheimer's disease
*Albrecht Clement, Germany*11:30 – 12:00 ELF-EMF and in vitro and non-transgenic in vivo models of neurodegenerative diseases
*Isabelle Lagroye, France*12:00 – 12:30 Genetic damage following ELF-MF exposure in vitro: Relation with Alzheimer's disease
Luc Verschaeve, Belgium

12:30 – 13:30 Discussion and research perspectives

13:30 – 14:30 Buffet & Adjourn

STATUSBERICHTE

der vom BfS begleiteten Strahlenschutz-Forschungsvorhaben des BMUB

STATUS REPORTS

of BfS supported BMUB radiation protection research projects

Themenbereich 01

Natürliche Strahlenexposition

Subject area 01

Natural radiation exposure

Thema

Erfassung der biokinetischen und dosimetrischen Unsicherheiten bei der Dosisermittlung nach Inkorporation von Uran und Radon-Folgeprodukten und deren Anwendung bei Bergbau-Arbeitern und Uran-Aufbereitern der WISMUT-Kohorte

Subject

Evaluation of the biokinetic and dosimetric uncertainties on the dose assesement following intake of uranium and radon progeny, and their application to miners and millers of the WISMUT-cohort

Kennzeichen
3615S12230

Beginn
01.05.2015

Ende
01.10.2018

Fördermittel
EUR 186.830,-

Forschungs- / Auftragnehmer

Karlsruher Institut für Technologie (KIT)

Projektleitung
Dr. B. Breustedt

Fachbetreuung BfS
Dr. A. Giussani / AG-SG 2.3

verantwortlich für den Text
Dr. B. Breustedt

1. ZIELSETZUNG

Ein wichtiger und immer aktueller Punkt im Strahlenschutz ist das Verständnis der Strahlenwirkungen bei niedrigen Dosen und Dosisleistungen. Die WISMUT-Kohorte, die ausführliche Daten über Bergbau-Arbeiter und Uran-Aufbereiter der ehemaligen Wismut AG enthält, kann sehr wertvolle Informationen über die Risiken nach Inkorporation von Uran beitragen und Untersuchungen der Zusammenhänge zwischen Organdosis und Endpunkten wie Tumorentstehung oder Mortalität ermöglichen. In den niedrigen Dosisbereichen ist die korrekte Bestimmung der Organdosen und der assoziierten Unsicherheiten wesentliche Voraussetzung für solche epidemiologische Studien.

Da die interne Dosis durch inkorporierte radioaktive Stoffe nicht gemessen, sondern nur mittels biokinetischer und dosimetrischer Modelle ermittelt werden kann, unterliegt sie deutlich größeren Unsicherheiten als die Dosis bei externer Exposition. Ziel des Vorhabens ist es, die biokinetischen Parameter der systemischen Modelle und die Parameter der dosimetrischen Modelle zu identifizieren, die am meisten zur Unsicherheit bei der Abschätzung der effektiven Dosis und der Organdosen nach Uranexposition für Bergbau-Arbeiter und Uran-Aufbereiter beitragen. Die Analyse ist auf Radon und seine Folgeprodukte auszuweiten, da diese Radionuklide eine erhebliche Exposition bei Bergmännern verursachen können. Mit Hilfe der Sensitivitätsanalyse können zusätzlich die Parameter und die Bestandteile der Modelle identifiziert werden, die am meisten zur Unsicherheit beitragen und deswegen in zukünftigen experimentellen Studien besser untersucht werden sollen.

2. EINZELZIELSETZUNG

Die Aufgabe ist in vier Arbeitspakete gegliedert. Das erste Paket befasst sich mit der Aufarbeitung des aktuellen Kenntnisstandes, die anderen drei Pakete decken die drei möglichen Expositionsquellen ab, die zu einer internen Dosis führen:

- Inhalation von Uran und anderen im Uranerzstaub vorhandenen langlebigen Radionukliden
- Inhalation von Radongas
- Inhalation von Radonfolgeprodukten.

In diesem Vorhaben sind die Unsicherheiten zu ermitteln, die durch die Anwendung der systemischen biokinetischen Modelle für die entsprechenden Radionuklide und der dosimetrischen Modelle bedingt sind. Die dabei betrachteten Zielorgane sind Leber, Niere, Herz, Magen, Dünndarm, Dickdarm (Colon) und rotes Knochenmark. Verwendet werden die aktuellsten Versionen der derzeit von ICRP in Überarbeitung befindlichen biokinetischen Modelle für Atemtrakt (HRTM), Verdauungstrakt (HATM) und die betrachteten Nuklide. Die für die Anwendung des HRTM benötigten Expositionsbedingungen und Absorptionsparameter sind je nach Tätigkeit und Expositionsquelle unterschiedlich.

3. METHODIK

Um die Kinetik radioaktiver Nuklide im menschlichen Körper zu beschreiben werden seit der Veröffentlichung von ICRP Publikation 30 im Jahr 1979 biokinetische Modelle im Kompartimentformalismus benutzt. Die einzelnen Organe/Gewebe, in denen sich der Stoff aufhält bzw. zwischen denen er transportiert wird, werden als kinetisch homogene Kompartimente betrachtet; d. h. jedes Teilchen, das in ein Kompartiment gelangt, steht sofort für den Weitertransport zur Verfügung (quasi eine instantane Durchmischung des Kompartimentinhaltes). Die Struktur eines Modells beschreibt die möglichen Stoffwechselffade für den betrachteten Stoff.

Die Lösung der zu den Kompartimentmodellen gehörenden Differentialgleichungssysteme erfolgt über Eigenwertanalyse. Durch die Notation in Vektor- und Matrixform lassen sich biokinetische Modelle durch nur zwei Variablen vollständig beschreiben: einen Spaltenvektor der Kompartimentinhalte sowie eine Transferkoeffizientenmatrix. Aus dem Spaltenvektor kann der Inhalt der Kompartimente zu jeder Zeit abgelesen werden. Falls Zuflüsse von außen vorhanden sind, können sie durch eine Zufuhrfunktion in einem eigenen Spaltenvektor dargestellt werden. Man erhält dann ein inhomogenes Differentialgleichungssystem. Die Transferkoeffizientenmatrix setzt sich aus den Stoffübergangskoeffizienten zusammen und spezifiziert die Geschwindigkeit, mit der der Transport des Stoffes von einem in ein anderes Kompartiment stattfindet. Um das Differentialgleichungssystem, welches das Zeitverhalten des Modells beschreibt, in Matrixschreibweise darzustellen, wird eine Kompartimentenmatrix aufgestellt. Diese erhält man aus der Transferkoeffizientenmatrix, indem man die Elemente der Hauptdiagonalen durch die negative Summe der Verluste des jeweiligen Kompartiments ersetzt. Als Lösung eines solchen linearen Differentialgleichungssystems erhält man eine Exponentialfunktion mit einer Matrix im Exponenten. Diese muss allgemein über eine Reihenentwicklung berechnet werden. Im Fall von Kompartimentenmatrizen kann das System alternativ durch eine Eigenwertzerlegung gelöst werden.

Zur Untersuchung der Auswirkungen von Variationen biokinetischer Modelle wurde ein Programm geschrieben, das biokinetische Modelle mit Hilfe der Eigenwertzerlegung lösen und die Ergebnisse statistisch auswerten kann. Für Monte-Carlo (MC)-Simulationen werden durch gezielte statistische Variation der einzelnen Matrixelemente neue Systemmatrizen erstellt und gelöst. Für die Rauschverteilung der Eingangsparameter lassen sich verschiedene Verteilungsformen wählen. Jede der so erstellten Transferkoeffizientenmatrizen stellt in der Monte-Carlo-Simulation ein Individuum dar. Durch Lösung vieler solcher Systeme können statistische Aussagen zu den Unsicherheiten getroffen werden.

4. DURCHFÜHRUNG

Die beiden Größen, die zur Berechnung der Dosiskoeffizienten multipliziert werden, sind die Anzahl der im Körper (bzw. den Organen) pro aufgenommenem Becquerel stattfindenden Kernzerfälle und der Energieübertrag pro Zerfall (S-Koeffizient).

4.1 BERECHNUNG DER ANZAHL DER KERNZERFÄLLE FÜR ZERFALLSREIHEN

Die Anzahl der im Körper stattfindenden Kernzerfälle wird durch Integration der mit den biokinetischen Modellen ermittelten Retentionskurven berechnet. Um nicht nur die Anzahl der Kernzerfälle der Mutternuklide, sondern die Gesamtanzahl der Zerfälle in den strahlenbiologisch relevanten Organen zu bestimmen, müssen für die WISMUT-Kohorte die biokinetischen Modelle der Radionuklide aus den natürlichen Zerfallsreihen von U-238 (Uran-Radium-Reihe), U-235 (Uran-Actinium-Reihe) und Th-232 (Thorium-Reihe) miteinander gekoppelt und gelöst werden. Die bei der Kopplung der Modelle einzelner Radionuklide zur Zerfallsreihe entstehenden Gesamtmatrizen sind dünn besetzt, d. h. außerhalb der direkten Umgebung der Hauptdiagonalen (Blockstruktur der Matrix) stehen nur Nullen. Die Übergänge innerhalb der Kompartimente eines Nuklides unterscheiden sich von den Übergängen zu den zugehörigen Kompartimenten des Tochternuklides um bis zu 14 Größenordnungen. Die Matrixzerlegung mittels Householdermethode wird deshalb auf Grund der begrenzten Rechnergenauigkeit numerisch instabil. Dies äußert sich in teilweise erratisch schwankenden Ergebnissen. Um diese bekannte Instabilität des Algorithmus zu vermeiden, wird bei langsamen Zerfällen der Zerfall aus den Matrizen herausgetrennt, außerhalb der Matrix schrittweise berechnet und über eine Anpassung der Eingangsvektoren berücksichtigt.

4.2 BERECHNUNG DER S-KOEFFIZIENTEN FÜR DIE BETRACHTETEN NUKLIDE

Die S-Koeffizienten werden mit Hilfe der spezifischen absorbierten Anteile (SAF¹)-Werte aus Voxelmodellen des menschlichen Körpers und den Kernzerfallsdaten (Teilchenarten, Energien, Emissionswahrscheinlichkei-

¹) specific absorbed fraction

ten) berechnet. Zur Berechnung der S-Koeffizienten aus den vom Auftraggeber zur Verfügung gestellten Daten der ICRP (SAF-Werte und Kernzerfallsdaten) wurde ein Programm „SCoeffCalc“ geschrieben. Dieses liest die Daten ein und berechnet die nuklidabhängigen S-Koeffizienten für die verschiedenen Kombinationen von Quell- und Zielorganen. Eine Besonderheit stellt das Organ „Other Tissues“ dar, in dem in biokinetischen Modellen mehrere Organe zusammengefasst werden. Hier muss die jeweils elementabhängige Definition der Kompartimente, welche die Quellregion „Other Tissues“ bilden, berücksichtigt werden.

5. ERGEBNISSE

Die Modelle für Atemtrakt, Verdauungstrakt und das systemische Verhalten der beteiligten Nuklide wurden in die Software zur Lösung der Modelle umgesetzt. Es wurden für die Standardparameter der Transferkoeffizienten die gesamten Nuklidketten bis hin zum stabilen Element Blei gelöst. Eine Analyse der Dosisbeiträge der einzelnen Nuklide für die definierten Szenarien zeigt, dass es in vielen Fällen nicht notwendig ist, die ganze Kette zu betrachten. Die Systeme können also gekürzt werden. Dieses spart Rechenzeit in den Monte-Carlo-Simulationen und erhöht die numerische Stabilität, da die Matrizen deutlich kleiner werden. Ausnahmen bilden die Nuklide der Th-232 Zerfallsreihe, hier sind von allen Nukliden nicht vernachlässigbare Dosisbeiträge zu beobachten.

Eine Analyse der Dosisbeiträge durch die einzelnen Strahlenarten zeigt, dass die überwiegenden Anteile der Dosis durch die Alpha-Strahlung deponiert werden. Organe, in denen keine Akkumulation der Nuklide erfolgt (z. B. Speiseröhre), erhalten oft jedoch die Dosis überwiegend durch Photonen bzw. Beta-Teilchen. Dies ist zu erwarten, da hier nur Anteile durch sog. Cross-Fire, d. h. Energiedeposition im Organ nach einem Zerfall in einem anderen Organ, beitragen. Dieses Cross-Fire setzt eine ausreichend große Reichweite der emittierten Strahlung voraus, welche für alpha-Teilchen nicht gegeben ist.

6. GEPLANTE WEITERARBEIT

Aus einer Literaturrecherche wurden Werte für die Breite der in den Monte-Carlo-Simulationen zu verwendenden Verteilungen der Modellparameter ermittelt. Es zeigt sich, dass LogNormal-Verteilungen die beste Wahl sind. Die Breite der Verteilungen wird über die geometrische Standardabweichung (GSD) definiert. Für die jeweiligen Modellparameter wurden entsprechende Verteilungen und Ihre Breiten definiert. Diese sollen nun in den Monte-Carlo-Läufen zur Produktion der Daten eingesetzt werden.

Parallel wurde ein Programm entwickelt, welches aus den Ergebnisdateien der Monte-Carlo-Läufe die jeweiligen Dosisverteilungen berechnet, diese darstellt und deren statistische Kenngrößen (Median, Quantile, ...) ermittelt. Mit diesem sollen die Daten analysiert werden.

Thema			
Qualifizierung der Luftdichtheitsmessung an Gebäuden zur Ableitung eines Prüfwertes im Hinblick auf die Unterschreitung des Referenzwertes der mittleren Radonkonzentration in Innenräumen			
Subject			
<i>Qualification of the air-tightness measurements of buildings by deriving a test value for the exceedance of a reference value for the average indoor radon concentration</i>			
Kennzeichen	Beginn	Ende	Fördermittel
3616S12241	01.05.2016	30.04.2018	EUR 177.857,-
Forschungs- / Auftragnehmer			
Institution, Ort IAF-Radioökologie GmbH, Radeberg			
Projektleitung	Fachbetreuung BfS	verantwortlich für den Text	
Dr. H. Schulz	Dr. W. Meyer / SW 1.1	Dr. H. Schulz, E. Hermann, R. Baumert	

1. ZIELSETZUNG

Ziel des Vorhabens ist die Entwicklung einer praxistauglichen Methode zur Prüfung der Radondichtheit neu errichteter Gebäude sowie die Ableitung von Prüfwerten, die die Einhaltung des Referenzwertes für die Radonkonzentration in Innenräumen gewährleisten. Die Testmethode soll nur eine Entscheidung „radondicht“ oder „nicht radondicht“ liefern, wobei die Ursachenermittlung über die Radonundichtheit nicht Gegenstand des Tests ist.

2. EINZELZIELSETZUNG

Im Vordergrund der Untersuchungen steht die Frage, ob das bei den Luftdichtigkeitsprüfungen der Gebäudehülle angewendete Unterdruckverfahren blower door Test (BDT) vorzugsweise auch für eine Radondichtheitsprüfung ins Kalkül zu ziehen ist. Die zu erarbeitende Prüfmethode kann, wenn notwendig, deutlich vom klassischen BDT zur Luftdichtigkeitsprüfung der Gebäudehülle abweichen. Es ist jedoch davon auszugehen, dass das zu prüfende Haus den gewöhnlichen BDT zur Luftdichtigkeitsprüfung der Gebäudehülle bereits bestanden hat.

2.1 ZUM TERMINUS „RADONDICHT“

Der im Vorhaben ins Auge gefasste Test soll nur eine Entscheidung "radondicht" oder „nicht radondicht“ liefern. Die Bewertung „radondicht“ impliziert, dass die daraus resultierenden Radonkonzentrationen als Langzeitmittelwert von 300 Bq/m^3 für Aufenthaltsräume bei einer Mindestluftwechselzahl von $0,5 \text{ h}^{-1}$ nicht überschritten werden sollen.

2.2 ZUR ANWENDUNG DER PRÜFMETHODE

Die zu entwickelnde Prüfmethode ist nicht im Rahmen der Bauüberwachung anzuwenden, sondern für die Bauabnahme. In diesem Zustand ist das zu bewertende Haus fertiggestellt, aber noch nicht bezogen und wird auch noch nicht genutzt. Für die Auswertung der Prüfergebnisse und Hochrechnung auf einen jährlichen Mittelwert der Radonkonzentration in einzelnen Räumen des Hauses sind Mindestluftwechselzahlen, die als eingeführte technische Regel vorliegen, zu nutzen und für den Vergleich von Langzeitmessungen reale Luftwechselzahlen zu berücksichtigen.

3. METHODIK

Im Vorfeld der Untersuchungen und zur Auswahl der Häuser werden zunächst im zu untersuchenden Haus in jedem Raum Radonmonitore aufgestellt und außer der zeitlichen Entwicklung der Radonkonzentration (vorzugsweise 10-Minuten-Takt) die der Rauminnentemperatur und der Luftfeuchte mit aufgezeichnet. Soweit möglich, werden auch die Differenzdrücke zwischen den einzelnen Räumen des Hauses erfasst und die Witterungsbedingungen mit einbezogen (Szenario 1).

Bei Kenntnis dieser im Vorfeld gewonnenen Informationen hinsichtlich der Radonsituation im gesamten Haus wird die Unterdruckmethode (blower door Test, BDT) mit dem Ziel angewendet, ob und unter welchen Bedingungen eine schnellere und gleichzeitig auch belastbare Prognose über die Radondichtheit des Hauses gewonnen werden kann (Szenario 2).

Abgesaugt wird vorwiegend an der Haustür, wobei der Hausflur als Mischkessel der aus allen Räumen des Hauses stammenden Volumenströme fungiert. Während dieser Absaugperiode werden zur Manifestierung der Randbedingungen für die Anwendbarkeit des BDT die Radonkonzentrationsentwicklungen in allen Räumen und auch die jeweiligen Differenzdrücke zwischen den Räumen weiter aufgezeichnet. In Einzelfällen werden auch an einzelnen Räumen, die als potenzielle Radoneintrittspfade fungieren, Unterdrücke angelegt.

4. DURCHFÜHRUNG

4.1 SZENARIO 1: PRÜFUNG DER RADONDICHTHEIT DES HAUSES OHNE ANLEGEN EINES UNTERDRUCKS

Zur Bewertung der Radondichtheit eines Hauses wird im Szenario 1 (Anstiegsmethode) auf eine Unterdruckanlage völlig verzichtet. Vor Bauabnahme wird in allen Räumen des Hauses die Radonkonzentrationsentwicklung zur Visualisierung des gesamten Radontransports im Haus aufgezeichnet. Die Visualisierung des Radontransports bzw. die Umverteilung des Radons aus der Quelle in die einzelnen Räume ist dann besonders transparent erfassbar, wenn vor Beginn das Haus gelüftet wurde. Aus den linearen Anstiegen der jeweiligen raumbezogenen Radonkonzentrationen können die Radonquellstärken Q_i für jeden einzelnen Raum oder eingeschränkt nur für die ausgewählten Aufenthaltsräume je nach Höhe der Quellstärke bereits nach 2 - 4 Stunden Messzeit bestimmt werden.

Da die Installation der Messgeräte am Tag vor der Bauabnahme erfolgt, kann in der Regel die Radonkonzentrationsentwicklung im Haus über 12 Stunden oder mehrere Tage (dazwischenliegendes Wochenende) aufgezeichnet werden, so dass eine sehr hohe Prognosesicherheit gegeben ist.

4.2 SZENARIO 2: PRÜFUNG DER RADONDICHTHEIT DURCH ANLEGEN EINES UNTERDRUCKS

Zur Prüfung der Radondichtheit eines Hauses wird in Anlehnung an den BDT ein Unterdruck angelegt, um die Radonquellstärke über die Radonkonzentrationsentwicklung im Abstrom zu bestimmen (Szenario 2, Unterdruckmethode). Auf die Radonquellstärke, die bei einer nahezu drucklosen Lüftung des Hauses immer existent ist, kann nur dann geschlossen werden, wenn sich im gesamten Unterdruckintervall bis ca. 50 Pa das Verhältnis der jeweiligen Intrusionsraten von radonhaltiger Luft aus dem Baugrund zu der aus der Außenluft annähernd konstant bleibt, so dass eine belastbare Extrapolation von höheren Unterdrücken auf niedrige Unterdrücke im Bereich von 2 - 4 Pa möglich ist. Ob dies für ein ausgewähltes Haus realisierbar ist, kann nur durch entsprechende Unterdruckversuche bei unterschiedlich hohen Luftwechselraten getestet werden.

Der erwartete Vorteil der BD-Messungen besteht darin, dass bei höheren Unterdrücken ein Plateauwert der Radonkonzentration im Mischkessel Flur, von dem meistens über die Haustür abgesaugt wird, bereits nach kürzeren Zeitspannen als mit der Anstiegsmethode praktiziert, erreicht werden könnte. Tatsächlich schlägt dieser Effekt jedoch nicht so stark zu Buche, da die Vermischung aller aus allen Räumen in den Flur gesaugten Radonaktivitätsströme, charakterisiert durch unterschiedliche Geschwindigkeiten und Temperaturen, kein instantaner Prozess ist. In jedem Fall liefert diese Methode bestenfalls eher nur einen pauschalen Überblick über die Radonintrusion in das Gebäude, jedoch keine Information darüber, wie sich die Radonkonzentrationen in den einzelnen Räumen des Hauses entwickeln könnten.

Abgesehen davon belegen die Untersuchungsergebnisse, dass die vom Mischkessel Flur abgesaugten Radonfrachten auch keinen belastbaren Mittelwert darstellen, der für das gesamte Haus zu veranschlagen wäre. Wegen der unterschiedlich hohen Luftgeschwindigkeiten mischen sich die ungleich starken Radonaktivitätsströme aus den einzelnen Zimmern nur zu einem bestimmten Grad vollständig. Müssen die Absaugversuche bei deutlich kleineren Differenzdrücken wiederholt werden, sind damit deutlich längere Messzeiten verbunden, so dass ein möglichen Vorteil des BDT nicht mehr zu Buche schlägt.

Alles in allem ist es schwierig, ein stringentes Urteil darüber zu fällen, ob man bei Kenntnis der einzigen akzessiblen Messgröße Radonquellstärke im Abstrom, d. h. des Produkts von Radonkonzentration im Abstrom und Absaugstrom, davon ausgehen kann, dass tatsächlich in jedem einzelnen Aufenthaltsraum des Hauses der Referenzwert von 300 Bq/m^3 eingehalten wird.

5. ERGEBNISSE

Die Messungen haben gezeigt, dass in einer als Normalzustand des Hauses zu definierenden Situation die Unterdrücke zwischen dem Hausinneren und der das Haus umgebenden Atmosphäre bei 2 - 4 Pa anzusetzen sind. Dies gilt auch für Häuser, die über eine nahezu drucklos arbeitende technische Lüftung verfügen. Die Einflüsse des Winds auf die Innenraumradonkonzentration ist sehr differenziert zu betrachten, da die mit der Höhe der Windgeschwindigkeiten induzierten Unterdrücke auch den Luftwechsel mehr oder minder stark beeinflussen können.

Die blower door (BD)-Unterdruckversuche (Szenario 2, Unterdruckmethode) an neu gebauten Häusern zur Bestimmung der Radondichtheit haben gezeigt, dass die direkte Anwendung solcher Verfahren zu keinen belastbaren Prognosen hinsichtlich der Radondichtheit führt, wenn nicht zusätzliche Randbedingungen erfüllt werden. Im Unterschied zum gewöhnlichen blower door test (BDT), bei dem nur instantane (sofortige) Reaktionen von Systemvariablen (z. B. Volumenströme) auf eine Druckänderung registriert werden, wobei die Luftvolumina aller Räume des Hauses involviert sind, verlaufen dagegen die Änderungen der Radoncharakteristiken in den einzelnen Räumen eines Hauses als vergleichsweise moderate Prozesse ab, die von der Lage und der Art der Radonquellen, dem Intrusionsverhalten des Radons in das Haus und vor allem auch von der Vermischung sowie dem Radontransport innerhalb des Hauses im starken Maße gesteuert werden.

Radondichtheitsprüfungen können nicht nach einer Unterdruckanlegung über einen kurzen Zeitraum bereits schlüssige Ergebnisse liefern. Zudem ist immer zu beachten, dass bei einem gewöhnlichen BDT vergleichsweise hohe Unterdrücke bis 50 Pa angelegt werden, und es dabei keine Rolle spielt, ob atmosphärische Außenluft oder radonhaltige Bodenluft in das Haus eindringt. Nur die „Luftdichtigkeit“ der Gebäudehülle allein ist von Interesse. Beim gewöhnlichen BDT spielt die Radonintrusion überhaupt keine Rolle, da die damit verknüpfte Radonintrusionsrate um mehrere Größenordnungen geringer ist als die Luftwechselrate durch die Gebäudehülle.

Es ist überdies zu beachten, dass sich bei erhöhten Unterdrücken die Radontransportvorgänge im Haus teils völlig anders entwickeln können als in den normalen Unterdrucksituationen von 2 - 4 Pa. Beim BDT werden vorrangig große Luftmengen über den Mischkessel, der sich direkt vor dem Unterdrucklüfter befindet, aus dem Haus abgezogen, ohne dass es zu der unter Normalbedingungen stattfindenden Umverteilung der aus den Quellen stammenden Radonfrachten kommt.

Die Gegenüberstellungen der Untersuchungsergebnisse von zwei Methoden (mit und ohne zusätzlichem Unterdruck) zur Radondichtheitsbestimmungen in neu gebauten Häuser haben gezeigt, dass die gleichzeitige Messung des Anstiegs der Radonkonzentrationen (Szenario 1, Anstiegsmethode) in ausgewählten oder allen Räumen eines Hauses ein robustes Verfahren darstellt, um die Radondichtheit eines Gebäudes unter Normalbedingungen belastbar nachzuweisen. Der Test mit erhöhten Unterdrücken könnte zwar zu schnelleren Ergebnissen führen, jedoch werden in der Regel die Randbedingungen von Radonintrusion und Luftwechsel teils so stark geändert, dass eine belastbare Prognose hinsichtlich einer unter Normalbedingungen zu veranschlagenden Radondichtheit des Hauses ohne zusätzlichen Messaufwand nicht ableitbar ist.

Ein erweiterter BDT könnte einen Fortschritt bedeuten, wenn gleichzeitig bei gewählten Unterdrücken in allen Räumen des Hauses Radonmonitore installiert werden, um die entsprechenden Radonkonzentrationsverläufe aufzeichnen zu können. Dies ist aber nur sinnvoll, wenn mehrere Unterdruckstufen ins Auge gefasst werden und überdies die Unterdrücke insgesamt im Bereich unterhalb 10 Pa angesiedelt werden. Unterschiedlich hohe Unterdrücke beeinflussen nicht nur das Radonintrusionsverhalten, sondern auch mehr oder minder stark die Umverteilung der im Normalfall existierenden Luftströmungen und der damit verknüpften Radonfrachten im Haus. Wird eine solche, auch als hoch komplexer Radondichtheitstest zu bezeichnende Vorgehensweise durchgeführt, bedeutet dies eine Abkehr von einem einfach durchführbaren Unterdrucktest, der für den gewöhnlichen BDT charakteristisch ist.

Zusätzlich sollte bei einem komplexen BDT auch die Messung der unterschiedlichen Differenzdruckverteilungen im Haus nicht außer Acht gelassen werden, da diese bei einer normalen Bewohnung des Hauses (z. B. geschlossene Innenräume) die Radonverfrachtung entscheidend mitbestimmen und letztlich oftmals entscheidend mit festlegen, ob in den Aufenthaltsräumen der Referenzwert von 300 Bq/m^3 eingehalten wird. Solch ein erweiterter BDT ist in der Regel weit aussagekräftiger, wenn bereits im Vorfeld der Dichtheitsmessungen zweckgerichtete Untersuchungen über die Radonsituation im Haus durchgeführt worden sind. Die Radonkonzentrationsentwicklungen in den Räumen erfolgen nicht momentan, sondern sind das Ergebnis von komplizierten Transportvorgängen.

Eingedenk aller zu berücksichtigenden Einflüsse erscheint die Ausarbeitung der durch Szenario 1 (Anstiegsmethode) gegebenen Möglichkeiten als aussichtsreicher für die Ableitung einer praxistauglichen Methode zur Prüfung der Radondichtheit neu errichteter Gebäude.

6. GEPLANTE WEITERARBEIT

Nach Abschluss der Messungen an den ausgewählten Häusern wird ein Vorschlag für die Bestimmung der Radondichtheit in einem Gebäude erarbeitet und die Robustheit der Messmethode anhand der gewonnenen Systemgrößen untersetzt. Dabei stehen die Praktikabilität, die Aussagekraft, die Kosten der Prüfung und die Prognosesicherheit für die Einhaltung des Referenzwerts von 300 Bq/m^3 in den Aufenthaltsräumen im Vordergrund.

Themenbereich 02
Strahlenschutztechnik

Subject area 02
Radiation protection techniques

Thema Entwicklung eines kombinierten aero-gammaspektrometrischen Mess- und Beprobungssystems			
Subject <i>Development of a combined aero-gammaspectrometric system for measurement and sampling</i>			
Kennzeichen 3616S22540	Beginn 01.09.2016	Ende 31.05.2018	Fördermittel EUR 359.999,-
Forschungs- / Auftragnehmer Brenk Systemplanung GmbH, Aachen Plejades GmbH Independent Experts, Griesheim			
Projektleitung Dr. S. Thierfeldt	Fachbetreuung BfS A. Helbig / SW 1.4	verantwortlich für den Text Dr. S. Thierfeldt	

1. ZIELSETZUNG

Das BfS verfügt über Gammaspektrometer, die in Helikoptern montiert werden können und für Überwachungsaufgaben sowie bei Störfällen oder Unfällen in kerntechnischen Anlagen mit Freisetzung die am Boden abgelagerte Aktivität ermitteln können (Aero-Gammaspektrometrie). Diese Geräte können allerdings nicht wirksam zwischen der tatsächlich am Boden abgelagerten Aktivität und der in der darüber befindlichen Luftsäule unterscheiden.

Dieses Forschungsvorhaben dient der Planung und Konstruktion eines Gerätes, das in der Lage ist, die Strahlungsbeiträge von radioaktiven Partikeln im Luftvolumen zu messen. Erst durch die Kenntnis dieses Beitrags zur gesamten Strahlung kann bei aerogammaspektrometrischen Messungen die korrekte Aufteilung in die Einzelbeiträge des Messsignals erfolgen, das durch die Kontamination des Bodens (Bodenstrahlung) und die radioaktiven Partikel in der darüber befindlichen Luftsäule hervorgerufen wird. Dies stellt insbesondere nach einem kerntechnischen Unfall mit erheblichen Strahlungsbeiträgen aus dem Luftvolumen (bzw. in Fällen, wo solche Beiträge vermutet werden müssen) eine wichtige zusätzliche Information dar.

2. EINZELZIELSETZUNG

2.1 PLANUNG UND KONZEPTIONIERUNG DES PROBENENTNAHMESYSTEMS (AP 1)

AP 1 dient der Zusammenstellung des aktuellen Standes von Wissenschaft und Technik für die Zwecke des Vorhabens, sowohl im Hinblick auf bereits vorliegende ähnliche Messgeräte als auch im Hinblick auf theoretische Grundlagen.

2.2 ENTWURF UND AUSARBEITUNG DES KONZIPIERTEN PROBENENTNAHMESYSTEMS (AP 2)

AP 2 dient der Ausarbeitung eines auf den Ergebnissen von AP 1 basierenden Entwurfs des Probenentnahmesystems und der Messgeräte. Hierbei werden insbesondere der Aerosoleinlass (zur repräsentativen Probenentnahme, Erfassung der Partikel im Bereich von 0,1 bis 20 μm), die Methodik der Abscheidung der Aerosole und die zu verwendenden Detektoren ausgelegt.

2.3 KONSTRUKTION DES SYSTEMS (AP 3)

AP 3 umfasst den Bau eines Prototyps des Probenentnahmesystems und des Messgeräts. Ferner werden die Details der Zulassung und Integration des Systems in einen Hubschrauber des Typs EC 135 der Bundespolizei geklärt und durchgeführt.

2.4 KALIBRIERUNG DES SYSTEMS (AP 4)

AP 4 umfasst die Kalibrierung des Prototyps für das Probenentnahmesystem.

3. METHODIK

3.1 PLANUNG UND KONZEPTIONIERUNG DES PROBENENTNAHMESYSTEMS (AP 1)

Im Hinblick auf die Planung und Konzeptionierung des Probenentnahmesystems wird zunächst eine Recherche in der Fachliteratur zur Darstellung des aktuellen Stands der Methoden zur Aerogammaspektrometrie und sonstiger Messungen der Aktivität von Luftfahrzeugen zur Entnahme von Luftproben sowie zur Kombination beider Verfahren durchgeführt. Daneben erfolgt auch ein Erfahrungsaustausch mit anderen Forschungsinstitutionen. Durch eine Marktanalyse wird ermittelt, welche Baugruppen verfügbar sind, die unmittelbar für die Konstruktion des Geräts eingesetzt werden könnten.

3.2 ENTWURF UND AUSARBEITUNG DES KONZIPIERTEN PROBENENTNAHMESYSTEMS (AP 2)

Im Rahmen von AP 2 wird das Gesamtmesssystem ausgelegt. Hierzu zählen neben der Auslegung des Probenentnahmesystems auch die Festlegung der Messstrategie und der daraus resultierende verfahrenstechnische Aufbau der Messeinrichtung sowie die Auswahl der jeweiligen Komponenten. Die erzielten Ergebnisse werden in einem Bericht detailliert dargestellt. Zur Auslegung des Probenentnahmesystems erfolgt die Berechnung des Druckverlustes, der durch eine Ansaugvorrichtung ausgeglichen wird. Bei der Auslegung der am Helikopter anzubringenden Probenentnahmevorrichtung werden die aus der luftfahrttechnischen Zulassung resultierenden Anforderungen berücksichtigt. Die benötigte Ansprechempfindlichkeit der Detektoren wird aus der Abschätzung der auf dem Filtermedium abgeschiedenen luftgetragenen Aktivität und der für die Messungen zur Verfügung stehenden Zeit berechnet. Die Daten werden insgesamt zur vollständigen Auslegung des Gerätes zusammengeführt.

3.3 KONSTRUKTION DES SYSTEMS (AP 3)

Die Konstruktion des Gerätes erfolgt auf Basis der Ergebnisse von AP 2 unter Einbeziehung einer Fachfirma für den Gerätebau sowie einer Beratungsfirma, die die Einhaltung der luftfahrttechnischen Anforderungen sicherstellt.

3.4 KALIBRIERUNG (AP 4)

Die Kalibrierung des Messsystems erfolgt während Helikopterflügen durch Messung von Radionukliden, die natürlicherweise in der Atmosphäre vorkommen. Ergänzende Kalibrierungen können durch Zufuhr von mit radioaktiven Aerosolen angereicherten Messgasen durchgeführt werden.

4. DURCHFÜHRUNG

4.1 PLANUNG UND KONZEPTIONIERUNG DES PROBENENTNAHMESYSTEMS

Grundlagen für das System zur Probenentnahme und zur Durchführung der Messungen während Helikopterflügen wurden aus der Literatur sowie aus konkreten, für den Einsatz an Drohnen und Helikoptern konzipierten Geräten, die am Institute for Environmental Geochemistry in Kiev (Ukraine) entwickelt wurden, erarbeitet und in einem Ergebnisbericht zusammengestellt.

4.2 ENTWURF UND AUSARBEITUNG DES KONZIPIERTEN PROBENENTNAHMESYSTEMS

Ein Entwurf für das System zur Probenentnahme und Messung wurde erstellt. Über ein außen am Helikopter befestigtes Rohr wird Luft eingesaugt und mit einem Schlauch ins Innere des Helikopters zum Messgerät geführt. Die Luft wird durch ein Filterband geleitet, auf dem sich während eines festgelegten Messintervalls Aerosolpartikel abscheiden. Während des nächsten Messintervalls wird das Filterband um eine Position weitergezogen, so dass die abgeschiedene Aktivität unter einem Gammaskpektrometer und einem alpha- bzw. betaempfindlichen Detektor zu liegen kommt und dort gemessen wird. Die durch die Abscheidung auf dem Filterband von den Aerosolpartikeln weitgehend befreite Luft wird anschließend in einer Messkammer bezüglich des Gehalts an radioaktiven Edelgasen gemessen. Ein Gebläse gleicht den Druckverlust im Messsystem aus.

5. ERGEBNISSE

5.1 PLANUNG UND KONZEPTIONIERUNG DES PROBENENTNAHMESYSTEMS

Die im Rahmen der Planung und Konzeptionierung des Probenentnahmesystems (AP 1) gewonnenen Ergebnisse zeigen, dass ähnliche Aufgaben im Zusammenhang mit der Untersuchung von luftgetragener und am Boden abgelagerter Aktivität in der Chernobyl Exclusion Zone mittels kompakter Geräte bereits durchgeführt worden sind. Allerdings wurde bisher noch kein Gerät konzipiert, das alle hier vorgesehenen Messaufgaben in sich vereinigt. Der berechnete Druckverlust im Probenentnahmesystem ist so gering, dass er durch ein handelsübliches Gebläse kompensiert werden kann. Einzelne Komponenten, die zur Konstruktion des Gerätes benötigt werden, sind insbesondere im Rahmen der im Institute for Environmental Geochemistry bereits konstruierten Geräte verfügbar und können von dort übernommen werden. Den gesamten Ablauf der Messungen steuert ein kompakter Einplatinencomputer mit entsprechenden Interfacekarten.

6. GEPLANTE WEITERARBEIT

Die geplante Weiterarbeit bezieht sich insbesondere auf den Abschluss der Ausarbeitung aller Komponenten des Gerätes und die in der endgültigen Konzeption erreichbaren Nachweisgrenzen, so dass eine Abstimmung mit dem BfS darüber erfolgen kann, ob das Gerät wie vorgesehen gebaut werden soll. Sofern die Zustimmung hierfür erteilt wird, wird mit der Konstruktion des Gerätes begonnen.

Themenbereich 03

Strahlenbiologie - Wirkung von ionisierender und nichtionisierender Strahlung,
Strahlenempfindlichkeit

Subject area 03

*Radiation Biology - Effects of ionising and non-ionising radiation,
radiosensitivity*

Thema

Identifizierung strahlenspezifischer Biomarker in Brusttumorpatienten - zu Grunde liegende molekulare Mechanismen der strahleninduzierten Mammakarzinogenese

Subject

Identification of radiation-specific biomarkers in breast cancer patients -molecular mechanisms underlying radiation-induced breast carcinogenesis

Kennzeichen
3615S32454

Beginn
15.11.2015

Ende
14.05.2018

Fördermittel
EUR 273.208,-

Forschungs- / Auftragnehmer

Helmholtz Zentrum München, Abteilung für Strahlenzytogenetik, Neuherberg

Projektleitung
Prof. Dr. H. Zitzelsberger

Fachbetreuung BfS
U. Oestreicher / AG-SG 1.2

verantwortlich für den Text
Prof. Dr. H. Zitzelsberger

1. ZIELSETZUNG

Das Ziel des Vorhabens besteht darin, strahlenspezifische Biomarker in Tumorzellen von Brustkrebspatienten mit Hilfe molekular-zytogenetischer Verfahren in unabhängigen Brustkrebskollektiven zu validieren. Hierzu wird ein bestehendes Patientenkollektiv aus Tschernobyl-Liquidatorinnen erweitert bzw. ein neues Patientenkollektiv von Brustkrebspatientinnen aus der Mayak-Kohorte etabliert. Bisher wurden in zwei aufeinander abgestimmten Studien zu dieser Thematik entscheidende Grundlagen geschaffen und mögliche strahlenspezifische Marker auf Genom-, Chromosomen- und Expressionsebene in Tumorgewebe identifiziert. Darüber hinaus soll die Rolle dieser Marker bei der Strahlenkarzinogenese der Brust mechanistisch untersucht werden, um eine verbesserte Einschätzung des Brustkrebsrisikos durch Strahlung zu ermöglichen.

2. EINZELZIELSETZUNG

Während des Berichtszeitraums wurden folgende Einzelziele verfolgt:

2.1 ETABLIERUNG EINES NEUEN PATIENTENKOLLEKTIVS (MAYAK-KOHORTE)

Es soll ein weiteres unabhängiges Patientenkollektiv (n=50) aus Brustkrebsfällen der Mayak-Kohorte (ehemalige Arbeiterinnen der Wiederaufarbeitungsanlage Mayak (Chelyabinsk) zur Validierung der Befunde aus der Vorgängerstudie etabliert werden.

2.2 ERWEITERUNG DES BESTEHENDEN BRUSTKREBSKOLLEKTIVS (TSCHERNOBYL)

Das ukrainische Patientenkollektiv (Liquidatorinnen des Tschernobyl-Unfalls) soll erweitert werden. Hierzu sollen Patientinnen älter als 60 Jahre bei Operation (OP) (n=50) einbezogen werden, die der Mayak-Kohorte hinsichtlich Alter und klinisch/pathologischen Parametern entsprechen.

2.3 DOSISREKONSTRUKTION

Für die ausgewählten Fälle des Tschernobyl-Kollektivs soll eine Dosisrekonstruktion auf der Basis von Interviews und Anwendung der RADRUE-Software durchgeführt werden. Für die Mayak-Kohorte sollen Fälle ausgewählt werden, für die bereits Dosisabschätzungen vorliegen.

2.4 VALIDIERUNG VON STRAHLENMARKERN AUS DER VORLÄUFERSTUDIE

Es sollen die in der Vorläuferstudie entdeckten Strahlenmarker in den Kollektiven 2.1 und 2.2 validiert werden. Hierfür sollen immunhistochemische Analysen (TRPS-1), qRT¹⁾-PCR Analysen (miRNA-Marker) und Array-basierte Verfahren für die globale Untersuchung von genomischen Kopienzahlveränderungen angewendet werden.

¹⁾ quantitative Real-Time

2.5 UNTERSUCHUNG VON NORMALGEWEBEN/BLUTPROBEN

Es sollen die validierten miRNA-Marker in Normalgewebe- oder Blutproben der Kollektive 2.1 und 2.2 analysiert werden.

3. METHODIK

3.1 ZUSAMMENSTELLUNG DER TUMORKOHORTE

Zur Identifizierung geeigneter Brustkrebsfälle für die Erweiterung des bestehenden Tschernobyl-Kollektivs wurde das nationale Krebsregister der Ukraine, das staatliche Tschernobyl-Register in Kiew sowie die Patientenregister verschiedener Kliniken, in denen die Liquidatoren des Reaktorunfalls erfasst sind, abgeglichen.

3.2 DOSISREKONSTRUKTION

Die individuellen Dosen für Liquidatorinnen wurden unter Verwendung der RADRUE-Methode basierend auf individuellen Interviews rekonstruiert. Die von einem Experten aufbereiteten Daten wurden in die RADRUE-Software übertragen. Am Ende der Analyse wurden die Dosisrekonstruktionen auf ihre Konsistenz hin überprüft und mit unabhängigen Dosisinformationen für die untersuchte Person verglichen.

3.3 ANALYSE VON GENOMISCHEN KOPIENZAHVERÄNDERUNGEN

Mit Hilfe von Array CGH wurden die Tumorproben aus Mayak und 24 Tumoren von Liquidatorinnen aus der Ukraine analysiert. Die Kopienzahlprofile werden hinsichtlich genomischer Kopienzahlveränderungen ausgewertet und mit den Ergebnissen des Vorgängerprojekts verglichen.

3.4 IMMUNHISTOCHEMISCHE ANALYSE DER TRPS-1-EXPRESSION

Um die Kollektive unter 2.1 und 2.2 hinsichtlich der TRPS-1-Expression zu untersuchen, wurden Gewebeschnitte der einzelnen Fälle mit einem TRPS-1-spezifischen Antikörper in einer automatisierten Färbe-Plattform (Ventana) angefärbt und hinsichtlich der Färbeintensität ausgewertet.

3.5 qRT-PCR-ANALYSEN ZUR BESTIMMUNG DER HSA-MIR-26B-5P-EXPRESSION

Um die Expression der miRNA-26b-5p zu bestimmen, wurden qRT-PCR-Analysen mit Hilfe eines spezifischen Primers (wie bei Wilke et al. 2018 publiziert) durchgeführt.

4. DURCHFÜHRUNG

4.1 ETABLIERUNG EINES MAMMAKARZINOM-KOLLEKTIVS UND DOSISREKONSTRUKTION

Das Brustkrebs-Kollektiv für die Gruppe der Liquidatorinnen wurde wie unter 3.1 beschrieben zusammengestellt. Es wurden 73 Patientinnen identifiziert, von 46 Patientinnen wurden Interviews für die Dosisabschätzung durchgeführt. Von den zugehörigen Gewebeproben wurden Mikrotom-Schnitte hergestellt. Von 30 Patientinnen wurde die bekannten Brustkrebsmarker analysiert. Das Mayak-Kollektiv wurde vollständig zusammengestellt und den molekulargenetischen Untersuchungen unterzogen.

4.2 UNTERSUCHUNGEN AN PARAFFINSCHNITTEN

Das bereits vollständige Mayak Kollektiv wurde mittels Array-CGH (genomische Kopienzahl), qRT-PCR (miRNA) und Immunhistochemie (TRPS-1) analysiert. Gleichzeitig wurden 24 Brustkrebsfälle der Liquidatorinnen aufgearbeitet.

4.3 GENOMISCHE KOPIENZAHLSIGNATUR

Zur Generierung der Signatur wurde die logistische Regression verwendet. Diese berechnet aus einer Kombination von Kopienzahlveränderungen die Wahrscheinlichkeit für die molekulare Zugehörigkeit eines Falles zur exponierten Gruppe. Das Modell wurde mit Hilfe der Maximum-Likelihood Methode mit schrittweiser Variablenselektion angepasst. Um die Anzahl der Variablen (Overfitting) zu begrenzen, wurde das Akaike-Informationskriterium (AIC) verwendet.

4.4 UNTERSUCHUNGEN VON NORMALGEWEBE

Da bei den Interviews viele Patientinnen eine Blutprobe verweigert hatten, wurde von den verfügbaren Parafinblöcken der Liquidatorinnen Normalgewebeschnitte ausgewählt, die für eine Untersuchung der Strahlenmarker (hsa-miR-26b-5p, TRPS-1) vorgesehen sind.

5. ERGEBNISSE

Im Berichtszeitraum wurden folgende Ergebnisse erzielt:

5.1 DOSISABSCHÄTZUNG EXPONIERTER FÄLLE

Die bereits berichtete Dosisabschätzung des exponierten Tschernobyl-Kollektivs mit Hilfe der RADRUE-Methode konnte für 71 Patientinnen erfolgreich publiziert¹⁾ werden. Es ist die erste Studie zur quantitativen Dosisabschätzung von Liquidatorinnen und zeigt eine große inter-individuelle Variabilität der geschätzten Dosen.

5.2 GENOMISCHE KOPIENZAHLSIGNATUR

Die bereits berichtete Kopienzahl-Signatur, die den Expositionsstatus der Fälle anzeigt und aus 9 verschiedenen Kopienzahlveränderungen besteht, wurde erfolgreich zur Publikation eingereicht. Mit Hilfe einer Ensembl-Datenbankrecherche wurden Gene und miRNA in den 9 Regionen der Kopienzahl-Signatur identifiziert. Es fand sich auch die hsa-miR-26b-5p (mit Strahlenexposition assoziiert) in der Verlustregion auf 2q35. Des Weiteren wurde eine technische Validierung der Signatur mit genomischer qPCR durchgeführt: zu jeder der 9 Regionen der Signatur wurde ein repräsentatives Gen oder eine Subregion ausgewählt. Die mit Array CGH gefundenen Kopienzahlveränderungen wurden mit qPCR bestätigt ($p < 0.05$). Die Signatur ist nicht zur Expression bekannter Brustkrebsmarkern assoziiert (unabhängige Assoziation zur Strahlenexposition). Für die Validierungskollektive (Mayak und Liquidatorinnen) wurden array-CGH-Analysen durchgeführt, die noch ausgewertet werden.

5.3 STRAHLENASSOZIIERTE HSA-MIR-26B-5P UND TRPS-1-EXPRESSION

Die bereits berichtete Assoziation der Expression von hsa-miR-26b-5p und deren Targetgen TRPS-1 mit dem Expositionsstatus der Tumorfälle von Liquidatorinnen konnte erfolgreich publiziert²⁾ werden. Die TRPS-1-Färbungen für die Validierungskollektive (Mayak und Liquidatorinnen) wurden durchgeführt und werden ausgewertet.

6. GEPLANTE WEITERARBEIT

Im letzten Projektabschnitt werden die Dosisabschätzung der Fälle des Validierungskollektivs (Liquidatorinnen) sowie die Auswertungen zu genomischen Kopienzahl-, miRNA- und TRPS-1 Veränderungen für beide Validierungskollektive (Mayak, Liquidatorinnen) abgeschlossen. Des Weiteren erfolgen die Analysen der Strahlenmarker an Normalgewebeproben und die Identifizierung von möglichen weiteren Targetgenen (außer TRPS-1) der Marker miRNA hsa-miR-26b-5p.

¹⁾ Chumak et al., Doses of Ukrainian female clean-up workers with diagnosed breast cancer. *Environ Radiat Biophys*, in press

²⁾ Wilke et al., Expression of miRNA-26b-5p and its target TRPS1 is associated with radiation exposure in post-Chernobyl breast cancer. *Int J Cancer* 142:573-583, 2018

Thema

Charakterisierung von Exosomen nach In-vitro- und In-vivo-Bestrahlung als Marker der Strahlenexposition

Subject

Characterisation of exosomes after in vitro and in vivo irradiation as biomarker for radiation exposure

Kennzeichen
3616S32260

Beginn
01.06.2016

Ende
31.05.2019

Fördermittel
EUR 369.353,-

Forschungs- / Auftragnehmer

Helmholtz Zentrum München, Institut für Strahlenbiologie, 85764 Oberschleißheim

Projektleitung
Dr. S. Moertl

Fachbetreuung BfS
Dr. S. Hornhardt / AG-SG 1.2

verantwortlich für den Text
Dr. S. Moertl

1. ZIELSETZUNG

Exosomen sind eine Klasse von Mikrovesikeln, die nach neuesten Forschungserkenntnissen bedeutende Akteure in der Zell-Zell-Kommunikation sind. Sie werden von Zellen freigesetzt und sind in allen Körperflüssigkeiten zu finden. Ziel dieses Projekts ist eine systematische Analyse der microRNA und Proteinbeladung von Exosomen, die nach ionisierender Bestrahlung von gesunden Zellen freigesetzt werden. Aus den erhobenen Daten sollen exosomale microRNAs und Proteine identifiziert werden, die als Indikatoren/Biomarker für Strahlenexposition eingesetzt werden können und die eine weitere Ebene zur Bewertung von Strahleneffekten im Strahlenschutz darstellen.

2. EINZELZIELSETZUNG

Das Projekt ist in fünf Arbeitspakete gegliedert:

- Aufarbeitung des relevanten Standes von Wissenschaft und Technik (AP 1)
- Charakterisierung des Proteoms von Exosomen (AP 2)
- Charakterisierung der Oberflächenproteine von Exosomen (AP 3)
- Bestimmung von microRNAs aus Exosomen (AP 4)
- Bestimmung von ausgewählten microRNAs und Proteinen in Exosomen von Radiotherapiepatienten (AP 5).

3. METHODIK

Zur Identifizierung von exosomalen Proteinen als Strahlenexpositionsmarker werden Protein- und miRNA-Analysen von Exosomen aus vier verschiedenen humanen Zelltypen durchgeführt (Human Coronary Artery Endothelial cell line HCAECest2, Human Breast Epithelial cell line MCF10A, Human Skin Fibroblast cell line 1BR.3) und humane primäre Lymphozyten (gepoolt aus drei Spendern) nach Bestrahlung mit 0, 0,1, 2 und 6 Gy untersucht. Kandidaten-Proteine bzw. microRNAs werden mittels Western Blot und qPCR¹⁾ validiert und darüber hinaus in Plasmaproben von Strahlentherapiepatienten untersucht.

4. DURCHFÜHRUNG

Zunächst werden durch Gesamtproteomanalysen (label-free, Filter-gestützte Aufarbeitung (FASP)) und RNA-Sequenzierung (HiSeq Rapid SBS Kit, Illumina) strahlenregulierte exosomale Komponenten identifiziert. Um eine mögliche Dosis-abhängige Regulation exosomaler Proteine zu untersuchen werden Exosomen nach Bestrahlung mit 0, 0,1, 2 und 6 Gy untersucht.

Nach Abschluss der Screeningphase werden Kandidatenproteine durch alternative Methoden validiert. Für strahlenveränderte membranständige Kandidatenproteine wird zusätzlich deren Oberflächenexpression mittels Durchflusszytometrie quantifiziert. Nach Abschluss der In-vitro-Analysen werden Kandidaten Proteine

¹⁾ quantitative Echtzeit-PCR

und miRNAs mittels Western Blot und qPCR in Plasmaproben von Strahlentherapiepatienten analysiert. Ein positives Ethikvotum für die Experimente an Blutproben von Strahlentherapiepatienten wurde erteilt.

5. ERGEBNISSE

5.1 AUFARBEITUNG DES RELEVANTEN STANDES VON WISSENSCHAFT UND TECHNIK (AP 1)

Der relevante Stand von Wissenschaft und Technik wurde in einem Bericht zusammengestellt.

5.2 CHARAKTERISIERUNG DES PROTEOMS VON EXOSOMEN (AP 2)

Das exosomale Proteom von vier gesunden Spenderzellsystemen wurde markierungsfrei mittels Massenspektrometrie analysiert. Die Daten zeigen, dass ionisierende Strahlung Veränderungen in der Proteomzusammensetzung von Exosomen aus allen untersuchten Spenderzellen induziert. Diese Veränderungen waren meist zelltyp-spezifisch, nur acht Proteine wurden in allen Zellsystemen als strahlenreguliert gefunden. Interessanterweise konnte für einige Proteine eine Dosis-abhängige Regulation gefunden werden, was diese als Kandidaten in der Biodosimetrie nahelegt. Im Bericht zu AP 2 wurden alle Daten zusammengefasst.

5.3 CHARAKTERISIERUNG DER OBERFLÄCHENPROTEINE VON EXOSOMEN (AP 3)

Aus den Proteomdaten wurden für jedes Zellsystem zunächst vier Oberflächenproteine ausgewählt, die in den Proteomdaten strahleninduzierte Veränderungen zeigten. Derzeit wird die Oberflächenexpression dieser Proteine gemessen.

5.4 BESTIMMUNG VON MICRORNAS AUS EXOSOMEN (AP 4)

RNA-Isolate von Exosomen aus allen vier Zellsystemen (MCF10A, 1BR.3, HCAEC, primäre Lymphozyten) liegen vor. Eine Analyse der RNA-Profile mittels Bioanalyser zeigte keine strahleninduzierten Unterschiede in der exosomalen RNA-Beladung. Next Generation Sequencing (NGS)-Daten der Zelllinien MCF-10A und 1BR.3 identifizierten in beiden Zellsystemen mehr als 500 verschiedene microRNAs. Darüber hinaus wurden bei allen untersuchten Dosen signifikant durch Strahlung veränderte microRNAs detektiert.

6. GEPLANTE WEITERARBEIT

Die RNA-Präparationen aus Exosomen aus Endothelzellen HCAEC und primären humanen Lymphozyten werden sequenziert. Die Arbeiten zur Oberflächenexpression strahlenregulierter Proteine werden abgeschlossen. Nach Erhalt der noch ausstehenden NGS-Daten (primäre Lymphozyten, HCAEC) wird die Validierung von Kandidaten-microRNAs stattfinden.

Thema Strahlenresistenzmechanismen in Tumorstammzellen			
Subject <i>Mechanisms of radioresistance in cancer stem cells</i>			
Kennzeichen 3616S32262	Beginn 01.01.2017	Ende 31.08.2019	Fördermittel EUR 393.886,-
Forschungs- / Auftragnehmer GSI Helmholtzzentrum für Schwerionenforschung GmbH, Darmstadt			
Projektleitung Dr. C. Hartel	Fachbetreuung BfS Dr. S. Hornhardt / AG-SG 1.2	verantwortlich für den Text Dr. C. Hartel	

1. ZIELSETZUNG

Strahlenresistenz stellt ein großes Problem bei der Tumortherapie dar. Insbesondere Tumorstammzellen können sehr resistent gegen die Bestrahlung sein und dadurch zum Auftreten von Tumorrezidiven führen. Im Forschungsvorhaben werden daher die Strahlenresistenzmechanismen in Gliomstammzellen untersucht. Dabei wird die Wirkung von Röntgenstrahlung (dünn ionisierend) mit der von beschleunigten Kohlenstoffionen (dicht ionisierend) verglichen. Da Kohlenstoffionen insbesondere bei strahlenresistenten Zelltypen eine hohe relative biologische Wirksamkeit (RBW) verglichen mit Röntgenstrahlung zeigen, könnten sie geeignet sein die intrinsische Strahlenresistenz von Gliomstammzellen zu überwinden. Im Forschungsvorhaben werden verschiedene In-vitro-Experimente mit humanen Gliomstammzelllinien durchgeführt, um die Strahlenwirkung auf zell- und molekularbiologischer Ebene zu untersuchen. Die Zellen werden bestrahlt und es wird mittels Überlebens- bzw. Tumorsphärenassays überprüft, ob die Strahlenresistenz gleichermaßen bei dicht und dünn ionisierender Strahlung besteht. Weiterhin sollen geeignete (Tumor-)Stammzellmarker identifiziert und deren Expression nach Bestrahlung analysiert werden. Es wird ebenfalls die Zellzyklusverteilung, DNA-Reparatur, Chromosomenaberrationen und Genexpression der Gliomstammzelllinien nach Bestrahlung näher untersucht.

2. EINZELZIELSETZUNG

Die Einzelzielsetzungen der im Berichtszeitraum bearbeiteten Arbeitspakete werden im Folgenden näher erläutert.

2.1 AUFARBEITUNG DES RELEVANTEN STANDES VON WISSENSCHAFT UND TECHNIK

In einem ersten Bearbeitungsschritt sollte der vorliegende relevante Stand von Wissenschaft und Technik für die Zwecke des Vorhabens aufgearbeitet werden. Ein wichtiger Aspekt war, eine Übersicht über potenziell geeignete Marker zur Identifizierung von Gliomstammzellen sowie über bereits publizierte Ergebnisse anderer Stellen zur Strahlenresistenz von Gliomstammzellen zu gewinnen.

2.2 REPOPULATION VON TUMORSTAMMZELLEN NACH BESTRAHLUNG

Um die Strahlenresistenzmechanismen in Tumorstammzellen zu charakterisieren, sollten Dosis-Effekt-Kurven für das Zellüberleben und die Repopulation nach Bestrahlung mit dünn und dicht ionisierender Strahlung erstellt werden.

3. METHODIK

Die Repopulation von Gliomstammzellen nach Bestrahlung wurde mittels Tumorsphärenassay überprüft. Dazu wurden als Tumorsphären in Suspension wachsende Gliomstammzellen enzymatisch vereinzelt. Nach Bestrahlung mit mehreren verschiedenen Dosen dünn bzw. dicht ionisierender Strahlung wurden die Zellen in geringer Dichte in Zellkulturflaschen ausgesät. Innerhalb von 2 Wochen wuchsen aus den Einzelzellen erneut Tumorsphären. Die Anzahl der gebildeten Tumorsphären pro Kulturflasche wurde bestimmt. Bei bekann-

ter Anzahl eingesäter Zellen erhält man so Aufschluss über das „Zellüberleben“ nach Bestrahlung bzw. die Fähigkeit der Zellen, nach Bestrahlung Tumorsphären bilden zu können.

4. DURCHFÜHRUNG

4.1 AUFARBEITUNG DES RELEVANTEN STANDES VON WISSENSCHAFT UND TECHNIK

Es wurde eine Online-Literaturrecherche (Pubmed-Datenbank) durchgeführt. Relevante Literatur wurde überprüft und wichtige Ergebnisse in einem Bericht zusammengestellt.

4.2 REPOPULATION VON TUMORSTAMMZELLEN NACH BESTRAHLUNG

Drei Gliomstammzelllinien wurden dauerhaft unter Bedingungen kultiviert, die das Wachstum von Stammzellen fördern (serumfreies Zellkulturmedium, Wachstum als Tumorsphären). Die Zellen wurden mit Röntgenstrahlung bzw. beschleunigten C-12-Ionen bestrahlt (Dosisbereich 0 - 12 Gy) und die Repopulation nach Bestrahlung untersucht. Dazu wurden die bestrahlten Einzelzellen in geringer Dichte ausgesät und nach 2 Wochen wurde die Anzahl der gebildeten Tumorsphären mit Hilfe eines Bild-Aufnahmesystems und anschließender Bildanalyse bestimmt. Alle Experimente wurden mindestens 3-fach durchgeführt.

5. ERGEBNISSE

Im Folgenden werden die wichtigsten Ergebnisse der im Berichtszeitraum bearbeiteten/fertig gestellten Arbeitspakete dargestellt.

5.1 AUFARBEITUNG DES RELEVANTEN STANDES VON WISSENSCHAFT UND TECHNIK

Die Ergebnisse der Literaturrecherche wurden in einem Bericht zusammengefasst. Die Literaturrecherche ergab Hinweise auf potenziell geeignete phänotypische Marker von Tumorstammzellen in Glioblastomen, deren Vorhandensein in einem der kommenden Arbeitspakete in unbestrahlten und bestrahlten Zellen untersucht werden soll.

5.2 REPOPULATION VON TUMORSTAMMZELLEN NACH BESTRAHLUNG

Um die Tumorsphärenbildungsfähigkeit von drei Gliomstammzelllinien zu untersuchen, wurden Dosis-Effekt-kurven mit Röntgenstrahlen und beschleunigten Kohlenstoffionen erstellt. Es zeigten sich nur geringe Unterschiede zwischen den beiden verwendeten Strahlenarten. Eine wesentlich erhöhte relative biologische Wirksamkeit RBW der Kohlenstoffbestrahlung wurde im Tumorsphärenbildungstest nicht festgestellt. Allerdings lässt der Verlauf der Dosis-Effekt-Kurve auf das Vorhandensein einer strahlenresistenten Subpopulation schließen.

6. GEPLANTE WEITERARBEIT

In den nächsten Arbeitspaketen wird der Einfluss von Bestrahlung auf die Expression von (potenziellen) Tumorstammzellmarkern sowie auf den Zellzyklus untersucht werden. Weiterhin sollen DNA-Reparatur und Chromosomenaberrationen nach Bestrahlung analysiert sowie Genexpressionsanalysen durchgeführt werden.

Thema

Untersuchung des Risikos für kardiovaskuläre Erkrankungen nach einer Strahlenexposition mit niedrigen Dosen an Biopsieproben von Majak-Arbeitern

Subject

Investigation of cardiovascular disease risk after low dose radiation using biopsy samples of Mayak workers

Kennzeichen
3617S32261

Beginn
01.04.2017

Ende
30.09.2018

Fördermittel
EUR 114.861,-

Forschungs- / Auftragnehmer

Institut für Strahlenbiologie (ISB), Helmholtz Zentrum München (HMGU)

Projektleitung
Dr. S. Tapio

Fachbetreuung BfS
Dr. A. Dehos / AG-SG

verantwortlich für den Text
Dr. O. Azimzadeh

1. ZIELSETZUNG

Die kerntechnische Anlage Majak (Mayak Production Association (PA)) ist eine der größten Atomanlagen in der Russischen Föderation. Die individuelle Überprüfung der Dosimeter der Majak-Arbeiter zeigte, dass die Intensität der Strahlenexposition stark variierte, von unter 100 mGy bis zu mehr als 5 Gy, wobei 32,6 % der Arbeiter einer Dosis über 1 Gy ausgesetzt waren. Epidemiologische Studien in dieser Kohorte zeigten eine signifikante Zunahme der Häufigkeit von ischämischer Herzkrankheit (IHK), abhängig von der externen Gesamt-Gamma-Strahlendosis, unter Berücksichtigung mehrerer konkurrierender Faktoren wie Rauchen und Alkoholkonsum.

In einem Vorläufervorhaben (3611S30022 „Entwicklung kardiovaskulärer Erkrankungen nach Strahlenexpositionen bei kleinen Dosen“) wurde die kardiale Proteom-Antwort auf Bestrahlung bei Mayak-Arbeitern analysiert, die externen Dosen an Gamma-Strahlen (Dosisgruppen: 0 Gy, < 100 mGy, 100 – 500 mGy und > 500 mGy) ausgesetzt waren. Die Proteom-Analyse zeigte eine Reihe von dosisabhängigen Veränderungen in der Expression der an der Funktion und Struktur des linken Ventrikels beteiligten Proteine. Dazu gehörten Proteine, die für den mitochondrialen Energiestoffwechsel und das kardiale Zytoskelett entscheidend sind. Eine signifikante Inaktivierung des PPAR-alpha¹⁾ durch Phosphorylierung wurde in der höchsten Dosisgruppe (> 500 mGy) beobachtet. Erstmals zeigte diese Studie eine Proteom-Signatur einer strahlungsinduzierten Ischämie des menschlichen Herzens. Es ist jedoch notwendig, diese Ergebnisse weiter zu validieren, indem die Zahl der Personen in der Studie erhöht wird und durch die Verwendung anderer Verfahren als der Proteomik die Ergebnisse überprüft werden.

Ziel der vorliegenden Studie ist die Validierung der Ergebnisse aus den Proteom-Analysen der ursprünglichen Studie anhand von neuen, vom SUBI (Southern Urals Biophysics Institute) bereit gestellten Herzproben. Zusätzlich erfolgt eine weitere Analyse der von der Bestrahlung beeinträchtigten zellulären Signalwege, wobei Kardiomyozyten als passendes In-vitro-Modell verwendet werden.

2. EINZELZIELSETZUNG

Das Forschungsvorhaben gliedert sich in zwei Arbeitspakete:

2.1 UNTERSUCHUNG STRAHLENBEDINGTER SCHÄDEN AN ZELLEN DES KARDIOVASKULÄREN SYSTEMS ANHAND VON ANALYSEN DES PROTEOMS VON GEWEBEPROBEN DER MAJAK-ARBEITER UND ENTSPRECHENDER KONTROLLPERSONEN

Im Southern Urals Biophysics Institute (SUBI) sollen verstorbene Majak-Arbeiter und entsprechende Kontrollpersonen ermittelt und Gewebeproben aus dem Herzen entnommen werden. Im Institut für Strahlenbiologie (ISB) sollen die Gewebeproben aufbereitet sowie die Proteom-Analysen durchgeführt und ausgewertet werden.

¹⁾ peroxisome proliferator-activated receptor alpha

2.2 VERIFIZIERUNG DER ERGEBNISSE DER PROTEOM-ANALYSEN MIT HILFE UNABHÄNGIGER METHODEN

Um die durch die Bestrahlung veränderten zellulären Signalwege besser zu verstehen, soll eine komplementäre zelluläre Studie durchgeführt werden. Es sollen die Veränderungen von Schlüsselproteinen wie PPAR alpha (wichtiges Regulatorprotein des Fettstoffwechsels) und Nrf2 (wichtiges Regulatorprotein der oxidativen Stressantwort) untersucht werden.

3. METHODIK

3.1 SAMMLUNG VON HERZPROBEN UND VORBEREITUNG FÜR DEN VERSAND

Die Entnahme der Gewebeproben aus den Herzen erfolgt nach der vereinbarten Standardvorgehensweise (SOP). Die Personen werden in die in vier Strahlendosisgruppen (0 Gy, < 100 mGy, 100 - 500 mGy und > 500 mGy) eingeteilt.

3.2 VERIFIZIERUNG DER ERGEBNISSE DER PROTEOMANALYSEN

Hierfür werden hauptsächlich humane kardiale Myozyten (Human Cardiac Myocytes – HCM, PromoCell, C-12810) verwendet, für die die Zellkulturbedingungen optimiert wurden. Da HCMs aus den Ventrikeln des adulten Herzens isoliert werden, eignen sie sich für die In-vitro-Forschung von Herzerkrankungen sowie für pharmakologische Studien und Langzeitversuche. Die Langzeitwirkung ionisierender Strahlung auf HCMs wird untersucht.

Die HCMs werden kultiviert und mit Dosen bestrahlt, die denen der menschlichen Gewebeproben entsprechen (0 Gy, 0,25 Gy und 2 Gy). Um die Strahlensensitivität der HCMs zu untersuchen, wird ihre metabolische Aktivität 1 Woche nach der Exposition gegenüber 0, 2, 8 und 16 Gy unter Verwendung von ELISA (Tetrazolium Salt WST-1 Assay) gemessen. Darüber hinaus werden strahleninduzierte Veränderungen in PPAR α und deren Zielenzymen (Acetyl-CoA-Synthetase und mitochondriale Hydroxyacyl-Coenzym-A-Dehydrogenase) sowie oxidative Stressantwort-Proteine (Katalase, Superoxid-Dismutase und Thioredoxin) mittels Immunblotting analysiert.

Um die Proteomantwort der Kardiomyozyten auf die Strahlenexposition zu untersuchen, werden fünf biologische Replikate von HCM-Zellen, die mit den Dosen 0 Gy und 2 Gy bestrahlt wurden, 48 Stunden und 1 Woche nach der Exposition geerntet, lysiert und einer quantitativen Proteom- und Bioinformatikanalyse unterzogen.

4. DURCHFÜHRUNG

4.1 SAMMLUNG VON HERZPROBEN (SUBI)

Während des Berichtszeitraums wurden in Übereinstimmung mit der vereinbarten Standardvorgehensweise (SOP) bei der Autopsie von 28 Personen Teile des linken Ventrikels und der Koronararterie entnommen.

4.2 HERSTELLEN VON PARAFFINBLÖCKEN AUS HERZPROBEN UND VORBEREITUNG FÜR DEN VERSAND (SUBI)

Formalin-fixierte Paraffinblöcke (FFPE) aus den Proben der 28 Personen wurden vorbereitet. Die für den Versand erforderliche Dokumentation über die Probenvorbereitung der frisch gefrorenen Gewebeproben und Paraffinblöcke wurde veranlasst.

4.3 VERIFIZIERUNG DER ERGEBNISSE DER ALTEN UND NEUEN PROBEN (HMGU)

Die humanen kardialen Myozyten (HCM) wurden kultiviert und mit 0 Gy und 2 Gy bestrahlt. Die Proteomanalysen der HCMs wurden durchgeführt.

5. ERGEBNISSE

Die Proteomanalyse der HCMs zeigte 3286 identifizierte Proteine. Mehr als 67 % dieser Proteine wurden durch mindestens 2 Peptide quantifiziert. Eine detaillierte Analyse der funktionalen Wechselwirkungen und biologischen Signalwege wurde mit der IPA-Software (www.INGENUITY.com) durchgeführt. Die Pro-

teom-Analyse der HCMs 48 Stunden nach der Bestrahlung mit 2 Gy zeigte nur 9 Proteine, die im Vergleich zu den Kontrollen in bestrahlten Zellen signifikant differenziell exprimiert wurden ($\pm 1,5$ -fach; $p < 0,05$). IPA zeigte, dass die deregulierten Proteine in den bestrahlten Zellen unter anderem zu den Signalwegen „Saccharoseabbau“, „Glykolyse“ und „Glykogenese“ gehören.

Eine molekulare Funktionsanalyse mit Gen-Ontologie (GO) zeigte, dass erheblich deregulierte Proteine in Apoptose und Proteinabbau involviert sind. Die Proteom-Analyse der HCMs 1 Woche nach der Bestrahlung mit 2 Gy zeigte, dass 101 Proteine im Vergleich zu gleich alten Kontrollen in bestrahlten Zellen signifikant differenziell exprimiert wurden ($\pm 1,5$ -fach; $p < 0,05$). Eine weitere detaillierte Analyse mit IPA zeigte, dass die signifikant deregulierten Proteine 1 Woche nach der Bestrahlung hauptsächlich an den innerzellulären Signalketten „mitochondriale Dysfunktion“, „Endozytose“ und „Apoptose“ beteiligt sind. Darüber hinaus prognostizierte die Analyse die Hemmung von Transkriptionsfaktoren wie PPAR α und STAT3 in bestrahlten Zellen, was auf eine Veränderung des Metabolismus und der Entzündungsreaktion nach Bestrahlung hindeutet. Eine molekulare Funktionsanalyse mit GO zeigte eine reduzierte Energieproduktion (ATP-Synthase) und erhöhte ROS-Produktion in bestrahlten Zellen nach 1 Woche. IPA kategorisierte 1 Woche nach der Bestrahlung (2 Gy) mehrere differenziell exprimierte Proteine als kardiotoxisch.

6. GEPLANTE WEITERARBEIT

Sobald die neuen Herzproben am HMGU eintreffen, werden diese durch quantitative Proteomik und Bioinformatik analysiert. Die Proteomdaten aus den In-vitro-Studien zu den Kardiomyozyten werden durch Immunoblotting und ELISA weiter analysiert. Die Ergebnisse der In-vitro-Studien werden mit Proteomdaten aus neuen und alten Herzanalysen verglichen.

Themenbereich 04
Medizinische Strahlenexposition / Röntgenverordnung

Subject area 04
Medical radiation exposures / X-ray Ordinance

Thema

Erstellung und Überarbeitung von technischen Normen für den Strahlenschutz und die Qualitätssicherung in der medizinischen Radiologie

Subject

Preparation and revision of technical standards for radiation protection and quality assurance in medical radiology

Kennzeichen
3615S42320

Beginn
01.08.2015

Ende
30.06.2018

Fördermittel
EUR 164.234,-

Forschungs- / Auftragnehmer

VDE Verband der Elektrotechnik Elektronik Informationstechnik e.V.

Projektleitung
J. Dehm

Fachbetreuung BfS
Dr. A. Schegerer / AG-SG 2.3

verantwortlich für den Text
J. Dehm

1. ZIELSETZUNG

Für die Ziele des Strahlenschutzes sind die Vorschriften des Atomgesetzes, der Strahlenschutzverordnung und der Röntgenverordnung durch Normen zu untermauern, um eine zielgerichtete, bundeseinheitliche Umsetzung sicher zu stellen.

Daneben sind bestehende, für den Vollzug wichtige Normen neuen Entwicklungen, die sich beispielsweise aus der Informationsverarbeitung und der Einführung digitaler Techniken ergeben, anzupassen. Die Normen präzisieren die durch Gesetze, Verordnungen, Verwaltungsvorschriften und Richtlinien vorgegebenen Regeln und geben Ausführungshinweise dazu.

Ziel des Vorhabens ist es, Normen für die Überwachung von Einrichtungen der medizinischen Radiologie hinsichtlich technischer Eigenschaften, Qualität und Strahlenschutz zu erstellen.

Das Vorhaben soll auch die Arbeiten zur Einflussnahme auf die europäische und internationale Normung im Bereich der Strahlenschutzverordnung und Röntgenverordnung erheblich verbessern. Nur so können wesentliche nationale Vorgaben frühzeitig eingebracht und durchgesetzt werden. Dies ist wegen der bindenden Wirkung dieser übernationalen Normung (ISO¹⁾, IEC²⁾, CEN³⁾, CENELEC⁴⁾) von erheblicher nationaler Bedeutung und auch erforderlich, um die Ziele neuerer europäischer Vorgaben für den Strahlenschutz harmonisiert umzusetzen.

2. EINZELZIELSETZUNG

Das Vorhaben beinhaltet Normungsarbeit auf den folgenden Teilgebieten:

- Qualitätssicherung nach RöV an Röntgeneinrichtungen
- Qualitätssicherung an Einrichtungen für die Nuklearmedizin
- Festlegung von Eigenschaften strahlentherapeutischer Einrichtungen
- Strahlenschutz für Patienten und Personal einschließlich baulicher Strahlenschutz
- Anforderungen an Verfahren zur Dosimetrie.

Die einzelnen Projekte einschließlich der terminlichen Zielsetzungen sind der Tabelle unter Abschnitt 5 zu entnehmen.

¹⁾ International Organization for Standards

²⁾ International Electrotechnical Commission

³⁾ Comité Européen de Normalisation

⁴⁾ Comité Européen de Normalisation Électrotechnique

3. METHODIK

Nach der Richtlinie für Normenausschüsse des DIN vom September 2013 und der Geschäftsordnung des Normenausschusses Radiologie (NAR) vom 16.11.2000, insbesondere DIN 820-4 „Geschäftsgang“, ist der NAR zur Einhaltung eines festgelegten Arbeitsablaufes für Normungsprojekte verpflichtet.

4. DURCHFÜHRUNG

Die Normungsprojekte wurden nach den Grundsätzen der Normungsarbeit, die in den unter 3 „Methodik“ genannten Dokumenten niedergelegt sind, durchgeführt.

5. ERGEBNISSE

Die bisher erreichten Ergebnisse sind in Tabelle 1 zusammengefasst.

Tabelle 1: Bisher erreichte Ergebnisse bei den Normungsprojekten

Nr.	Projektnummer	Titel	Stand
1	DIN 6800-7	Dosismessverfahren nach der Sondenmethode für Photonen- und Elektronenstrahlung - Teil 7: Zweidimensionale Dosimetrie	Haupttext des Norm-Entwurfs ist fertig. Anhänge sind größtenteils fertig. Es fehlen noch zwei Anforderungen zu den Unsicherheitsbudgets, an denen noch gearbeitet wird
2	DIN 6809-6	Klinische Dosimetrie - Teil 6: Anwendung hochenergetischer Photonen- und Elektronenstrahlung in der Teletherapie	verabschiedet zur Veröffentlichung als Norm-Entwurf: AK-Manuskript liegt zur Veröffentlichung der GSt. vor.
3	IEC 60601-2-1	Medical electrical equipment - Part 2-1: Particular requirements for the basic safety and essential performance of electron accelerators in the range 1 MeV to 50 MeV	IEC 60601-2-1 wurde kommentiert und als E DIN EN 60601-2-1 (VDE 0750-2-1) übersetzt und veröffentlicht. Die Veröffentlichung als DIN EN 60601-2-1 ist beauftragt.
4	IEC 62926	Medical electrical equipment - Requirements for basic safety and essential performance of real time four-dimensional radiotherapy system	IEC 62926 kommentiert und als E DIN EN 62962 übersetzt und autorisiert. Die Veröffentlichung ist beauftragt.
5	DIN 6844-3	Nuklearmedizinische Betriebe - Teil 3: Strahlenschutzberechnungen	Norm-Entwurf zur Veröffentlichung an Beuth-Verlag gegeben
6	DIN 6855-1	Konstanzprüfung nuklearmedizinischer Messsysteme - Teil 1: In-vivo- und In-vitro-Messplätze (IEC/TR 61948-1:2001, modifiziert)	Norm-Entwurf ist in der Abstimmungsphase im AA3. An den Änderungswünschen des Normentwurfs, der dem AA3 und dem AA6 zur Verfügung steht, wird an der Konsensfindung für eine einheitliche Fassung gearbeitet.
7	DIN 6858-2	Qualitätsprüfung multimodaler Bildgebung - Teil 2: Konstanzprüfung SPECT/CT	Einsprüche bezüglich der Prozessqualität und Prüfung (PQ) sind in Bearbeitung.
8	DIN 6861-1	Dosimetrie bei der Radionuklidtherapie - Teil 1: Allgemeines	Die Version der Fassung zur Normveröffentlichung wurde im 4. Quartal 2017 mit Änderungen des S-Wertes beschlossen.
9	DIN 6868-16	Sicherung der Bildqualität in röntgendiagnostischen Betrieben - Teil 16: Dokumentation der klinischen Bildverarbeitungsparameter bei digitalen Röntgensystemen	Ergebnisse der Einspruchsberatung sind noch nicht in das Norm-Manuskript eingearbeitet.

Nr.	Projektnummer	Titel	Stand
10	DIN 6868-163	Sicherung der Bildqualität in röntgendiagnostischen Betrieben - Teil 163: Abnahme- und Konstanzprüfung nach RÖV an Röntgeneinrichtungen für digitale mam-mographische Stereotaxie	Eingegangene Einsprüche wurden beraten und liegen zur Einarbeitung vor. Ziel ist es, im 1. Quartal die Verabschiedung zur Norm durchzuführen.
11	Normvorhaben DIN 6868-165	Sicherung der Bildqualität in röntgendiagnostischen Betrieben - Teil XX: Abnahme und Konstanzprüfung von Geräten zur Knochendichtemessung (DXA/DEXA, dual-energy X-ray absorptiometry)	Daten der Hersteller zu den Mess-Phantomen und deren Toleranzen fehlen noch. Die Beschreibung des Prüfablaufs zur Zweckerfüllung soll so sein, dass der Hersteller auch die vorhandenen Verfahren weiter verwenden darf. Das Ziel der Prüfung ist Strahlenschutz und Qualität sicherzustellen. Dazu wird die Anforderung einer standardisierten Dokumentation erarbeitet.
12	DIN 6865	Qualitätssicherung von Prüfkörpern, die im Rahmen der Qualitätssicherung von Röntengeräten nach RÖV eingesetzt werden	Das Manuskript ist inhaltlich bis auf die Anhänge fertiggestellt. Ziel ist es, im zweiten Quartal den Norm-Entwurf zu veröffentlichen.
13	Normvorhaben	Austauschformat für QS-Parameter	Norm-Vorlage ist in Bearbeitung. Eine Entscheidungsvorlage zur Vorgehensweise zum Datenaustausch soll im ersten Quartal 2018 erarbeitet werden.
14	IEC 62985	Methods for calculating Size Specific Dose Estimate (SSDE) on Computed Tomography	IEC 62985 wurde kommentiert, als E DIN EN 62985 übersetzt und autorisiert. Die Veröffentlichung ist beauftragt

6. GEPLANTE WEITERARBEIT

Die Weiterarbeit erfolgt in jedem Teilprojekt entsprechend den Grundsätzen der Normungsarbeit, wie sie insbesondere in der Richtlinie für Normenausschüsse und der DIN 820-4 „Geschäftsgang“ festgelegt sind. Die weiteren Schritte sind in den Arbeitsprogrammen der zuständigen Arbeitsausschüsse des NAR festgelegt.

Thema Erhebung der Medizinischen Strahlenexposition in der Nationalen Kohorte			
Subject <i>Survey of medical radiation exposure in the German National Cohort</i>			
Kennzeichen 3616S42233	Beginn 01.03.2017	Ende 30.09.2019	Fördermittel EUR 425.757,-
Forschungs- / Auftragnehmer Leibniz-Institut für Präventionsforschung und Epidemiologie - BIPS, Bremen			
Projektleitung Prof. Dr. H. Zeeb	Fachbetreuung BfS Dr. M. Schnelzer / AG-SG 2.1	verantwortlich für den Text Prof. Dr. H. Zeeb	

1. ZIELSETZUNG

In dieser Studie soll die medizinische Strahlenexposition von zunächst 3000 Teilnehmenden der NAKO-Gesundheitsstudie orientierend retrospektiv und mittels eines entsprechenden Röntgenpasses prospektiv erfasst werden.

2. EINZELZIELSETZUNG

Das Projekt wird in 3 Arbeitspaketen bearbeitet und umfasst die nachfolgend genannten Einzelziele:

2.1 VORBEREITUNG (AP 1)

- Erstellung und Einreichung des Level-3 Antrags auf Durchführung der Studie beim Verein Nationale Kohorte e.V.
- Klärung der technischen Integration eines kurzen Fragebogens in die computergestützten Interviews (Touchscreen) und Entscheidung zum Vorgehen in den Studienzentren
- Modifikation des in der Machbarkeitsstudie getesteten Fragebogens und des NAKO-Röntgenpasses
- Abstimmung Datenintegrationskonzept mit der NAKO-IT
- Erstellung Studienprotokoll, inklusive Vorgehen bei der Abschätzung der Non-Response, Bearbeitung der Ethikanträge sowie des Datenschutzkonzepts, Erstellung von Materialien.

2.2 REKRUTIERUNGSSTART UND ERSTER TEIL DER ERHEBUNG (AP 2)

Das Arbeitspaket verfolgt die Zielsetzung, mit der praktischen Rekrutierung von NAKO-Teilnehmenden für das Level-3-Projekt zu beginnen und umfasst dabei die folgenden Einzelziele:

- Etablierung der Verfahren vor Ort
- Rekrutierungsbeginn
- Bericht zur Einbindung und Response
- Erstellung und Testung einer Datenbank für prospektive Angaben des Röntgenpasses.

2.3 FORTSETZUNG DER ERHEBUNG UND AUSWERTUNG (AP 3)

Im Arbeitspaket 3 wird die Erhebung fortgesetzt sowie die Auswertung durchgeführt. Folgende Einzelziele wurden beschrieben:

- Durchführung und Supervision der Erhebung (inkl. Follow-up Fragebögen)
- Zusammenführung und Übermittlung der Röntgenpässe
- Auswertungen
- Berichterstellung und Abschlussbericht.

3. METHODIK

Die als Level-3-Studie durchgeführte Untersuchung findet zusätzlich zum NAKO-Basisprogramm an vier teilnehmenden Studienzentren statt. Es ist vorgesehen, an jedem der beteiligten Studienzentren (Augsburg, Bremen, Essen und Neubrandenburg/Neustrelitz) bei ca. 750 konsekutiv ausgewählten Personen, die an der NAKO-Gesundheitsstudie teilnehmen, Daten zur retrospektiven Strahlenexposition und Indikationen zu erheben und die prospektive Erhebung der medizinischen Expositionen und Indikationen zu initiieren. Für die retrospektive Erfassung wird eine modifizierte Version des in der Machbarkeitsstudie entwickelten Fragebogens als Touchscreen und Papierversion eingesetzt. Für die prospektive Erfassung wird der Röntgenpass, der auch für die Machbarkeitsstudie entworfen wurde, für die NAKO-Erhebung überarbeitet.

4. DURCHFÜHRUNG

Im Berichtszeitraum wurden die Vorbereitungen der Studie durchgeführt und mit der Rekrutierung im Studienzentrum Bremen begonnen.

5. ERGEBNISSE

5.1 VORBEREITUNG (AP 1)

- Der Antrag auf Durchführung dieser Level-3-Studie wurde beim Verein Nationale Kohorte e.V. eingereicht und durch den Vorstand der NAKO genehmigt. In der Folge konnte der sogenannte Level-3-Vertrag zwischen dem NAKO e.V. und der Leibniz-Institut für Präventionsforschung und Epidemiologie - BIPS GmbH geschlossen werden.
- Im engen Austausch mit Kolleginnen und Kollegen in den beteiligten Studienzentren wurde die Integrierbarkeit eines kurzen Fragebogens in die computergestützten NAKO-Interviews (Touchscreen) vorbereitet. Eine Ablaufbeschreibung der Erhebung in den Studienzentren wurde in Rücksprache mit den Zentren erstellt.
- Für die retrospektive Erhebung wurde der in der Machbarkeitsstudie getestete Fragebogen überarbeitet und auf wenige Untersuchungsmodalitäten begrenzt. Dadurch konnte die Befragungszeit im Vergleich zur Machbarkeitsstudie erheblich reduziert werden (~10min). Der Fragebogen wurde sowohl als Touchscreen als auch als Papierversion zur Mitnahme nach Hause konzipiert.
- Für die prospektive Erhebung wurde der in der Machbarkeitsstudie entworfene Röntgenpass überarbeitet. Dieser hat ein neues, ansprechenderes (NAKO-) Design erhalten und wurde darüber hinaus verschlankt. D. h. auf Basis der Erfahrungen aus der Machbarkeitsstudie wurde die Anzahl der Untersuchungen auf vier begrenzt.
- Ein Datenintegrationskonzept wurde mit der NAKO-IT abgestimmt.
- Ein Studienprotokoll, inklusive Vorgehen bei der Abschätzung der Non-Response, Bearbeitung Ethik und Datenschutz, wurde erstellt. Vor Beginn der Rekrutierung wurde das (das NAKO-Gesamtvotum ergänzende) Ethikvotum der zuständigen Ethikkommission zunächst in Bremen eingeholt.

5.2 REKRUTIERUNGSSTART UND ERSTER TEIL DER ERHEBUNG (AP 2)

- Die Integration der Level-3-Abläufe in den Basisablauf wurde am Studienzentrum Bremen gemeinsam mit den NAKO-MitarbeiterInnen abgestimmt und Schulungsunterlagen erarbeitet, die dann an die weiteren Studienzentren verteilt wurden. Des Weiteren wurde ein Testlauf zur Erprobung der Erhebungsmethode in Bremen durchgeführt.
- Die Rekrutierung in Bremen verläuft erfolgreich. Zum Ende 2017 hatten 316 Personen den Touchscreen-Fragebogen ausgefüllt und 156 die Papierversion erhalten. Von den letzteren haben 83 die Fragebögen zurückgeschickt.

6. GEPLANTE WEITERARBEIT

Die Erhebung wird in Bremen fortgesetzt und beginnt in den anderen beteiligten Studienzentren. Alle Vorbedingungen, insbesondere die vertraglich notwendigen Regelungen zwischen dem BIPS und den anderen Studienzentren sowie zwischen diesen und dem Verein Nationale Kohorte e.V., sind mittlerweile geklärt und die Rekrutierungen sind in allen Zentren angelaufen. Information zur Einbindung und Response werden im Programmreport für 2018 gegeben.

Thema			
Bewertung des Einsatzes von Dosismanagement-Systemen zur Optimierung von Röntgenanwendungen in verschiedenen Röntgeneinrichtungen			
Subject			
<i>Evaluation of the implementation of dose-management-systems used for optimising diagnostic X-ray applications in different facilities</i>			
Kennzeichen	Beginn	Ende	Fördermittel
3616S42432	01.03.2017	12.02.2019	EUR 263.452,-
Forschungs- / Auftragnehmer			
Klinikum Nürnberg			
Projektleitung	Fachbetreuung BfS	verantwortlich für den Text	
Dr. M. Wucherer	Dr. A. Schegerer / AG-SG 2.3	T. Hertlein	

1. ZIELSETZUNG

Ziel des Vorhabens ist die Bewertung von Dosismanagementsystemen (DMS) in Hinblick auf Dosisoptimierungsmaßnahmen und die Einhaltung der Dosisreferenzwerte (DRW) inkl. intern festgelegter Schwellenwerte in der Röntgendiagnostik und interventionellen Radiologie. Darüber hinaus sollen die einrichtungsspezifischen Prozessabläufe in Krankenhäusern und Praxen beim Einsatz von DMS dokumentiert und bewertet werden. Die Ergebnisse werden in Form eines Leitfadens für Anwender zusammengetragen und im Rahmen eines Workshops präsentiert.

2. EINZELZIELSETZUNG

Im Einzelnen sind folgende vier Arbeitspakete zu bearbeiten:

2.1 AUSWAHL DER ZU ERFASSENDEN MEDIZINISCHEN STRAHLENANWENDUNGEN UND VEREINHEITLICHUNG DER UNTERSUCHUNGSNAMEN (AP 1)

Für AP 1 sind medizinische Strahlenanwendungen für die Arbeitspakete AP 2 und AP 3 festzulegen. Die Auswahl soll Strahlenanwendungen an erwachsenen Patienten aus den in 2016 aktualisierten Dosisreferenzwerten vom Bundesamt für Strahlenschutz enthalten. Zu den ausgewählten Untersuchungs- und Eingriffsarten sind Filter zu definieren, die die Untersuchungsprotokolle möglichst eindeutig zu den Standarduntersuchungen (z. B. Organbereich eines DRW) zuordnet.

2.2 WIRKUNG VON DMS AUF DIE OPTIMIERUNG VON DOSISRELEVANTEN PARAMETERWERTEN (AP 2)

In AP 2 ist das Potential von DMS auf die Optimierung von Strahlenanwendungen zu erfassen und zu bewerten. Hierzu werden vor der Installation des DMS über einen Zeitraum von 6 Monaten dosisrelevante Parameter aus den in AP 1 festgelegten Untersuchungsarten erfasst. Nach möglichen Dosisoptimierungsmaßnahmen anhand des DMS werden erneut die Parameter über 6 Monate erfasst und das Optimierungspotential, das DMS mit sich bringen, bewertet.

Zu AP 2 soll weiterhin der vorangegangene Prozess analysiert und dokumentiert werden.

2.3 KONTINUIERLICHE ERFASSUNG DER EINHALTUNG VON DRW MITTELS DMS (AP 3)

Gegenstand von AP 3 ist die über ein Jahr hinweg kontinuierliche Erfassung von Dosisausgangsgrößen der in AP 1 festgelegten Standarduntersuchungen, um die Einhaltung der DRW zu überprüfen. Dazu sind statistische Kenngrößen (Quartile, gleitende Mittelwerte) zu berechnen und ggf. lokale Dosis-schwellen zu definieren.

2.4 ERSTELLUNG EINES LEITFADENS FÜR ANWENDER VON DMS (AP 4)

Das Arbeitspaket 4 befasst sich mit der Erstellung eines Leitfadens für Anwender von DMS. In den Leitfaden sollen unter anderem die Ergebnisse der vorherigen Arbeitspakete, erforderliche Eigenschaften von DMS, abhängig von der Institutionsgröße, und Empfehlungen bei Umgang mit derartigen Systemen einfließen.

3. METHODIK

3.1 DOSISMANAGEMENTSYSTEME

Neben kommerziellen Systemen verschiedener Anbieter werden im Rahmen des Projekts auch eine In-house-Eigenentwicklungen und eine Open-Source-Lösung betrachtet.

3.2 FILTER/KLASSIFIZIERUNG

Die Vielzahl der unterschiedlichen Untersuchungsprotokolle werden mit dem Radlex Playbook (RP) klassifiziert. Das RadLex ist eine Terminologie für die Radiologie und, auf Grund der Abhängigkeiten und Relationen der Begriffe zueinander, zudem auch eine Ontologie. Das RadLex Playbook ist eine Teilmenge von RadLex und legt Standard-Untersuchungsverfahren in der Radiologie fest.

4. DURCHFÜHRUNG

Das Forschungsvorhaben wird von einem Projektteam, bestehend aus drei Universitätskliniken, einem kommunalen Klinikum und einer Privatklinikgruppe, bearbeitet. Die Mitglieder des Teams verfügen bereits über ein DMS und haben auf Grund dessen schon langjährige Erfahrung damit. Darüber hinaus bestehen Kooperationen mit drei Praxen, welche bereits ein DMS einsetzen bzw. im Rahmen des Projekts ein neues System erhalten haben.

4.1 AUSWAHL DER ZU ERFASSENDEN MEDIZINISCHEN STRAHLENANWENDUNGEN UND VEREINHEITLICHUNG DER UNTERSUCHUNGSNAMEN (AP 1)

Für AP 1 haben die Projektteilnehmer die zu erfassenden Strahlenanwendungen für die Arbeitspakete AP 2 und AP 3 festgelegt. Die Auswahl umfasst primär Untersuchungen an erwachsenen Patienten aus dem Katalog der 2016 veröffentlichten Dosisreferenzwerte. Zu diesen Standarduntersuchungen wurden weitgehend die entsprechenden RP-Begriffe zugeordnet, um an einer gemeinsamen Ausgangssituation zu arbeiten.

Die unterschiedlichen Protokollnamen der teilnehmenden Projektpartner wurden den passenden RP-Einträgen zugeordnet, damit eine Verknüpfung zu den Dosisreferenzwerten gegeben und ein Vergleich von Dosisparametern zwischen unterschiedlichen Geräten und Institutionen möglich ist. Da mit dem RP jedoch nicht alle verfügbaren Untersuchungsprotokolle zugeordnet werden konnten, ist die Auswahlliste nur näherungsweise vollständig. Die Matrix mit der Untersuchungsauswahl wurde auf dem Deutschen Röntgenkongress am 26.05.2017 dem Bundesamt für Strahlenschutz vorgestellt und diskutiert.

4.2 WIRKUNG VON DMS AUF DIE OPTIMIERUNG VON DOSISRELEVANTEN PARAMETERWERTEN (AP 2)

In AP 2 ist das Potential von DMS auf die Optimierung von Strahlenanwendungen zu erfassen und zu bewerten. Dazu wurden ausgehend vom 01.06.2017 über einen Zeitraum von 6 Monaten dosisrelevante Parameter erfasst. Zur Bestimmung des Optimierungspotentials der in AP 1 ausgewählten Untersuchungsarten wurde ein institutsübergreifendes Benchmarking durchgeführt und bereits im Vorfeld, abhängig von der Modalität, eine Reihe dosisbeeinflussender Parameter festgelegt. Die vom DMS erfassten Daten wurden nach Excel exportiert und die Untersuchungsarten den Begriffen aus dem RadLex Playbook zugeordnet.

Die Ergebnisse aus der Datenerfassung und die Optimierungsmöglichkeiten für ausgewählte Untersuchungen an jeweiligen Geräten werden diskutiert. Sobald die geplante Optimierungsrunde abgeschlossen ist, werden erneut die dosisrelevanten Parameter über einen Zeitraum von 6 Monaten erfasst und bewertet.

4.3 KONTINUIERLICHE ERFASSUNG DER EINHALTUNG VON DRW MITTELS DMS (AP 3)

Zu AP 3 wurden die in AP 1 festgelegten Standarduntersuchungen für die Überprüfung der Einhaltung der DRW übernommen.

5. ERGEBNISSE

5.1 AUSWAHL DER ZU ERFASSENDEN MEDIZINISCHEN STRAHLENANWENDUNGEN UND VEREINHEITLICHUNG DER UNTERSUCHUNGSNAMEN (AP 1)

Die Zuordnung von RP-Begriffen zu den Dosisreferenzwerten konnte weitgehend umgesetzt werden. Nur bei kardiologischen und einigen interventionellen Verfahren konnte keine Zuordnung stattfinden.

5.2 WIRKUNG VON DMS AUF DIE OPTIMIERUNG VON DOSISRELEVANTEN PARAMETERWERTEN (AP 2)

In AP 2 wurden die dosisrelevanten Parameter für die ausgewählten Standarduntersuchungen erfasst und die Dosisausgangsgrößen ermittelt. Dabei unterscheiden sich die DMS teilweise erheblich darin, welche dosisbeeinflussenden Parameter erfasst werden und wie die Klassifizierung der erfassten Untersuchungen erfolgt. Bei manchen DMS geschieht dies ausschließlich über den Protokollnamen, was besonders in der Computertomographie bei Kombiuntersuchungen oder in der Interventionsradiologie zu Interpretationsfehlern führt. Eine annähernd eindeutige Zuordnung zu einer Standarduntersuchung kann nur in Kombination mit Zusatzinformationen zur Untersuchung (z. B. zusätzliche DICOM-Parameter oder die abgerechneten Leistungsdaten) zuverlässig erfolgen.

Für das institutsübergreifende Benchmarking wurden die über das DMS erfassten dosisrelevanten Parameter in Excel exportiert, den RP-Begriffen zugeordnet und statistische Kennzahlen, wie Median, Mittelwert und Standardabweichung ermittelt.

5.3 KONTINUIERLICHE ERFASSUNG DER EINHALTUNG VON DRW MITTELS DMS (AP 3)

Die Erfassung der Einhaltung von Dosisreferenzwerten ist noch nicht abgeschlossen, weshalb hierfür noch keine Ergebnisse vorliegen.

6. GEPLANTE WEITERARBEIT

6.1 AUSWAHL DER ZU ERFASSENDEN MEDIZINISCHEN STRAHLENANWENDUNGEN UND VEREINHEITLICHUNG DER UNTERSUCHUNGSNAMEN (AP 1)

Für das AP 1 ist auf Grund von neuen Aktivitäten das RP auf LOINC abzustimmen.

6.2 WIRKUNG VON DMS AUF DIE OPTIMIERUNG VON DOSISRELEVANTEN PARAMETERWERTEN (AP 2)

Die Dosisausgangsgrößen werden in Abhängigkeit von den dosisrelevanten Parametern ausgewertet und als Grundlage für die Dosisoptimierung herangezogen. Im Anschluss erfolgt eine weitere Erfassung der Parameter über 6 Monaten mit dem Ziel, wie die Optimierungsmaßnahmen über ein DMS dargestellt werden können.

6.3 KONTINUIERLICHE ERFASSUNG DER EINHALTUNG VON DRW MITTELS DMS (AP 3)

Für die zukünftige Aktualisierung der Referenzwerte werden die Zuordnungen der RP-Begriffe bzw. LOINC zusammengestellt und die Möglichkeiten der Einbindung in die DMS untersucht. Für die Darstellung der Quantilen und die DRW-Zuordnung ausgewählter Dosisparameter sollen Vorschläge für die Integration in die Dashboards und Alarmierungsmöglichkeiten der DMS erstellt werden. Die Möglichkeit der Bereitstellung einer Funktion zur Bildung eines gleitenden Mittelwertes wird ebenfalls untersucht.

6.4 ERSTELLUNG EINES LEITFADENS FÜR ANWENDER VON DMS (AP 4)

Der Leitfaden für den Einsatz eines DMS soll möglichst hersteller- und produktunabhängig das Potential und die Limitationen der verschiedenen DMS aufzeigen und für den Anwender Entscheidungshilfen liefern.

Thema

Erfassung der Häufigkeiten und Expositionsparameter in der pädiatrischen Radiologie

Subject*Collecting relative frequencies and assessing radiation doses of pediatric radiology procedures involving ionising radiation***Kennzeichen**
3617S42441**Beginn**
01.09.2017**Ende**
31.08.2018**Fördermittel**
EUR 197.379,-**Forschungs- / Auftragnehmer**

Institut für Medizinische Biometrie, Epidemiologie und Informatik (IMBEI), Universitätsmedizin der Johannes Gutenberg-Universität, Mainz

Projektleitung
Dr. D. Wollschläger**Fachbetreuung BfS**
Dr. A. Schegerer / AG-SG 2.3**verantwortlich für den Text**
Dr. R. Pokora, Dr. D. Wollschläger,
Dr. G. Stamm, A. Jahnhen,
Prof. Dr. G. Staatz,
Prof. Dr. P. Mildemberger

1. ZIELSETZUNG

Es sollen repräsentativ für Deutschland aktuelle Daten über die relative Häufigkeit einzelner Röntgenanwendungen und radiologischer Interventionen an Kindern im ambulanten wie stationären Bereich sowie Maschinenparameter mit Relevanz für die Strahlenexposition bei diesen Anwendungen ermittelt werden. Die Ergebnisse sollen in die zukünftige Festsetzung von Diagnostischen Referenzwerten im Bereich kinderradiologischer Untersuchungen einfließen.

2. EINZELZIELSETZUNG

Der erste Projektteil (AP 1) verfolgte folgende zwei Einzelzielsetzungen:

- Hierzu sollen erstens bundesweit Kinderkliniken, private Praxen und nicht auf Pädiatrie spezialisierte Einrichtungen mit häufig, d. h. jährlich mehr als 20 mal, durchgeführten kinderradiologische Untersuchungen identifiziert werden.
- An einer Stichprobe von mindestens 50 der in Schritt 1 identifizierten Einrichtungen soll sich eine Datenerhebung anschließen, um das Verhältnis der retrospektiv über ein Jahr erfassten Häufigkeiten pädiatrischer Untersuchungen und Interventionen relativ zur Häufigkeit von Röntgenanwendungen und Interventionen bei Erwachsenen zu bestimmen. Die Häufigkeiten einzelner Untersuchungsarten und Interventionen sollen dabei getrennt erfasst werden.

Der zweite Projektteil (AP 2 und AP 3) umfasst die beiden Einzelziele:

- Aus AP 1 werden bestimmte Röntgenanwendungen (insbesondere CT-Untersuchungen) und nach Möglichkeit bestimmte radiologische Interventionen für eine weitergehende Datenerhebung ausgewählt: Für sie sollen in den teilnehmenden Einrichtungen aus einem zusammenhängenden Zeitraum von 24 Monaten anonymisierte Daten erhoben werden. Dazu gehören neben der Altersgruppe und dem Geschlecht auch dosisrelevante Parameter wie Dosisflächenprodukt und -längenprodukt bei CT-Untersuchungen.
- Mit den Erfahrungen von AP 2 wird ein Konzept für eine regelmäßige und fortlaufende Datenerhebung zur Strahlenexposition durch pädiatrische Röntgenanwendungen erarbeitet.

3. METHODIK

In Abstimmung mit der Gesellschaft für pädiatrische Radiologie (GPR), der deutschen Röntgengesellschaft (DRG) und der deutschen Gesellschaft für interventionelle Radiologie (DeGIR) wurde eine Umfrage entwickelt, um Einrichtungen zu identifizieren, welche häufig kinderradiologische Untersuchungen durchführen.

Zeitgleich wurde ein detaillierter Studienplan erstellt. Da Patienten in der Regel nur bis zum 16. Lebensjahr in der pädiatrischen Radiologie untersucht werden, wurde die Altersgrenze von pädiatrischen Untersuchungen im Fragebogen auf 16 Jahre festgelegt.

Die datenschutzrechtliche Unbedenklichkeit der Studie wurde jeweils in positiven Voten der Ethikkommission der Landesärztekammer Rheinland-Pfalz sowie der Universitätsmedizin Göttingen bestätigt.

4. DURCHFÜHRUNG

4.1 UMFRAGE ZUR IDENTIFIKATION VON EINRICHTUNGEN MIT HÄUFIGEN KINDERRADIOLOGISCHEN UNTERSUCHUNGEN (AP 1.1)

Im Oktober 2017 wurden die 72 in Deutschland arbeitenden Mitglieder der GPR, 20 Teilnehmer der KiCT-Kohorte und 89 weitere per Internetrecherche identifizierte Einrichtungen kontaktiert (insgesamt 181 Einrichtungen). 1 370 Mitglieder der DeGIR wurden im Oktober einmalig über den DeGIR-Email-Verteiler angeschrieben. Weitere potenzielle Teilnehmer in Deutschland, Österreich und der Schweiz wurden auf Basis persönlicher Kontakte identifiziert und kontaktiert. Alle identifizierten Einrichtungen wurden zur Teilnahme an einer Online oder auf Papier ausfüllbaren Umfrage eingeladen, die der Identifikation häufiger kinderradiologischer Maßnahmen diene.

4.2 DATENERHEBUNG HÄUFIGKEITEN RADIOLOGISCHER UNTERSUCHUNGEN (AP 1.2)

Für den zweiten Teil von AP 1 wurden alle zuvor identifizierten Einrichtungen kontaktiert, die ihre Bereitschaft zur weiteren Datenerhebung erteilt hatten. Ihnen wurde ein standardisiertes Protokoll zur Datenerhebung (SOP) über ein RIS (Radiological Information System), DMS (Dosis-Management-System) oder PACS (Picture Archiving and Communication System) zur Verfügung gestellt. Einrichtungen, welche zur Datenerhebung nur ein PACS verwenden konnten, wurde zusätzlich ein neu entwickeltes Java-basiertes Programm zum Sammeln von Daten von radiologischen Untersuchungen angeboten. Zusätzlich zu den SOPs wurden Datenschutzvoten und Vertragsmuster zur Verfügung gestellt.

5. ERGEBNISSE

5.1 UMFRAGE ZUR IDENTIFIKATION VON EINRICHTUNGEN MIT HÄUFIGEN KINDERRADIOLOGISCHEN UNTERSUCHUNGEN (AP 1.1)

Insgesamt nahmen 71 Einrichtungen (davon 84 % Kliniken) an der Umfrage teil. Weitere 4 Einrichtungen gaben Gründe für ihre Nichtteilnahme an. 11 von ihnen führten keine kinderradiologische Maßnahme häufiger als 20 mal jährlich durch. Die häufigste kinderradiologische Anwendung war das konventionelle Röntgen des Thorax AP/PA¹⁾, welches in 47 Einrichtungen (66,2 %) durchgeführt wurde. Extremitäten und Hände wurden als weitere häufige Röntgenuntersuchung genannt. Die zweithäufigste angegebene Untersuchung (55 % der Einrichtungen) war die Miktions-Cysto-Urographie (MCU). Die Ösophagus-Darstellung der Magen-Darmpassage wurde als weitere häufige Durchleuchtungsuntersuchung genannt. Die häufigste CT-Untersuchung war die CT des Hirnschädels (52 % der Einrichtungen). Interventionelle Maßnahmen wurden selten genannt. 56 Einrichtungen willigten in die Teilnahme an der detaillierten Datenerhebung von Untersuchungshäufigkeiten ein. Auf Grund der geringen Teilnahmebereitschaft von Praxen und Praxisverbänden, die zudem nur wenige kinderradiologische Untersuchungen angaben, konnte nur eine geringe Zahl von Praxen für die weitere Datenerhebung gewonnen werden.

5.2 DATENERHEBUNG HÄUFIGKEITEN RADIOLOGISCHER UNTERSUCHUNGEN (AP 1.2)

Explorativ werden die Ergebnisse der bis zum 20.02.2018 teilnehmenden Einrichtungen dargestellt. Bis zum Stichtag wurden 1 400 605 Untersuchungen aus 19 Einrichtungen und 23 Abteilungen an uns geliefert. 20 radiologische Datensätze stammen aus der Radiologie, wovon 7 nur Daten aus der pädiatrischen Radiologie lieferten.

Zunächst wurde die Modalität extrahiert. Es wurden die Übergruppen Angiographie, CT, Röntgen, Durchleuchtung, Magnetresonanztomographie, Nuklearmedizin, Positronen-Emissions-Tomographie, Sonstige, Ultraschall und Photographie gebildet.

Von den 1 400 605 Untersuchungen waren 738 758 Untersuchungen konventionelles Röntgen, 300 472 CT, 29 110 Angiographien und 14 918 Durchleuchtungen. Von den gelieferten Daten entfallen 1 % der CT-Un-

¹⁾ anterior - posterior / posterior - anterior

tersuchungen, 2 % der Angiographien, 14 % der Röntgenuntersuchungen und 33 % der Durchleuchtungen auf unter 17-Jährige. Die häufigste CT-Untersuchung bei Kindern ist das Schädel-CT und das Thorax-CT. Bei weiterer Spezifikation zeigt sich, dass der Großteil der pädiatrischen Kopf-CTs vom Schädel, Felsenbein und den Nasennebenhöhlen gemacht werden. Pädiatrische Thorax-CTs werden, bis auf Standard-CTs der Lunge, häufig nicht weiter spezifiziert. Die dritthäufigste pädiatrische Untersuchungsregion bei der CT betrifft die Gelenke, bei denen häufig Knie und Ellenbogen genannt werden. Bei den Röntgenuntersuchungen ist der Großteil der pädiatrischen Untersuchungen Thorax und Gelenkaufnahmen, wobei die Hand am häufigsten genannt wird. Ein Großteil dieser Thorax-Untersuchungen wird bei Säuglingen durchgeführt und dürfte vor allem auf die Diagnostik bei Frühgeborenen zurückzuführen sein.

6. GEPLANTE WEITERARBEIT

Die Ergebnisse von AP 1 werden in einem Projektgespräch vorgestellt, das auch zur Detailplanung und Abstimmung des Arbeitsprogrammes mit dem BfS dient. Es zeigte sich, dass die Rekrutierung von vielen ärztlichen Einrichtungen zur anschließenden Datenerhebung mit großen organisatorischen Herausforderungen und viel Zeitaufwand verbunden ist. Zwei teilnehmende Einrichtungen zogen durch Krankheit oder Elternzeit ihr Einverständnis zur Teilnahme zurück. Andere Einrichtungen warten vor Datenlieferung noch auf die Rückmeldung der lokalen Ethik-Kommissionen oder auf die Freigabe durch das Vertragsmanagement. Viele RIS-Systeme haben Probleme das Geschlecht zu extrahieren. Die Datenerhebung aus dem PACS mittels externer Software wird von EDV-Abteilungen zunächst oft kritisch gesehen. Im weiteren Projektverlauf werden die Daten der verbleibenden Einrichtungen erhoben und die Daten weiter bereinigt und ausgewertet.

Für AP 2 werden in Abstimmung mit dem BfS bestimmte Röntgenanwendungen (insbesondere CT-Untersuchungen) und nach Möglichkeit bestimmte radiologische Interventionen für eine weitergehende Datenerhebung ausgewählt: Für sie werden in den teilnehmenden ärztlichen Einrichtungen aus AP 1.2 aus einem zusammenhängenden Zeitraum von 24 Monaten anonymisierte Daten erhoben. Dazu gehören Patienten-Stammdaten (Altersgruppe und Geschlecht) und dosisrelevante Parameter. Nach Möglichkeit wird auch das Körpergewicht bzw. der Body-Mass-Index (BMI) des Patienten erhoben. Die Erhebung erfolgt über einen Zeitraum von jeweils 12 Monaten sowohl retrospektiv als auch prospektiv.

In AP 3 wird ein Konzept für die regelmäßige und fortlaufende Datenerhebung zur Exposition bei pädiatrischen Röntgenanwendungen erarbeitet. Durch die zunehmende Verbreitung von DMS ist zu erwarten, dass die Bedeutung der Umfrage-basierten Datenerhebung mittelfristig sinkt und stattdessen der Import von DMS-Exporten wichtig wird. Hier sind auch entsprechende Änderungen der eingesetzten Software zu berücksichtigen. Schließlich dürfte die Verbreitung von Röntgengeräten mit Speicherfolien weiter abnehmen, so dass ihre Berücksichtigung zunehmend verzichtbar wird.

Themenbereich 05
Radioökologie

Subject area 05
Radioecology

Thema			
Experimentelle und theoretische Untersuchungen zu radioaktiven Quellen und Gegenständen im Stahlschrott			
Subject			
<i>Orphan sources and radioactive materials in steel scrap (experimental and theoretical studies)</i>			
Kennzeichen 3615S52320	Beginn 01.11.2015	Ende 31.06.2018	Fördermittel EUR 159.279,-
Forschungs- / Auftragnehmer Brenk Systemplanung GmbH, Aachen			
Projektleitung Dr. J. de Groot	Fachbetreuung BfS Dr. R. Merk / SW 1.6	verantwortlich für den Text Dr. J. de Groot	

1. ZIELSETZUNG

Das Ziel dieses Forschungsvorhabens ist die Verbesserung der Entdeckung von radioaktiven Quellen und Gegenständen im Stahlschrott. Das hier zu behandelnde Forschungsthema wird in Artikel 92 der Richtlinie 2013/59/Euratom (Euratom-Grundnormen) explizit erwähnt (Entdeckung herrenloser Strahlenquellen).

2. EINZELZIELSETZUNG

2.1 REPRÄSENTATIVE ERMITTLUNG DER AUSSTATTUNG DEUTSCHER SCHROTTPLÄTZE UND SCHMELZBETRIEBE MIT PORTALMONITOREN UND ANDEREN MESSEINRICHTUNGEN

Im Rahmen des Arbeitspaketes 1 (AP 1) wird die Frage geklärt, ob in Deutschland relevante potenzielle Eintragswege für radioaktive Quellen und Gegenstände in den Schrott hinreichend und dem Stand von Wissenschaft und Technik entsprechend mit Portalanlagen (z. B. an Schrottplätzen, Schmelzbetrieben, Verkehrsknotenpunkten) ausgestattet sind und welche Eigenschaften diese Messeinrichtungen aufweisen. Zudem wird in AP 1 eine Zusammenstellung bereits aufgetretener Zwischenfälle mit radioaktiven Quellen und Gegenständen im Zusammenhang mit der Schrott- und Stahlwirtschaft zusammenfassend erarbeitet.

2.2 AUFFINDBARKEIT TYPISCHER GAMMASTRAHLER IM STAHLSCHROTT: THEORETISCHE UND EXPERIMENTELLE BETRACHTUNGEN

Im Rahmen des AP 2 wird aufbauend auf den Ergebnissen der Umfrage experimentell und theoretisch untersucht, bei welchen Aktivitäten und unter welchen geometrischen Randbedingungen des realistischen Schrottcontainers ein Nachweis entsprechender Radionuklide (Co-60, Cs-137 und Am-241) durch aktuell übliche gammasensitive Portalmonitore erwartet werden kann.

Dazu wird mittels Computersimulationen (Monte-Carlo-Simulationen) die Auffindbarkeit radioaktiver Quellen und Gegenstände im Stahlschrott theoretisch untersucht und diese Ergebnisse mittels experimenteller Untersuchungen an einem „echten“ Stahlschrottcontainer zu realitätsnahen Bedingungen abgesichert.

2.3 WEITERGEHENDE MÖGLICHKEITEN ZUR ERHÖHUNG DER AUFFINDBARKEIT

Im Rahmen des AP 3 werden Möglichkeit und Notwendigkeit zur Verbesserung der Entdeckung von radioaktiven Quellen und Gegenständen im Stahlschrott analysiert. Über das Konzept der gammasensitiven Portalmonitore hinaus, werden im Rahmen des AP 3 die (passive) Detektion von Neutronenstrahlung und der (aktive) Einsatz von Strahlung zur Auffindung radioaktiver Quellen und Gegenstände im Schrott analysiert. Des Weiteren sind im Rahmen des AP 3 weitergehende Möglichkeiten zur Erhöhung der Auffindbarkeit von herrenlosen Strahlenquellen zu bewerten.

2.4 IDEENFINDUNG FÜR LEITLINIEN UND INFORMATIONSMATERIAL

Abschließend werden im AP 4 Informationsmaterial und Leitlinien entsprechend Artikel 92 der Richtlinie 2013/59/Euratom für verschiedene Personengruppen erstellt. Diese dienen sowohl der Sensibilisierung für das etwaige Vorkommen herrenloser Strahlenquellen und der damit verbundenen Gefahren, als auch als Leitfaden

für Personen, die eine herrenlose Quelle vermuten oder Kenntnis von einer herrenlosen Strahlenquelle erlangt haben.

3. METHODIK

3.1 WEITERGEHENDE MÖGLICHKEITEN ZUR ERHÖHUNG DER AUFFINDBARKEIT

Aufbauend auf den Ergebnissen des AP 1 und AP 2 erfolgte mittels MCNP-Simulationen, basierend auf dem MCNP-Modell eines mit He-3-Gas gefüllten Neutronendetektors, die theoretische Bewertung der Detektierbarkeit von Neutronenquellen im Stahlschrott. In diesem AP wurde zudem geprüft, inwieweit sich in Verbindung mit Stahlschrott Zwischenfälle mit Neutronenquellen ereignet haben und welche Schlussfolgerungen bezüglich des Einsatzes von Portalmeßanlagen und/oder Detektionsverfahren für Neutronenstrahlung daraus gezogen werden müssen.

3.2 IDEENFINDUNG FÜR LEITLINIEN UND INFORMATIONSMATERIAL

Aufbauend auf dem aktuellen Stand von Wissenschaft und Technik sowie auf den Ergebnissen der AP 1, AP 2 und AP 3 soll im Rahmen des AP 4 Informationsmaterial entsprechend Artikel 92 der Richtlinie 2013/59/EURATOM erstellt werden. Basierend auf den Ergebnissen des AP 3 werden Vorschläge für Leitlinien zur Verbesserung der Auffindbarkeit von herrenlosen Strahlenquellen und radioaktiven Gegenständen formuliert und ihre Herleitung begründet.

4. DURCHFÜHRUNG

4.1 WEITERGEHENDE MÖGLICHKEITEN ZUR ERHÖHUNG DER AUFFINDBARKEIT

Die Arbeiten zu Punkt 2.1, 2.2 und 2.3 wurden vollständig durchgeführt. Die Ergebnisse wurden nach verschiedenen Gesichtspunkten ausgewertet und in Berichtsform dargestellt.

4.2 IDEENFINDUNG FÜR LEITLINIEN UND INFORMATIONSMATERIAL

Die Arbeiten zu Punkt 2.4 wurden weitgehend durchgeführt. Die Ergebnisse wurden nach verschiedenen Gesichtspunkten ausgewertet und in Berichtsform dargestellt.

5. ERGEBNISSE

5.1 WEITERGEHENDE MÖGLICHKEITEN ZUR ERHÖHUNG DER AUFFINDBARKEIT

Im Rahmen des AP 3 wurde für Am-241/Be-9 und Cf-252-Neutronenquellen die minimal detektierbaren Aktivitäten bei verschiedenen Quellpositionen bestimmt. Des Weiteren wurde noch zusätzlich AmO₂, welches primär als Alpha- und schwacher Gammastrahler eingesetzt wird, als mögliche Neutronenquelle betrachtet. Bei diesen Simulationen wurde für eine Quellposition zentral im Schrottgebäude die minimal detektierbare Aktivitäten von 10,39 MBq für eine Am-241/Be-9, 5,5 kBq für eine Cf-252- sowie 1 874 MBq für eine AmO₂-Neutronenquelle bestimmt. Anhand von Vergleichskriterien konnte abgeleitet werden, dass die minimal detektierbaren Aktivitäten für andere Messprinzipien zur Neutronendetektion, welche z. Zt. den Stand der Technik darstellen, in ähnlicher Größenordnung liegen.

Abschließend wurden, u. a. auf Basis der theoretischen Betrachtung in Verbindung mit einer Erhebung von Vorfällen mit herrenlosen Neutronenquellen, Empfehlungen zur Optimierung der Auffindbarkeit von radioaktiven Quellen und Gegenständen im Stahlschrott abgeleitet und bewertet.

5.2 IDEENFINDUNG FÜR LEITLINIEN UND INFORMATIONSMATERIAL

Zur Sensibilisierung für das etwaige Vorkommen herrenloser Strahlenquellen und die damit verbundenen Gefahren wurde Informationsmaterial bereitgestellt. Dabei wurde zwischen drei verschiedenen Personengruppen als Empfänger dieses Materials unterschieden:

- Mitarbeiter/Personen ohne Strahlenschutz hintergrund: Personen, die normalerweise keine Handlungen ausüben, für die Strahlenschutzanforderungen gelten, d. h. Nichtfachleute

- Firmenleitung: Personen, die rechtliche Verantwortung für den Betrieb und Weisungsbefugnisse über die Mitarbeiter z. B. eines schrottverarbeitenden Betriebes haben. Von dieser Personengruppe kann erfahrungsgemäß nicht per se erwartet werden, sich eingehend mit Strahlenschutzthemen beschäftigt zu haben. Der Fokus muss hier auf grundlegende Kenntnisse des Gefährdungspotentials und Informationen, welche Konsequenzen eine Nichtmeldung eines Fundes haben kann und wie ein Fund gemeldet werden muss, gelegt werden.
- Mitarbeiter mit strahlenschutzbezogenen Kenntnissen: Personen, die bereits mindestens eine allgemeine Einweisung in Strahlenschutzanforderungen erhalten haben, z. B. Mitarbeiter von schrottverarbeitenden Betrieben.

Basierend auf den Ergebnissen des AP 3 wurden zudem Vorschläge für Leitlinien zur Verbesserung der Auffindbarkeit von herrenlosen Strahlenquellen und radioaktiven Gegenständen formuliert und ihre Herleitung begründet.

6. GEPLANTE WEITERARBEIT

Die Arbeiten zu den einzelnen Arbeitspaketen wurden größtenteils abgeschlossen. Der Endbericht wird erstellt.

Thema Experimentelle Bestimmung von Kd-Werten für endlagerrelevante Radionuklide und REFESOL-Böden			
Subject <i>Experimental determination of Kd-values for final depository relevant radionuclides and REFESOL-soils</i>			
Kennzeichen 3616S52530	Beginn 01.05.2017	Ende 28.02.2019	Fördermittel EUR 347.923,-
Forschungs- / Auftragnehmer G.E.O.S. Ingenieurgesellschaft mbH, Freiberg IAF-Radioökologie GmbH, Radeberg BGD ECOSAX GmbH, Dresden			
Projektleitung Dr. R. Kahnt M. Schlegel	Fachbetreuung BfS L. Urso / SW 1.6	verantwortlich für den Text M. Schlegel, Dr. R. Kahnt, K. Hellmann, F. Kurzius, Dr. H. Hummrich	

1. ZIELSETZUNG

Im Rahmen von Langzeitsicherheitsanalysen zur sicheren Verwahrung hochradioaktiver Stoffe in verschiedenen geologischen Formationen muss durch zuverlässige geologische Modelle nachgewiesen werden, dass auch über sehr lange Zeiträume hinweg keine Radionuklide aus dem Endlager in die Biosphäre gelangen können. Falls nach langen Zeiträumen gelöste Radionuklide direkt in die Biosphäre gelangen (Grundwasseraufstieg) oder derart kontaminiertes Grundwasser aus geologischen Tiefen für die Beregnung abgepumpt wird, sind die möglichen radioökologischen Konsequenzen abdeckend und möglichst realistisch zu modellieren. Bei der Modellierung dieser wasser gebundenen Transportprozesse in der Biosphäre spielt der Verteilungskoeffizient Kd, der die Verteilung von Ionen zwischen der Lösung und der festen Phase im Boden beschreibt, eine entscheidende Rolle. Die elementspezifischen Kd-Werte können standort- und witterungsbedingt über mehrere Größenordnungen schwanken. Durch Einbeziehung mehrerer Bodenparameter wird versucht, die Streubreite der Kd-Werte einzuengen, um standortspezifisch bessere Prognosen machen zu können.

Auf Grund theoretischer Modellrechnungen mit dem Computerprogramm PHREEQC konnten in zwei vorhergehenden Forschungsvorhaben (3609S50905 „Fachliche Unterstützung des BfS bei der Erstellung von Referenzbiosphärenmodellen für den radiologischen Langzeitsicherheitsnachweis von Endlagern - Modellierung des Radionuklidtransports in Biosphärenobjekten“, 3614S50010 „Fachliche Unterstützung des BfS bei der Erstellung von Referenzbiosphärenmodellen für den Langzeitsicherheitsnachweis von Endlagern - Quantitative Modellierung des Radionuklidtransports in der Biosphäre“) die radionuklidspezifischen Haupteinflussfaktoren auf die Kd-Werte ermittelt und damit ein besseres Prozessverständnis erworben werden. Die Ergebnisse wurden bei diesen Vorhaben auf Grund experimenteller Daten aus der entsprechenden Literatur validiert. Es mussten jedoch Zusatzannahmen für einzelne relevante Parameter getroffen werden, da keine Studie umfassende Daten über die Zusammensetzung und Struktur der Böden bzw. der Bodenlösung lieferte.

Im Rahmen des Forschungsprojektes sollen Säulenexperimente durchgeführt werden, die die Szenarien Grundwasseraufstieg und Beregnung für verschiedene REFESOL-Böden abdecken, so dass ein einheitlicher Datensatz für die Validierung des Modells zur Verfügung steht. Im Fokus des Forschungsvorhabens stehen die endlagerrelevanten Radionuklide Ni-63, Se-79, I-129, Cs-135, Ra-226, Np-237, U-238, Am-241 und Pu-239.

2. EINZELZIELSETZUNG

2.1 AUFARBEITUNG DES RELEVANTEN STANDES VON WISSENSCHAFT UND TECHNIK

Im Vorfeld der Experimente wird eine Literaturrecherche unter dem Hintergrund der Optimierung der Versuchsreihe durchgeführt. Zudem wird diskutiert, inwieweit die Versuchsreihe auf deutsche landwirtschaftliche Verhältnisse zu übertragen ist.

2.2 DURCHFÜHRUNG DER SÄULENVERSUCHE ZUR ERMITTLUNG DER KD-WERTE

Für 2 Referenzböden werden Säulenversuche durchgeführt, die die Szenarien Grundwasseraufstieg und Beregnung abbilden. Die endlagerrelevanten Radionuklide werden dabei teilweise durch leichter verfügbare Isotope des gleichen Elements substituiert (Cs-134, Se-75, Pu-238). Analysiert werden die gebundenen Radionuklide an der Bodensubstanz sowie die Radionuklide in der Bodenlösung zum Ende der Versuchsreihe, um die Kd-Wert-Berechnung durchzuführen.

2.3 VALIDIERUNG DES SYSTEMMODELLS

Die durchgeführten Experimente sollen mit dem vorhandenen Modell nachsimuliert werden. Die experimentell ermittelten Kd-Werten sollen mit den vom Modell berechneten Werten verglichen werden, um die Gültigkeit zu untermauern.

3. METHODIK

In der Versuchsplanung wird der experimentelle Aufbau durch die Literaturrecherche sowie einer Vorabsimulation entsprechend der Thematik optimiert. Anschließend werden Vorversuche mit den Referenzböden durchgeführt, um deren bodenphysikalische Eigenschaften zu erfassen. Nach den Vorversuchen finden die Säulenexperimente statt, bei denen in Szenario 1 der Grundwasseraufstieg und in Szenario 2 die Beregnung mit radioaktiv belasteten Wasser experimentell realisiert wird. Aus den Analysen des finalen Zustands werden die Kd-Werte der Radionuklide abgeleitet, die mit den Modellprognosen verglichen werden.

4. DURCHFÜHRUNG

4.1 AUFARBEITUNG DES RELEVANTEN STANDES VON WISSENSCHAFT UND TECHNIK

Die Literaturrecherche zielt darauf ab den Stand der Technik der Säulenexperimente aufzuzeigen. Weiterhin werden relevante Prozesse im Feldmaßstab erläutert und deren realitätsnahe Darstellung in Säulenversuchen. Auf Grundlage der Ergebnisse werden Schlussfolgerungen für die Experimente „Einstauversuch“ und „Beregnung“ gezogen.

Auf Grund der hohen Sorptionsfähigkeiten vieler Radionuklide wird ergänzend eine modellbasierte Versuchsplanung zur Optimierung der Stammlösung durchgeführt.

4.2 DURCHFÜHRUNG DER SÄULENVERSUCHE ZUR ERMITTLUNG DER KD-WERTE

Unter Einbeziehung der Ergebnisse des ersten Forschungsziels wurden die Säulenversuche wie folgt geplant:

4.2.1 Grundwasseraufstieg

Der Versuchsaufbau besteht aus einer Mariotteschen Flasche als Vorratsgefäß für das zu verwendende Versuchswasser zur Erzielung von Ausflussbedingungen, die unabhängig vom Wasserstand in dem Vorratsgefäß sind, einer Säule (0,3 m im Durchmesser x 0,5 m in der Höhe), 6 spiralförmig angeordnete Feuchtigkeits- und Temperatursensoren und einem Datenlogger.

Im Bodenfuß der Säule befindet sich eine Verteilschicht, auf der eine feinmaschige Gage (=Gauge) aufgelegt ist. Diese stellt die Trennung zwischen Verteilschicht und Boden dar. Die Mariotteschen Flasche wird auf die Druckhöhe eingestellt, bei der das Wasser nur in die Verteilschicht (bis zur Oberkante) eingestaut wird. Der vertikale Wasserzufluss in den Boden soll nur durch die Kapillarkräfte des Bodenmaterials erfolgen (das Vorgehen entspricht dem allgemein anerkannten Stand der Technik). Das obere Ende der Säule wird mit einer Folie verschlossen. Anhand der Feuchtemessung durch die Sensoren werden das Aufsteigen der Wasserfront und die Feuchtigkeitszunahme je Bodenhöhe erfasst.

4.2.2 Beregnung mit kontaminiertem Wasser

In diesem Säulenversuch werden die Böden mit dotiertem Wasser berieselt. Die Aufgabelösung wird von einer Schlauchpumpe zum Tropfenverteiler transportiert und gelangt durch mehrere Kanülen auf die Bodenoberfläche. Die Zugabe erfolgt tropfenweise, um die Bildung von Fließkanälen zu vermeiden. Gleichzeitig wird die Intensität so festgelegt, dass der Boden vollständig benetzt wird ohne dabei Stauwasser zu bilden. Es wird daher voraussichtlich die Tagesmenge an Wasser über einen Zeitraum von wenigen Stunden zugeführt. Von

der Oberfläche sickert das Wasser durch Gravitationskräfte und Kapillarkräfte durch die Bodensäule. Um eine rückgestaute Infiltration zu verhindern wird an der Unterseite der Säule ein Unterdruck angelegt, der dem Kapillardruck bei Feldkapazität entspricht. Im Bereich der Feldkapazität findet der Haupttransport des Sickerwassers statt. Das Sickerwasser wird in einem Probengefäß gesammelt. Die Säule wird zur Vermeidung von Verdunstungsverlusten oben verschlossen.

5. ERGEBNISSE

5.1 AUFARBEITUNG DES RELEVANTEN STANDES VON WISSENSCHAFT UND TECHNIK

Die Recherche ergab, dass eine Vielzahl verschiedener Laborversuche existiert, wobei jeder Versuchsaufbau darauf abzielt, einen spezifischen Prozesse besser quantifizieren zu können.

In Anbetracht der zu ermittelnden Parameter ist es möglich die K_d -Werte der Radionuklide auf Grundlage labortechnischer Analysen zu bestimmen. Basierend auf den Randbedingungen und den spezifischen Materialeigenschaften sollen mit dem Modell die K_d -Werte geprüft werden. Ist dies erfolgreich, kann das Modell all-gemeingültig auf landwirtschaftliche Flächen übertragen werden. In diesem Schritt können die Ausbreitung steuernden Parameter Evaporation, Wasserentzug aus dem Bodenraum als Folge der pflanzlichen Transpiration oder auch der Makroporenfluss berücksichtigt werden.

Die Versuchsplanung wurde modelltechnisch unterstützt. Aus den Modellsimulationen ergaben sich hohe K_d -Werte. Eine Berechnung zur Optimierung der Stammlösung wurde so durchgeführt, dass die Radionuklide mit einem Faktor 50 oberhalb der Nachweisgrenze liegen.

Ein entsprechender Vorversuch des Einstauversuchs mit nicht dotiertem Wasser zeigte, dass sich innerhalb von 1,5 Tagen für den sandigen Boden (REFESOL 04) und von 3 Tagen für den schluffigen Boden (REFESOL 02) ein konstanter Wassergehalt in den Böden bis zu einer Höhe von 25 cm einstellte. Insgesamt wurden im Vorversuch aus der Säulenhöhe von 25 cm 3 Schichten definiert. Aus der unteren Schicht konnte im Blindversuch genügend Wasser (> 100 ml) für die Isotopenanalytik gewonnen werden.

6. GEPLANTE WEITERARBEIT

Nach Abschluss der Tests bezüglich des Sorptionsverhaltens des Vorratsbehälters werden die Säulenversuche gestaffelt gestartet. Es wird mit dem Einstauversuch für REFESOL 04 begonnen. Mit dem ersten Einstauversuch werden die ersten K_d -Werten quantifiziert. Mit diesen K_d -Werten wird das Modell kalibriert. Die daraus ableitbaren Schlussfolgerungen für die Experimente fließen in die weitere Planung ein.

Themenbereich 06
Notfallschutz

Subject area 06
Emergency management

Thema			
Fortschreibung des Szenarienkatalogs für behördliche Notfallübungen und Durchführung von Schulungen für die Notfallorganisationen des BfS und BMUB			
Subject			
<i>Extrapolation of the catalogue of exercise scenarios for emergency response planning by authorities and training courses for emergency response organisations of BfS and BMUB</i>			
Kennzeichen	Beginn	Ende	Fördermittel
3615S62506	13.10.2015	31.10.2018	EUR 322.819,-
Forschungs- / Auftragnehmer			
Gesellschaft für Anlagen- und Reaktorsicherheit (GRS) gGmbH, Köln			
Projektleitung	Fachbetreuung BfS	verantwortlich für den Text	
Dr. C. Richter	N. Zander / SW 2.2	Dr. C. Richter, N. Zander	

1. ZIELSETZUNG

Bei Ereignissen in grenznahen ausländischen Kernkraftwerken (KKW) ist die Notfallorganisation des Bundes (zu Projektbeginn: Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit, BMUB und Bundesamt für Strahlenschutz, BfS) federführend für die radiologische Lagebewertung sowie die Koordinierung von Maßnahmen zur Bewältigung des Notfalls mit Unterstützung der Bundesländer zuständig. Daher soll in diesem Vorhaben das Spektrum von Übungsszenarien im bestehenden Szenarienkatalog unter Berücksichtigung weiterer spezifischer Ereignisabläufe in grenznahen ausländischen KKW Frankreichs und der Schweiz erweitert und ergänzt werden. Somit soll eine fachlich fundierte Grundlage mit detailliert ausgearbeiteten und realitätsnahen Übungsszenarien in Bezug auf radiologisch relevante Ereignisse, die zur Steigerung der Effizienz der BMUB-/BfS-Notfallorganisation beiträgt, vorgelegt werden.

Im Rahmen des Vorhabens wird eine Übung für die Notfallorganisationen des Bundes vorbereitet, durchgeführt und ausgewertet.

Das im Vorhaben erworbene Wissen über die möglichen Ereignisabläufe in grenznahen ausländischen Anlagen sowie Grundlagen für die Stabsarbeit in behördlichen Notfallschutzorganisationen des BMUB und BfS werden in insgesamt zwei Schulungen für Stabsmitglieder des BMUB und des BfS weitergegeben.

2. EINZELZIELSETZUNG

Das Vorhaben unterteilt sich in fünf Arbeitspakete (AP). Innerhalb des ersten AP wird der für das Vorhaben relevante Stand von Wissenschaft und Technik aufbereitet. Dies betrifft die Szenarientwicklung, die Struktur des anlagenexternen Notfallschutzes im In- und Ausland bei radiologisch relevanten Ereignissen sowie die Erstellung, Durchführung und Auswertung von Notfallschutzübungen. Die Entwicklung der Übungsszenarien und die Erstellung der Übungsdokumentation sind Gegenstand des zweiten und dritten AP. Innerhalb des vierten AP wird die Übung für die Notfallorganisationen des Bundes CORE 2017 vorbereitet, durchgeführt und ausgewertet. Die Erarbeitung von Schulungsunterlagen und die Durchführung der Schulungen der Stabsmitglieder des BMUB und des BfS erfolgt in AP 5.

3. METHODIK

Je nach AP werden unterschiedliche Methodiken angewendet. AP 1 beinhaltet eine umfangreiche Fachliteraturrecherche, deren Ergebnisse dokumentiert werden. Ebenso werden die neuen Erkenntnisse innerhalb des Vorhabens aufbereitet. Aus den Erkenntnissen zu Ereignisabläufen in grenznahen ausländischen Kernkraftwerken werden Übungsszenarien erstellt. Diese beinhalten die zeitliche Entwicklung von Anlagenparametern sowie Angaben zu möglichen Quelltermen. Für die Übungsszenarien werden in AP 3 (internationale) Meldeformulare erstellt, wie sie in einem realen Notfall von Seiten des benachbarten Unfalllandes zu erwarten wären. Zum AP 4 gehört als Vorbereitung der CORE 2017 die Teilnahme an und Durchführung von zahlreichen Vorbesprechungen und Abstimmungsgesprächen, die Beobachtung und Teilnahme an der Übung sowie die Auswertung und Analyse der Beobachtungen, Rückmeldungen und Nachbesprechungen. Die Ergebnisse der

Auswertung und Analyse werden dokumentiert. Zur Schulung der Stabsmitglieder des BMUB und des BfS werden Schulungsunterlagen erstellt und jeweils eintägige Workshops zur Schulung durchgeführt.

4. DURCHFÜHRUNG

Die Durchführung der AP 1 bis 3 entspricht der unter 3 beschriebenen Methodik. Die CORE 2017 wurde am 17. Oktober 2017 als Beteiligung an einer nationalen Übung des französischen KKW Cattenom durchgeführt. Es war die erste Übung für das Radiologische Lagezentrum des Bundes (RLZ), welches seit dem 1. Oktober 2017 für das Notfallmanagement auf Bundesebene zuständig ist. Das GRS-Notfallzentrum ist seit Anfang Oktober 2017 ebenfalls Mitglied des RLZ und beteiligte sich mit 14 Teilnehmern an der Übung. Das Radiologische Lagezentrum des Bundes wurde von den zuständigen Behörden (Innen- und Umweltressort) der Bundesländer Saarland und Rheinlandpfalz unterstützt. Auch das Gemeinsame Melde- und Lagezentrum von Bund und Ländern (GMLZ) des Bundesamts für Bevölkerungsschutz und Katastrophenhilfe (BBK) übernahm Aufgaben innerhalb der Übung.

Darüber hinaus waren insgesamt 5 Mitarbeiter des Forschungsnehmers als Beobachter bei der Übung tätig. Eine Person war bei der Kopfstelle des RLZ im BMUB in Bonn als Beobachter vor Ort, eine Person beim RLZ-Zentralstelle des Bundes (ZdB) beim BfS in Neuherberg, eine Person beim Krisenstab der saarländischen Katastrophenschutzbehörde in Saarbrücken und zwei weitere Personen bei der GRS in Köln.

Im Nachgang der Übung wurde an mehreren Nachbesprechungen teilgenommen (jeweils eine kurze Feedbackrunde am Übungstag bei den übenden Stellen, eine RLZ-GRS Nachbesprechung, eine RLZ-interne (BMUB, BfS und GRS) Nachbesprechung per Videokonferenz und eine Nachbesprechung mit den mitübenden Bundesländern Saarland und Rheinland-Pfalz und dem RLZ).

Es wurde damit begonnen, die Übungsbeobachtungen, die Teilnehmerrückmeldungen aus im Anschluss der Übung verteilten Fragebögen und die Nachbesprechungen auszuwerten und für den Abschlussbericht aufzubereiten.

5. ERGEBNISSE

Als Ergebnisse der Arbeiten wurden neun Übungsszenarien erstellt. Für die Auftraggeber wurden Schulungen der Stabsmitglieder erarbeitet und in Form von Vorträgen realisiert. Zudem erfolgte die Durchführung der ersten Übung des RLZ. Die ersten Zwischenergebnisse der Übungsauswertung weisen Optimierungspotential in verschiedenen Bereichen wie der Absprache hinsichtlich bestimmter Zuständigkeiten, der Koordinierung und der Aufbereitung des Produktes des RLZ, dem radiologischen Lagebild, auf.

6. GEPLANTE WEITERARBEIT

Die Übung wird weiter ausgewertet. Die Ergebnisse der Analyse, wie identifizierte Optimierungsmöglichkeiten oder Abstimmungs- und weiterer Übungsbedarf, werden für den Auftraggeber in einem Abschlussbericht aufbereitet.

Thema

Verfahren zur optimierten Standortauswahl für spektrometrierende Sonden und zur Generierung von Messaufträgen für Notfallschutzübungen

Subject

Optimisation procedure for the selection of locations of spectroscopic probes and for the generation of measurement tasks for emergency exercises

Kennzeichen
3615S62540

Beginn
01.02.2016

Ende
27.02.2018

Fördermittel
EUR 277.309,-

Forschungs- / Auftragnehmer
IMSD GmbH, Zürich

Projektleitung
Dr. R. Dewarrat

Fachbetreuung BfS
Dr. M. Bleher / SW 2.4.3

verantwortlich für den Text
Dr. P. Mandrin, Dr. M. Bleher

1. ZIELSETZUNG

Für den Fall einer unfallbedingten Freisetzung von Radionukliden liefern die Ortsdosisleistungs-Messnetze des BfS und der Länder eine rasch verfügbare und gute Datengrundlage für die Abschätzung der Unfallfolgen. Ziel des Forschungsvorhabens ist die Entwicklung eines Optimierungsverfahrens, das Standorte für zusätzliche konventionelle und spektroskopische Messsonden vorschlägt. Das zu entwickelnde Werkzeug soll künftig auch Untersuchungen zur Messnetzoptimierung bei einer veränderten Bedrohungslage unterstützen und im Rahmen von Notfallschutzübungen auch zur Generierung von Messaufträgen einsetzbar sein.

2. EINZELZIELSETZUNG

- Aufarbeitung des relevanten Standes von Wissenschaft und Technik (AP 1)
- Verfahren zur Optimierung der Standorte von Messsonden für Einzelfall-Szenarien (AP 2)
- Einzelfall-basiertes Verfahren zur Generierung von zusätzlichen Messaufträgen (AP 3)
- Generalisiertes Verfahren zur Optimierung der Standorte von Messsonden (AP 4).

2017 wurde AP 3 entwickelt und AP 4 begonnen, diese werden hier beschrieben. Für AP 1 und AP 2 wird auf den Programmreport 2016 verwiesen.

3. METHODIK

3.1 VERFAHREN ZUR GENERIERUNG VON ZUSÄTZLICHEN MESSAUFTRÄGEN

Ziel ist die einzelfallbasierte Berechnung von Standorten und Prioritätszonen für mobile Messaufträge, mit denen über die ortsfesten Messstationen hinaus zusätzliche Messdaten gewonnen werden. Das Vorgehen beruht auf der Ermittlung einer Unsicherheits- und einer Kontaminationskarte, welche auf Grund von Modellrechnungen und bereits verfügbaren Messdaten mittels Deformation der Ortsdosisleistungsverteilung der Modelle berechnet werden sowie einer anschließenden Standortoptimierung. Die Modellrechnungen werden mit Hilfe des Entscheidungshilfesystems RODOS erhalten. Die geplanten Abläufe sind im Schema der Abbildung 1 veranschaulicht. Ausgehend von Modellrechnungen und Messdaten werden eine Kontaminationskarte und eine Unsicherheitskarte erstellt und daraus Empfehlungen für prioritäre Messstandorte oder -routen generiert. Die Massenrechnungen werden entweder aus aktuellen RODOS-Simulationen oder aus vorgerechneten Szenarien gewonnen.

Konkret bedarf es folgender Schritte für die Berechnung optimaler Messstandorte:

- Ermittlung der Güte der Übereinstimmung zwischen den einzelnen Modellen und den Messdaten
- Optimierung der ortsabhängigen Formen der Modelle zur verbesserten Übereinstimmung mit den Messdaten, unter Einhaltung physikalischer Vorgaben
- Ermittlung der Kontaminationskarte als Linearkombination der Modelle, mit einer wahrscheinlichkeitstheoretisch begründeten Berechnung der Koeffizienten.

- Ermittlung der Gesamtunsicherheiten der Kontaminationskarte (Gesamtunsicherheitskarte)
- Ermittlung einer Kostenfunktion für die Gesamtunsicherheit
- Ermittlung einer Gesamtkostenfunktion für die Prioritätszonen unter Berücksichtigung weiterer Optimierungskriterien
- Standortoptimierung für mobile Messaufträge.

3.1.1 Güte der Übereinstimmung zwischen den einzelnen Modellen und den Messdaten

Die Güte der Übereinstimmung wird in der Form des reduzierten Chi-Quadrates¹⁾ zwischen den Modelldosisleistungen d_i^{Mod} und den Messdosisleistungen d_i^{Mess} mit Messstreuung σ_i berechnet (i bezeichnet den Messstandort und ν die Anzahl der Freiheitsgrade

$$r\chi^2 = \sum_{i=1}^N \frac{(d_i^{Mess} - d_i^{Mod})^2}{\nu \sigma_i^2} \quad (1)$$

und daraus die Wahrscheinlichkeit, dass die Modellhypothese nicht zu verwerfen ist.

3.1.2 Optimierung der ortsabhängigen Formen der Modelle

Gemäss der zu Grunde liegenden Approximation des himmelsrichtungsunabhängigen Ausbreitungsverhaltens von Kontaminationswolken werden bei konstant gehaltenem Quellterm die Modellwolken in Ihrer Winkeorientierung und radialen Ausdehnung (bezogen auf den Freisetzungsort) geringfügig angepasst, so dass sie die gemessene Dosisverteilung optimal wiedergeben. Damit kann selbst bei ungenügender Deckung aller möglichen Beobachtungen von Dosisverteilungen durch die Massenrechnungen trotzdem eine Kontaminationskarte erstellt werden, basierend auf den optimierten Modellformen.

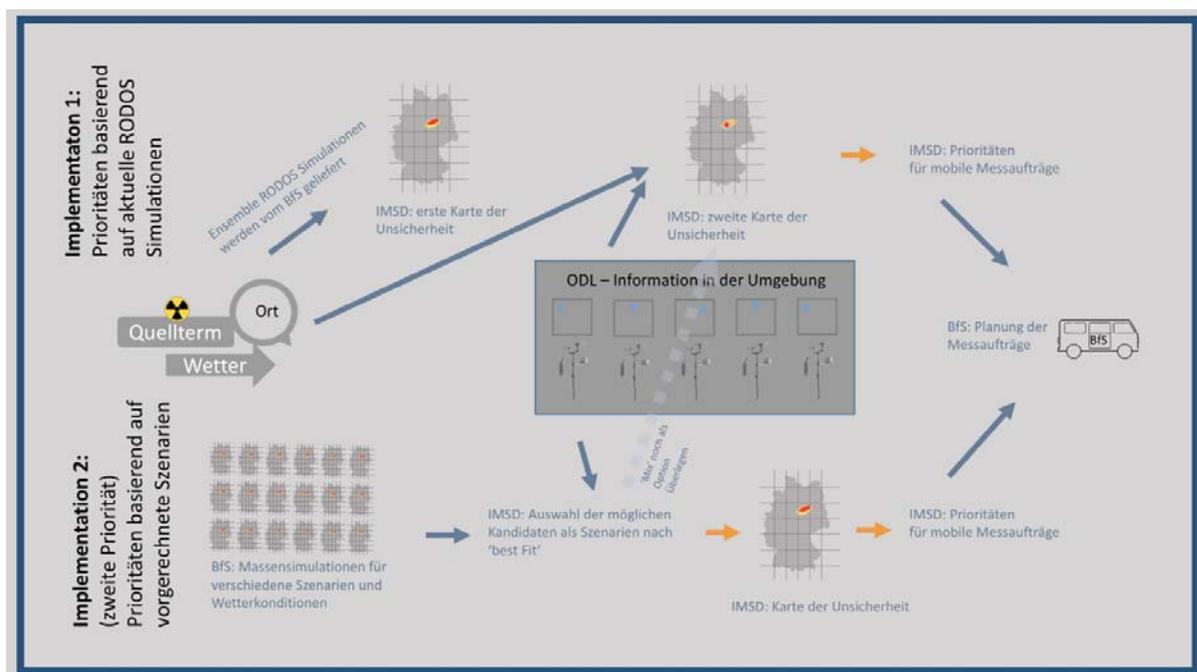


Abbildung 1: Veranschaulichung der Abläufe bei der Generierung von mobilen Messaufträgen

¹⁾ siehe z. B. https://ned.ipac.caltech.edu/level5/Leo/Stats7_2.html, <http://maxwell.ucsc.edu/~drip/133/ch4.pdf>

3.1.3 Ermittlung der Kontaminationskarte

Die Kontaminationskarte (d_{kont}) wird als Linearkombination der (gegebenfalls formkorrigierten) Modellwolken (d_i) erstellt, wobei der Koeffizient w_i die datensatz-normierte Wahrscheinlichkeit dafür ist, dass das Modell i die Messdaten angemessen beschreibt:

$$d_{kont} = \sum_{i=1}^n w_i d_i \quad \left[\sum_{i=1}^n w_i = 1 \right] \quad (2)$$

3.1.4 Gesamtunsicherheitskarte

Die Gesamtunsicherheitskarte stellt die ortsabhängige Unsicherheit der Werte in der Kontaminationskarte dar und setzt sich - abgesehen vom Messfehler - aus den folgenden Beiträgen zusammen:

- Unsicherheit des Modellwertes am Ort der nächstgelegenen Messstation
- Unsicherheit des Modellwertes mit zunehmender Entfernung von der nächstgelegenen Messstation
- Unsicherheit des Modellwertes auf Grund der Formoptimierung.

3.1.5 Kostenfunktion für die Gesamtunsicherheit

In Gebieten mit größerer Gesamtunsicherheit sollen mobile Messaufträge eher durchgeführt werden (niedrigere Kosten im Optimierungsprozess) als in Gebieten mit niedrigerer Gesamtunsicherheit. Die Dosisunsicherheits-Kostenfunktion F_g wird durch Normieren und anschließend Invertieren der Unsicherheitskarte erhalten.

3.1.6 Gesamtkostenfunktion für die Ermittlung von Prioritätszonen

Neben der Dosisunsicherheits-Kostenfunktion F_g können auch die im Rahmen von AP 2 entwickelten sieben Optimierungskriterien berücksichtigt werden. Dabei wurden die zunächst fünf Kriterien bereits in AP 2 um die Kriterien X6 und X7 aus der Tabelle in Abschnitt 3.2 erweitert. Die Gesamtkostenfunktion $F(x)$ wird als Linearkombination aller (normierten) Kostenfunktionen F_i berechnet:

$$F(\vec{x}) = \frac{1}{G} \sum_{i=1}^9 g_i F_i(\vec{x}) \quad \left[G = \sum_{i=1}^9 g_i \right] \quad (3)$$

3.1.7 Standortoptimierung für mobile Messaufträge

Schließlich werden die Standorte für mobile Messaufträge mit der in AP 2 (siehe vorhergehender Bericht) beschriebenen Methode optimiert.

3.2 GENERALISIERTES VERFAHREN ZUR OPTIMIERUNG DER STANDORTE VON MESSSONDEN

In AP 4 werden die Standorte ortsfester Messstationen auf Grund der Gesamtbedrohungslage optimiert, unter Berücksichtigung des gesamten Sondernetzwerkes, aller maßgeblichen in- und ausländischen Kernkraftwerke und aller zu erwartenden Wetterlagen.

Das Ziel von AP 4 wird durch folgendes Vorgehen erreicht:

- Jede vom Freisetzungsort abhängige Kostenfunktion F_i wird als Linearkombination der entsprechenden einzelfallbasierten Kostenfunktionen F_{ik} mit k Freisetzungsorten berechnet, wobei a_k gefahrenstrategische Gewichte der Freisetzungsorte bedeuten:

$$F_i(\vec{x}) = \frac{1}{A} \sum_{k=1}^K a_k F_{ik}(\vec{x}) \quad \left[A = \sum_{k=1}^K a_k \right] \quad (4)$$

- Jede messstationsspezifische Kostenfunktion wird erweitert um eine entsprechende Kostenfunktion für spektrometrierende Sonden. Letztere berücksichtigt die Standorte bestehender spektrometrierender Sonden anstelle der konventionellen Messsonden.
- Die Grundgesamtheit aller möglichen Wetterlagen kann jeweils mit einer Stichprobe von z. B. 365 Tages-RODOS-Simulationen, berechnet aus den täglichen Wetterlagen über ein Jahr, angenähert werden.

Insgesamt ergeben sich die in Tabelle 1 dargestellten Optimierungskriterien (Optimierung für AP 3 mit eingeschlossen).

Tabelle 1: Optimierungskriterien

Kriterium	sondenunabhängig	konventionelle Sonden	spektrometrierende Sonden
UFO*	X1: Bevölkerungsdichte	Unsicherheit mit Distanz zur nächsten Sonde	
		X2	X10
		Sondenabstand	
		X5	X11
AFO**	X3: kritische Ortsdosisleistung von 100 µSv/h	Winkeldistanz zur nächsten Sonde bezogen auf den Freisetzungsort	
	X4: Zeit seit Alarm bis Exposition	X7	X12
	X6: Distanz zum Freisetzungsort	X8: unsicherheitsbedingte Prioritätszonen für mobile Messaufträge (AP 3)	
* UFO = unabhängig von den Freisetzungsorten ** AFO = abhängig von den Freisetzungsorten unterstrichene Kriterien benötigen RODOS-Daten			

4. DURCHFÜHRUNG

Mit dem Start von AP 3 wurde zunächst die Datenlage der nuklid-spezifischen Modellrechnungen unterschiedlicher Freisetzungsszenarien visualisiert und analysiert. Unter anderem zeigte sich die Eignung von Messdaten über Nuklidverhältnisse für die Identifikation des Freisetzungsszenarios sehr klar. Parallel dazu wurde die Anzahl Optimierungskriterien im Rahmen von AP 2 auf 7 erhöht (siehe oben). Anschließend wurde das geplante Vorgehen zur der Priorisierungs-Software für AP 3 mit dem BfS regelmäßig abgesprochen und implementiert. Der Programm-Code und eine Dokumentation dazu wurden zum Abschluss von AP 3 dem BfS übergeben.

5. ERGEBNISSE

Aus Platzgründen wird in diesem Statusbericht das Ergebnis eines einzelnen Beispiels für AP 3 gezeigt. Detaillierte Informationen finden sich in der Dokumentation.

Die räumliche Optimierung als Hilfestellung zur Standortauswahl für mobile Messaufträge erfolgt in folgendem Beispiel für ein konkretes Freisetzungsszenario mit südöstlicher Ausbreitung, ausgehend von vier verschiedenen Ausbreitungsmodellen und einem simulierten Messdatensatz. Der simulierte Freisetzungsort ist mittels grünem Stern gekennzeichnet. Die Abbildung 2 stellt dar:

- die farblich codierte Ortsdosisleistung (ODL) der vier Modelle (weiß entspricht einer vernachlässigbaren, dunkelbraun einer hohen ODL) und den Messdatensatz (rote Punkte: ODL hoch bei großen Punkten)
- die berechnete Kontaminationskarte (mit entsprechenden Farbtönen).

Für die räumliche Optimierung wurden folgende Kriterien verwendet: Bevölkerungsdichte (X1), Distanz zum Freisetzungsort (X6) und Unsicherheit der Kontamination (X8). Abbildung 3 stellt dar:

- die farblich codierte Unsicherheit der Kontamination (weiß entspricht genauer Kenntnis und dunkelbraun hoher Unsicherheit)
- die Gesamtkostenfunktion (hell entspricht kleinen Kosten und dunkel hohen Kosten) sowie vorgeschlagene, optimale Messpunkte für zusätzliche Messungen (farbige Punkte).

Im Beispiel wurden dabei zunächst zehn Messpunkte willkürlich innerhalb des betrachteten Gebietes platziert (farbige Kreuze), wovon nur ein Ausschnitt gezeigt ist. Durch das Optimierungsverfahren wurde gemäß der Kostenfunktion eine optimierte Messposition bestimmt; diese Positionsoptimierung wurde dabei 400 mal wiederholt. Die Positionen der zehn besten Läufe wurden ausgewählt und durch Farbpunkte dargestellt.

Die Visualisierung lässt deutlich erkennen, dass die Positionen für zusätzliche Messpunkte innerhalb der Kontaminationszone und hauptsächlich in näherer Umgebung des Freisetzungsortes vorgeschlagen werden. Dabei werden Positionen in bewohnten Gebieten stärker berücksichtigt.

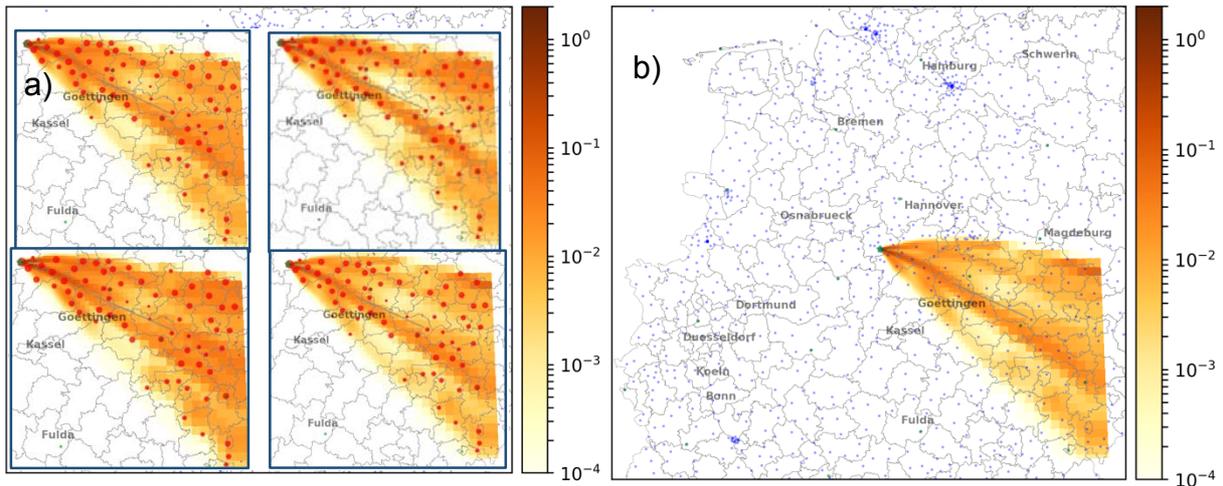


Abbildung 2: Räumlich abhängige ODL a) der vier Modelle und der simulierten Messungen, b) der Kontaminationskarte. Der simulierte Freisetzungsort ist mittels grünem Stern gekennzeichnet.

6. GEPLANTE WEITERARBEIT

Der Abschluss von AP 4 ist Ende März 2018 geplant. Anschließend werden die Programme für AP 3 und AP 4 in der neuesten Version zusammen mit den Anleitungen dem BfS übergeben. Die im Abschnitt 3.2 aufgeführten Schritte werden im Rahmen von AP 4 implementiert und getestet.

Thema			
Umsetzung von Informationsstrategien und Konzepten in konkrete Handlungsempfehlungen und Informationsangebote unter Berücksichtigung moderner internetbasierter Kommunikationsformen			
Subject			
<i>Conversion of information strategies and concepts into concrete recommendations for action and information offerings, taking into account modern internet-based forms of communication</i>			
Kennzeichen	Beginn	Ende	Fördermittel
3617S62555	01.06.2017	31.05.2019	EUR 204.978,-
Forschungs- / Auftragnehmer			
Stiftung Risiko-Dialog, Winterthur, Schweiz Universität Leipzig, Institut für Kommunikations- und Medienwissenschaft, Leipzig			
Projektleitung	Fachbetreuung BfS	verantwortlich für den Text	
M. Holenstein	Dr. C. Fehn / SW 2.1	Dr. R. Högg	

1. ZIELSETZUNG

Das Bundesamt für Strahlenschutz (BfS) entwickelt im Rahmen des im Aufbau befindlichen radiologischen Lagezentrums (RLZ) ein Kommunikationskonzept. Das vorliegende Projekt will dabei gezielt unterstützen. Resultat des Projekts sind konkrete Handlungsempfehlungen zuhanden des BfS, die auch an Workshops interaktiv weiterentwickelt werden.

2. EINZELZIELSETZUNG

Das Projekt ist aufgeteilt in vier Arbeitspakete (AP):

- Aggregierung des existierenden Wissens (AP 1)
- Identifizierung und Analyse der unterschiedlichen Zielgruppen (AP 2)
- Analyse konkreter Kommunikationsszenarien (AP 3)
- Untersuchung - mit einem Fokus auf digitale Informationskanäle -, welche Kanäle sich für die spezifischen Ziele ideal eignen (AP 4).

von denen Ende 2017 das erste Arbeitspaket (AP 1 - „Aktueller Wissensstand“) abgeschlossen wurde.

Ziel von AP 1 war es, den aktuellen, relevanten Stand von Wissenschaft und Technik für die Zwecke des Vorhabens aufzuarbeiten. Zentrale Leitfragen dabei waren:

- Welche Untersuchungen befassen sich bereits mit Risiko- und Krisenkommunikation im radiologischen und nuklearen Notfallschutz? Zu welchen Erkenntnissen kommen sie?
- Welche Untersuchungen befassen sich bereits mit Risiko- und Krisenkommunikation in angrenzenden Bereichen des Notfallschutzes? (z. B. Naturgefahren)
- Welche konkreten Empfehlungen werden gegeben? (in Bezug auf Zielgruppen, Botschaften, Kommunikationskanäle, etc.)

3. METHODIK

Das Projektteam basierte seine Arbeiten neben Desk- und Onlinerecherche auch auf dem Fachwissen und den Erfahrungen nationaler und internationaler Experten/innen. Das Wissen dieser Personen wurde im Rahmen von selektiven Experteninterviews in die Recherche integriert.

Es wurden drei Typen von Quellen genutzt. Typ I umfasst publizierte Literatur, welche die Grundlagen zur Kommunikation in Krisensituationen allgemein liefert. Typ II hat einen stärker praxisorientierten Ansatz und umfasst (graue) Literatur, die sich konkret mit dem Thema der Krisenkommunikation bei radiologischen Ereignissen befasst. Dabei konnte auf die vielfältigen Vorarbeiten u. a. von BfS und BMI zurückgegriffen werden. Verschiedene (teilweise interne) Dokumente des BfS wurden im vorliegenden Bericht mitreflektiert und

sind in das Resultat eingeflossen. Die Experteninterviews schließlich (Typ III) sollten die in Typ I und Typ II gesammelten Informationen verifizieren und ggf. ergänzen.

4. DURCHFÜHRUNG

Im Rahmen der systematischen Literaturrecherche (Schwergewicht Typ I und teilweise II) wurde in einschlägigen, interdisziplinären Literaturdatenbanken (u. a. EBSCO und Web of Science) eine Schlagwortsuche durchgeführt, die unter anderem auf den Schlagworten „Krisenkommunikation“, „Risikokommunikation“ und „Strahlen“/„Strahlung“, „radiologisch“ (und englische Äquivalente) basierte. Die so identifizierte Literatur wurde gesichtet und nach thematischer Relevanz selektiert. Etwa 35 ausgewählte Studien flossen dabei in die Erarbeitung des vorliegenden Berichts ein. Neben der systematischen Recherche wissenschaftlicher Literatur wurde durch weitere Datenbankabfragen sowie Online-Suchen diverse Studien, Positionspapiere oder Leitfäden im Bereich der grauen Literatur identifiziert und verarbeitet.

Im Rahmen von AP 1 wurden Experten/innen einzeln im Rahmen eines leitfadengeführten Gesprächs befragt.

Die Interviews wurden anhand eines Gesprächsleitfadens geführt und stichwortartig festgehalten. Ein vollständiges Transkript der Gespräche wurde nicht erstellt. Die zentralen Aussagen aus den Gesprächen wurden in die Berichterstattung zu AP 1 integriert.

5. ERGEBNISSE

Das Literaturstudium wie auch die Experteninterviews haben gezeigt, dass ein weitestgehender Konsens darüber herrscht, wie „gute Kommunikation“ im radiologischen und nuklearen Notfallschutz konzeptionell zu gestalten ist. Weder die Literatur noch die Experten/innen haben sich grundsätzlich widersprochen. Das bedeutet aber nicht, dass die optimale konkrete Umsetzung in jedem Fall offensichtlich oder gar einfach ist. Zudem verändert sich das kommunikative und mediale Umfeld fortlaufend und das auch noch rasend schnell.

Resultat von AP 1 ist eine Übersicht über das in der Theorie, respektive bei Experten/innen und Praktikern/innen verfügbare Wissen. Die Vertiefung und Weiterentwicklung einzelner Themen findet in späteren Arbeitspaketen statt. AP 1 diente damit auch der Wissensvermittlung an Personen, welche nicht täglich im Fachgebiet arbeiten.

6. GEPLANTE WEITERARBEIT

Ziel von AP 2 ist es, die Zielgruppen für den radiologischen Notfallschutz zu identifizieren sowie differenziert deren Kommunikations- und Informationsbedürfnisse für die Krisenkommunikation im Falle eines radiologischen oder nuklearen Notfalls zu erheben.

Im Rahmen von AP 3 werden die Erkenntnisse aus AP 2 „Zielgruppenanalyse“ angewandt, um die vom BfS erstellten Szenarien für radiologische Ereignisse zu analysieren. Kernfragen dieser Analyse sind:

- Welches sind die nach Szenarien zu unterscheidenden Zielgruppen?
- Welche Botschaften sind für die unterschiedlichen Zielgruppen relevant bzw. prioritär?
- Welche Kanäle sind für die unterschiedlichen Zielgruppen zu verwenden?
- Welche Absender/innen sind für die unterschiedlichen Zielgruppen zu wählen?

In Absprache mit dem Auftraggeber werden AP 2 und AP 3 teilweise überschneidend bearbeitet. Diese Arbeiten werden im Sommer 2018 an einem zweitägigen Workshop mit dem Auftraggeber diskutiert und weiterentwickelt.

Den Abschluss des Projektes wird das Arbeitspaket 4 („Bewertung digitaler Informationskanäle“) bilden. Darin werden die Potenziale digitaler Informationskanäle für die Krisenkommunikation des BfS in den relevanten Kommunikationsszenarien kritisch gewürdigt (Websites, Apps, Social Media Profile/Seiten, etc.). Dabei werden einerseits die heute bereits genutzten digitalen Kommunikationsangebote des BfS evaluiert sowie potenzielle weitere Kanäle und Instrumente abgewogen. Möglich ist hier auch die Identifikation von *Best Practice*-Beispielen für als tauglich evaluierte digitale Informationskanäle.

Thema			
Wechselwirkung zwischen Ausbreitung von radioaktiven Substanzen nach Freisetzung in Gebäuden und der freien Atmosphäre in gekoppelten Simulationsmodellen			
Subject			
<i>Interaction between the dispersal of radioactive material after release in buildings and the free atmosphere in linked simulation models</i>			
Kennzeichen 4716R01651	Beginn 01.01.2017	Ende 30.06.2018	Fördermittel EUR 220.162,-
Forschungs- / Auftragnehmer TÜV SÜD IS GmbH			
Projektleitung Dr. S. Thummerer	Fachbetreuung BfS H. Walter / SW 2.2	verantwortlich für den Text Dr. C.Wallner, Dr. S. Thummerer H. Walter	

1. ZIELSETZUNG

Im Rahmen der Nuklearspezifischen Gefahrenabwehr (NGA) müssen bei Entdeckung einer unkonventionellen Spreng- oder Brandvorrichtung mit radioaktiver Beiladung (USBV-R) die Strahlenschutzfachkräfte vor Ort mögliche Auswirkungen einer Freisetzung auf die Umgebung kurzfristig abschätzen können und geeignete Maßnahmen zum Schutz der Einsatzkräfte und der Bevölkerung vorschlagen.

Bei der Umsetzung einer USBV-R in einem Gebäude ist für eine umfassende Aussage zu den potenziellen Auswirkungen einer Freisetzung von radioaktiven Stoffen hierbei die Kenntnis über Stofftransporte innerhalb von Gebäudestrukturen und aus diesen heraus erforderlich.

Dies soll gemäß der Aufgabenstellung untersucht und ein Modell zur Simulation des Stofftransportes innerhalb von Gebäudestrukturen als operatives Berechnungsverfahren bereitgestellt werden.

2. EINZELZIELSETZUNG

Das Arbeitsprogramm ist in insgesamt 7 Arbeitspakete (AP) gegliedert. Die AP umfassen dabei:

- eine Literaturstudie zu bestehenden Projekten und Simulationsprogrammen (AP 1)
- eine Studie zu Gebäudeszenarien (AP 2)
- die Bereitstellung eines Simulationsprogrammes (AP3)
- die Simulation von Gebäudeszenarien (AP 4)
- die Bereitstellung entsprechender Quellterme (AP 5)
- die Begleitung von Versuchen zur Validierung einfacher Szenarien (AP 6)
- die Erstellung eines zusammenfassenden Abschlussberichtes (AP 7).

2.1 AUFARBEITUNG DES RELEVANTEN STANDES VON WISSENSCHAFT UND TECHNIK (AP 1)

Ziel des AP 1 ist die Durchführung einer Literaturstudie zu bestehenden nationalen und internationalen Projekten im Bereich des Stofftransportes innerhalb von urbanen Gebäudestrukturen und die Auswertung der Ergebnisse dieser Projekte in Bezug auf die Aufgabenstellung des Vorhabens. Hierbei werden Kriterien definiert, welche Eigenschaften das zur Anwendung kommende Simulationsprogramm erfüllen soll. Aus der Literaturstudie werden Empfehlungen bzw. Beschränkungen zur weiteren Vorgehensweise, insbesondere zur Auswahl eines Simulationsprogrammes für AP 3, abgeleitet.

2.2 GEBÄUDESZENARIEN (AP 2)

Für Deutschland typische urbane Gebäudestrukturen werden für die Bauwerktypen

- Bahnhofshalle
- U-Bahnstation

- Bürogebäude
- Straßentunnel
- Parkhaus

untersucht. Aus der Analyse der Strukturen werden Referenzmodelle (Gebäude) für die weitere Simulation mit dem Simulationsprogramm von AP 3 festgelegt.

2.3 BEREITSTELLUNG EINES SIMULATIONSPROGRAMMES (AP 3)

Im Rahmen des AP 3 wird ein Simulationsprogramm erstellt oder ein kommerzielles Produkt genutzt und ggf. angepasst, welches mindestens die in AP 2 definierten Gebäudeszenarien im Sinne der Fragestellung des Vorhabens simulieren kann. Am Projektende wird das Programm dem Auftraggeber übergeben, so dass dieser es für eigene Zwecke nutzen kann.

2.4 ANWENDUNG DES SIMULATIONSPROGRAMMES (AP 4)

Das Simulationsprogramm wird auf die in AP 2 jeweils aufgelisteten Gebäudeszenarien angewendet. Dabei soll der Transport von Schwebstoffen innerhalb der Gebäude sowie nach außen nach Umsetzung einer USBV-R sowohl mit Sprengstoffen als auch mit Brennstoffen simuliert werden.

2.5 BEREITSTELLUNG EINES FLÄCHEN- ODER VOLUMENQUELLTERMS FÜR EIN ATMOSPHERISCHES AUSBREITUNGSPROGRAMM (AP 5)

Ein universell nutzbarer, zeitlich variabler Flächen- oder Volumenquellterm als Eingabe für ein atmosphärisches Ausbreitungsmodell (z. B. LASAT, LASAIR, JRODOS) wird erstellt. Der Nachweis der Nutzung des Volumenquellterms wird für das Modell LASAIR explizit erbracht.

2.6 VALIDIERUNG EINES EINFACHEN SZENARIOS BEI DER WTD 52 DER BUNDESWEHR (AP 6)

Im Rahmen des AP 6 soll in Abstimmung mit der Bundeswehr (WTD 52, Oberjettenberg) ein einfaches Szenario erstellt und mit dem in AP 3 bereitgestellten Simulationsprogramm für eine Explosion berechnet werden. Es ist geplant, sich an einem entsprechenden Versuch bei der WTD 52 zu beteiligen. Im Nachgang kann das Simulationsprogramm vom Forschungsnehmer noch optimiert werden.

2.7 ZUSAMMENFASSUNG, BEWERTUNG UND ABSCHLUSSPRÄSENTATION MIT BERICHT (AP 7)

Die Ergebnisse der einzelnen Arbeitspunkte werden in einem geschlossenen Arbeitsbericht zusammengefasst und dem Auftraggeber in einer Abschlusspräsentation vorgestellt.

3. METHODIK

Für das gemäß AP 3 zu erstellende Simulationsprogramm wurde entschieden, ein vom TÜV SÜD entwickeltes Simulationsmodell anzupassen, das für die Simulation des Aerosoltransportes nach einem Hohlladungsbeschuss auf Transport- und Lagerbehälter mit abgebrannten Brennelementen für die Begutachtung der radiologischen Auswirkungen entwickelt und bei einer Reihe von Gutachten oder Fragestellungen des BfS angewendet wurde und bereits einen wesentlichen Teil der Kriterien für den Transport von Schwebstoffen nach Umsetzung einer USBV-R in urbanen Gebäudestrukturen erfüllt.

Das zu Grunde liegende Rechenmodell ist ein Multikompartimentmodell, bei dem Räume oder Raumbereiche Kompartimenten zugeordnet werden, für welche die vereinfachende Annahme homogener Randbedingungen (z. B. Druck, Temperatur, Zusammensetzung des Trägergases, Aerosoldichte etc.) innerhalb des jeweiligen gesamten Kompartimentbereichs unterstellt wird. Öffnungen zwischen den Kompartimenten (z. B. Türen, Fenster, Leitungen von Lüftungsanlagen, virtuelle Grenzflächen zwischen Kompartimenten eines Raumes etc.) entsprechen dabei Pfaden, über die der Transport des Trägergases infolge des Volumenflusses auf Grund von Druckunterschieden zwischen den Kompartimenten erfolgt.

Oberflächen werden als eigene Flächenkompartimente definiert, auf denen eine Ablagerung von Aerosolen erfolgen kann. Beim Transport der Schwebstoffe sowohl zwischen Volumenkompartimenten als auch zwischen Volumenkompartimenten und Flächenkompartimenten werden dabei die für die vorliegenden Randbedingungen wesentlichen Transportmechanismen Sedimentation und Diffusion berücksichtigt.

Die Implementierung des Rechenmodelles erfolgt in der Java-Laufzeitumgebung. Zur vereinfachten Eingabe von Projektdaten und zur Erstellung der für die Simulation nötigen Eingabedateien erfolgt die Implementierung einer graphischen Benutzerumgebung auf Basis von EXCEL/VBA. Mit der graphischen Benutzerumgebung sollen ferner die Ergebnisse erfolgter Simulationen dargestellt werden können.

4. DURCHFÜHRUNG

Die Bearbeitung des AP 1 (Literaturstudie) und des AP 2 (Referenzszenarien) sind abgeschlossen. Die Bearbeitung des AP 3 (Anpassung und Implementierung des vom Auftragnehmer entwickelten Simulationsmodelles) wurde begonnen. Wesentliche Teile des Computercodes sind fertiggestellt, so dass erste Tests der einzelnen Teile des Programmes beginnen können.

5. ERGEBNISSE

5.1 LITERATURSTUDIE ZU BESTEHENDEN PROGRAMMEN (AP 1)

Im Rahmen der Studie wurde eine Reihe von Simulationsmodellen identifiziert, mit denen die Simulation des Transports von Schwebstoffen in einem Raumensemble durchgeführt werden kann. Hierbei wurden zwei Programme für die Simulation des Schwebstofftransportes nach Umsetzung einer USBV-R in einem urbanen Gebäude als geeignet eingeschätzt. Beide Programme unterliegen aber Restriktionen bei der Weitergabe und konnten für das Vorhaben nicht akquiriert werden. Darum wurde entschieden, das bestehende Simulationsmodell des TÜV SÜD zur Simulation des Aerosoltransportes nach einem Hohlladungsbeschluss anzupassen (vgl. Kapitel 3).

5.2 GEBÄUDESZENARIEN (AP 2)

Im Rahmen des AP 2 wurde eine Studie über urbane Gebäudestrukturen durchgeführt und entsprechende Randbedingungen für die Umsetzung einer USBV-R definiert. Zu den urbanen Bauwerkstypen Bahnhofshalle, U-Bahnstation, Bürogebäude, Straßentunnel und Parkhaus wurden Gebäudestrukturen (Aufbau, Abmessungen etc.), wie sie typischerweise in Deutschland vorkommen, recherchiert und Modell-Gebäude für die Simulation im weiteren Verlauf des Forschungsvorhabens entwickelt. Hierbei wurde entsprechend der Aufgabenstellung von einfachen Strukturen ausgegangen, um diese mit vertretbarem Aufwand in dem im AP 3 zu erstellenden Simulationsprogramm abbilden zu können.

5.3 SIMULATIONSPROGRAMM (AP 3)

2017 wurden erste Tests des Simulationsprogramms gestartet, z. B. bei welchen Parameterbereichen das Simulationsmodell stabil ist und physikalisch plausible Ergebnisse ergibt. Erste Entwürfe der Referenzgebäude wurden implementiert und mit dem Simulationsmodell untersucht und getestet.

Die graphische Benutzeroberfläche (auf Basis von EXCEL/VBA) zur graphischen Eingabe von Raumensibles und zur Erstellung der Eingabedateien für das Simulationsmodell wurde zu einem wesentlichen Teil fertig gestellt und erfolgreich getestet.

6. GEPLANTE WEITERARBEIT

Das Simulationsprogramm (AP 3) wird fertiggestellt, es folgen die Simulation der Referenzszenarien (AP 4) und die Bereitstellung der Quellterme (AP 5).

Der vorläufige Abschluss des Vorhabens (AP 7, Abschlussbericht) ist bis Ende des II. Quartals 2018 geplant. Die optionale Validierung mit Sprengversuchen (AP 6) wird aus Termingründen im 1. Quartal 2019 stattfinden.

Themenbereich 07

Vorhaben mit allgemeiner Bedeutung für den Strahlenschutz

Subject area 07

Projects of general importance to radiation protection

Thema

Fortschreibung der Untersuchung und Bewertung der tätigkeitsbezogenen Strahlenexposition in Anlagen nach AtG, standortnahen Zwischenlagern für radioaktive Abfälle und nichtkerntechnischen Einrichtungen nach StrlSchV und RöV

Subject

Update and evaluation of task-related exposure in nuclear facilities and other radiation relevant installations under the aspect of optimisation

Kennzeichen
3615S22301

Beginn
01.11.2015

Ende
30.09.2018

Fördermittel
EUR 429.124,-

Forschungs- / Auftragnehmer

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

Projektleitung
Dr. T. Stahl

Fachbetreuung BfS
L. Kammerer / AG-SG 2.4

verantwortlich für den Text
Dr. T. Stahl

1. ZIELSETZUNG

Ein erheblicher Teil der gesamten beruflichen Strahlenexposition in Deutschland entsteht während der Revisionsarbeiten in kerntechnischen Anlagen, bei Arbeiten nach endgültiger Einstellung des Leistungsbetriebs (im so genannten Nachbetrieb) und bei Arbeiten zur Stilllegung und dem Rückbau dieser Anlagen. Durch die endgültige Abschaltung von acht Leistungsreaktoren im Jahr 2011 und zwei weiteren bis Ende 2017 erhält die mit den genannten Arbeiten einhergehende Strahlenexposition zusätzlich eine aktuelle Bedeutung für den radiologischen Arbeitsschutz in kerntechnischen Anlagen. Ebenso an Bedeutung gewinnt der Betrieb standortnaher Zwischenlager für abgebrannte Brennelemente sowie für die Lagerung radioaktiver Abfälle aus Stilllegung und Abbau von Leistungsreaktoren.

Eine optimierte Arbeitsplanung und -durchführung und die systematische Auswertung gemachter Erfahrungen kann zu beträchtlichen Dosisersparungen führen. Um entsprechende Methoden hierzu weiterentwickeln zu können, ist eine detaillierte Kenntnis der Ursachen für die Exposition des Personals unabdingbare Voraussetzung. Dazu sind u. a. gezielte Analysen der durchgeführten Tätigkeiten und der damit einhergehenden Strahlenexposition erforderlich, die hinsichtlich des erforderlichen Datenmaterials über Daten der amtlichen Personendosimetrie hinausgehen.

Im Rahmen dieses Vorhabens werden frühere Untersuchungen zur tätigkeitsbezogenen beruflichen Strahlenexposition in kerntechnischen Anlagen unter dem Gesichtspunkt der Optimierung fortgeschrieben. Betrachtet werden deutsche Kernkraftwerke, Anlagen der Ver- und Entsorgung sowie deutsche standortnahe Zwischenlager für abgebrannte Brennelemente und radioaktive Abfälle. Grundlage der Untersuchungen sind fortlaufend zu sammelnde Daten und Informationen zur beruflichen Strahlenexposition in den kerntechnischen Anlagen, die die Datenreihen früherer Jahre fortsetzen und ergänzen sowie nationale und internationale Erfahrungen zum beruflichen Strahlenschutz. Auf der Grundlage der Analyse der gesammelten Informationen werden Vorschläge zur Optimierung der Arbeitseinsätze und verwendeten Arbeitsmittel insbesondere bei wiederkehrenden Prüfungen und bei typischen Arbeitsschritten bei der Revision und der Stilllegung erarbeitet. Des Weiteren werden relevante Vorhabensergebnisse in den nationalen und internationalen Erfahrungsaustausch, insbesondere im Rahmen der Mitarbeit im Information System on Occupational Exposure (ISOE) der OECD Nuclear Energy Agency (NEA), eingebracht.

Darüber hinaus werden Untersuchungen zum Einsatz ausländischen Fremdpersonals in kerntechnischen Anlagen durchgeführt und Aspekte vertieft analysiert, die sich aus den unterschiedlichen nationalen Verfahrensregelungen und Strahlenschutzsystemen des Herkunftslandes des Fremdpersonals und des Landes der kerntechnischen Anlage ergeben. Weiterhin wird geprüft, ob und ggf. welche Möglichkeiten bestehen, entsprechende Erhebungen über tätigkeitsbezogene Expositionen in nichtkerntechnischen Einrichtungen durchzuführen und unter welchen Voraussetzungen solche Erhebungen durchgeführt werden können.

2. EINZELZIELSETZUNG

Die übergeordneten Zielsetzungen des Vorhabens werden durch die Bearbeitung der nachstehenden, miteinander verknüpften Einzelziele umgesetzt.

2.1 DATENERHEBUNG UND DOKUMENTATION

Für kerntechnische Anlagen in Deutschland sollen Informationen und Daten, die für die Dokumentation und Auswertung der beruflichen Strahlenexposition in den Anlagen von Bedeutung sind, insbesondere unter dem Gesichtspunkt der durchgeführten Tätigkeiten für die Jahre 2014 bis 2016 erhoben, aufbereitet und in jährlichen Berichten dokumentiert werden. Die zu erhebenden Daten stammen aus der betrieblichen Dosimetrie der Anlagen und weisen einen Detailierungsgrad auf, der höher ist als derjenige der Daten der amtlichen Strahlenschutzüberwachung.

2.2 DATENANALYSE

Anhand der Daten sollen die Zusammenhänge zwischen der beruflichen Strahlenexposition und den sie beeinflussenden Faktoren untersucht und die Möglichkeiten der Reduktion der Strahlenexposition dargestellt werden. Schwerpunkt der Analyse sind die zu verrichtenden Tätigkeiten und die ergriffenen technischen und arbeitsorganisatorischen Strahlenschutzmaßnahmen. Soweit im Hinblick auf Aussagen über Optimierungsmöglichkeiten des Strahlenschutzes oder über Dosisreduzierungen sinnvoll, sind hierbei Teilaspekte von durchgeführten Tätigkeiten in die Analyse einzubeziehen.

Die zu erfassenden Daten und ihre Auswertungen sollen frühere Daten und Auswertungen fortführen und einen Vergleich auf nationaler und internationaler Ebene (OECD und EU) ermöglichen. Deshalb wird bei der Datenerfassung und Aufbereitung eine international einheitliche Charakterisierung der Tätigkeiten angewendet. Internationale Zusammenarbeit und Informationsaustausch erfolgen insbesondere durch die Mitarbeit im ISOE.

2.3 OPTIMIERUNGSEMPFEHLUNGEN

Auf der Basis der erhobenen Daten und Analyseergebnisse sowie nationaler und internationaler Entwicklungen sollen Vorschläge zur Optimierung der Arbeitseinsätze und der Arbeitsmittel, insbesondere bei wiederkehrenden Prüfungen und bei typischen Arbeitsschritten der Revision, im Nachbetrieb und bei der Stilllegung erarbeitet werden.

Bei der Erarbeitung der Optimierungsempfehlungen werden nationale und internationale Entwicklungen berücksichtigt. Eine regelmäßige Teilnahme am nationalen und internationalen Erfahrungsaustausch wie beispielsweise eine Teilnahme an der Working Group on Radiological Protection Aspects of Decommissioning Activities at Nuclear Power Plants (WGDECOM) von ISOE sowie diesbezügliche Aktivitäten der IAEA sind vorgesehen.

2.4 EINSATZ VON AUSLÄNDISCHEM FREMDPERSONAL

Unter Berücksichtigung der Erfahrungen aus der Sammlung und Analyse der Expositionsdaten sowie des gezielten Erfahrungsaustauschs auf nationaler und internationaler Ebene sollen Fragen im Zusammenhang mit dem Strahlenschutz ausländischen Fremdpersonals bearbeitet werden. Ziel ist es, Beiträge zu eindeutigen Vorgehensweisen beim Einsatz ausländischen Fremdpersonals in deutschen Kernkraftwerken zu leisten, die einen grenzüberschreitenden Strahlenschutz sicherstellen.

2.5 NICHT-KERNTÉCHNISCHE EINRICHTUNGEN

Auf der Grundlage der Erfahrungen mit der Datenerhebung und -analyse in kerntechnischen Anlagen soll im Rahmen einer gesonderten Studie geprüft werden, welche Möglichkeiten bestehen, entsprechende Erhebungen über tätigkeitsbezogene Expositionen in nicht-kerntechnischen Einrichtungen nach StrlSchV und RÖV durchzuführen und unter welchen Voraussetzungen solche Erhebungen durchgeführt werden können. Der Schwerpunkt liegt dabei auf ausgewählten dosisintensiven Anwendungen der Industrie (z. B. mobile Radiographie) und der Medizin (z. B. interventionelle Radiologie).

3. METHODIK

3.1 METHODIK ZUR UNTERSUCHUNG DER BERUFLICHEN STRAHLENEXPOSITION IN KERNTÉCHNISCHEN ANLAGEN

Die Daten zur Fortschreibung der Zeitreihen für Kernkraftwerke werden mit Hilfe des Datenerfassungssystems des ISOE erhoben. Darüber hinaus werden für Teilbereiche die Daten aus weiteren Quellen und durch ergänzende Anfragen bei den jeweiligen Anlagen angereichert. Die bei der Auswertung und Analyse gewon-

nenen Ergebnisse werden für die verschiedenen Themenbereiche in Berichten dokumentiert. Die in Abschnitt 2.2 ebenfalls angesprochene Zusammenarbeit mit dem Ausland wird schwerpunktmäßig durch Teilnahme an Sitzungen und Veranstaltungen des ISOE als zentrale internationale Einrichtung zum beruflichen Strahlenschutz in Kernkraftwerken wahrgenommen. Aspekte der Optimierung werden bei der Diskussion der Daten fortlaufend verfolgt.

3.2 METHODIK ZUR STUDIE IM BEREICH NICHT-KERNTÉCHNISCHER EINRICHTUNGEN

Aufbauend auf einer Recherche zum aktuellen Sachstand der Strahlenexposition auf nationaler Ebene im Bereich der mobilen Radiographie und interventionellen Radiologie werden die Möglichkeiten einer Erhebung der Strahlenexpositionsdaten geprüft.

4. DURCHFÜHRUNG

Die Daten der kerntechnischen Anlagen eines Jahres werden jeweils im Folgejahr in den Anlagen erhoben. Für Kernkraftwerke in Betrieb und Stilllegung wird im Vorhaben vorrangig die ISOE-Datenerfassungssoftware eingesetzt. Mit dem Austritt des VGB (European Technical Association for Power and Heat Generation) aus ISOE zum 31. März 2016 werden Expositionsdaten von einem Großteil der Betreiber nicht mehr direkt an ISOE gemeldet, so dass die GRS teilweise auf andere Quellen angewiesen ist. Für die Anlagen der Ver- und Entsorgung werden standardisierte Datenerfassungsbögen genutzt, die im Rahmen früherer Datenerfassungen mit diesen Anlagen abgestimmt wurden. Darüber hinaus werden ergänzende Daten und Informationen erfasst und die jährlichen Betriebsberichte der Kernkraftwerke in Betrieb und Stilllegung ausgewertet.

5. ERGEBNISSE

Die bislang vorliegenden Ergebnisse des Vorhabens werden nach der Struktur der Einzelzielsetzungen zusammengefasst:

5.1 DATENERHEBUNG UND DOKUMENTATION

Im Jahr 2017 wurde die Sammlung der Daten für das Berichtsjahr 2016 weitestgehend abgeschlossen. Die Erstellung der nach Abschnitt 2.1 vorgesehenen Jahresberichte mit Übersichten über die berufliche Strahlenexposition in deutschen Kernkraftwerken in Betrieb, Nachbetrieb und Stilllegung sowie für die Anlagen der Ver- und Entsorgung wurde weitergeführt. Ebenso wurde die in Abschnitt 2.2 erwähnte Datenanalyse zur Identifikation von Ursachen für Auffälligkeiten in den Daten zur beruflichen Strahlenexposition, aus denen sich ggf. Optimierungsempfehlungen ableiten lassen, fortgeführt. Zu beachten ist, dass die Berichte aus Gründen des Datenschutzes der Öffentlichkeit nicht zur Verfügung stehen.

5.2 INTERNATIONALER ERFAHRUNGSUSTAUSCH

Es erfolgte eine enge Mitarbeit in den Gremien und Arbeitsgruppen des ISOE. Neben den Sitzungen der ISOE Working Group on Data Analysis (WGDA) und des ISOE Management Boards (MB) umfasst dies auch die Sitzungen der im Frühjahr 2015 gegründeten ISOE-Expertengruppe, die sich speziell mit Fragestellungen der Stilllegung von Kernkraftwerken befasst (ISOE Working Group on Radiological Protection Aspects of Decommissioning Activities at Nuclear Power Plants – WGDECOM), um sowohl deutsche Erfahrungen in den internationalen Erfahrungsaustausch als auch umgekehrt internationale Erfahrungen in den deutschen Erfahrungsaustausch einzubringen.

6. GEPLANTE WEITERARBEIT

Für das Jahr 2018 ist der Abschluss der Arbeiten geplant. Dies umfasst insbesondere die im Vorhaben vorgesehene Datensammlung, die Fortführung der jährlichen Berichterstattung zur Strahlenexposition in kerntechnischen Anlagen und der Abschluss der im Abschnitt 2.4 und 2.5 erwähnten Arbeiten, die schwerpunktmäßig für das Jahr 2018 vorgesehen sind. Ebenso wird die Mitarbeit in den Gremien und Arbeitsgruppen des ISOE fortgesetzt.

Thema			
Modellbasierte Ermittlung des Eintrags von I-131 in die OSPAR-Regionen des Nordostatlantiks auf Grund von nuklearmedizinischen Anwendungen mit Radioiod in Deutschland			
Subject			
<i>Model based estimation of I-131 input into the OSPAR regions due to the nuclear medicinal application of radioiodine in Germany</i>			
Kennzeichen	Beginn	Ende	Fördermittel
3616S72570	01.04.2017	31.03.2018	EUR 135.710,-
Forschungs- / Auftragnehmer			
Hydrotec Ingenieurgesellschaft für Wasser und Umwelt mbH, Aachen			
Projektleitung	Fachbetreuung BfS	verantwortlich für den Text	
Dr. O. Buchholz	Dr. C. Strobl / SW 1.4 A. Heckel / SW 1.4	Dr. O. Buchholz	

1. ZIELSETZUNG

Von 2011 bis 2014 wurde im Auftrag des Bundesamtes für Strahlenschutz das Forschungsvorhaben „Messtechnische und theoretische Abschätzung des Eintrags von I-131 in die OSPAR¹⁾-Regionen auf Grund der nuklearmedizinischen Anwendung von Radioiod in Deutschland“ (3611S70013) durchgeführt. Ziel war es gemäß OSPAR-Abkommen die I-131-Einträge in den Nordostatlantik für die deutschen Flusssysteme modelltechnisch zu quantifizieren. Dazu wurde das Bilanzierungsmodell OSBIMO aufgestellt, das für die Flüsse Rhein, Elbe, Main, Weser, Ems und Neckar unter Berücksichtigung von punktuellen Einträgen aus nuklearmedizinischen Einrichtungen und Kläranlagen sowie des Abflussregimes in den Flüssen die maßgeblichen Prozesse des I-131-Transportes und -Abbaus für gelöste und partikulär gebundene Stoffe berechnet und die Eintragsbilanzen erstellt. Zur Validierung des Modellkonzepts wurden die Aktivitätskonzentrationen von I-131 entlang der Flussläufe in Wasser- und Sedimentproben sowie an markanten Einleitstellen von Kläranlagen im Zustrom und im Abstrom ermittelt. Die Auswertung der Analysen zeigte, dass die messtechnisch ermittelten Stofffrachten in den Gewässern deutlich niedriger sind als die aus den Einwohnerzahlen theoretisch abzuleitenden Radioiod-Einleitungen der Kläranlagen in die Flüsse. Diese Diskrepanz konnte nicht durch Sedimentations- oder Sorptionsprozesse erklärt werden, da die Messwerte von I-131 in Sedimenten zu geringe spezifische Aktivitäten aufwiesen. Ziel eines nachgelagerten von 2016 bis 2017 realisierten Untersuchungsprogramms (3614S50015 „Messtechnische und modellbasierte Abschätzung des Eintrags von I-131 in die OSPAR-Regionen auf Grund der nuklearmedizinischen Anwendung von Radioiod in Deutschland“) war es daher, durch Einbeziehung von Oberläufen und Nebengewässern weitere Erkenntnisse zu den möglichen Ursache der bisherigen Bilanzbefunde zu identifizieren. Um die modelltechnischen Grundlagen für die Auswertung dieser Messungen zu schaffen, soll das OSBIMO-Modell im vorliegenden Vorhaben weiter entwickelt werden.

2. EINZELZIELSETZUNG

Einzelziele sind:

- das Bilanzierungsmodell OSBIMO um die Bilanzierung des I-131-Eintrags aus den relevanten Nebenflüssen Ruhr, Emscher, Lippe, Aller/Leine, Saale und Havel zu erweitern
- die im Projektverlauf explizit berechneten Nebengewässer an die Hauptgewässer zu koppeln, so dass die Kontinuität im Abfluss und in den transportierten Stofffrachten gewahrt bleibt und
- eine Validierung im Vergleich zu den Mess- und Analysewerten an den Nebengewässern des Projekts 3614S50015 durchzuführen.

¹⁾ s. Oslo-Paris-Vertrag zum Schutz der Nordsee und des Nordostatlantiks

3. METHODIK

Das Modell OSBIMO (OSPAR-Bilanz-Modell) ist ein Werkzeug, mit dem der mittlere jährliche Zustrom von I-131 in die Nordsee über die deutschen Mündungsflüsse quantifiziert und im Hinblick auf bilanzrelevante Parameter wie Transport mit der Wasserströmung, Quermischung, Austausch mit dem Grundwasser, Retentionseffekte, Adsorption an Schwebstoffen, Sedimentation und Resuspension sowie radioaktiven Abbau hin analysiert werden kann. I-131 kommt sowohl gelöst in der Wasserphase als auch an Schwebstoff partikulär gebunden vor. Die Verlagerung von I-131 im Gewässersystem unterliegt daher den Wassertransportprozessen (Abfluss), den Transport-, Sedimentations- und Erosionsprozessen des Schwebstoffs sowie den Verteilungsprozessen von I-131 (gelöstes und partikulär gebundenes I-131). Durch Remobilisierung von sedimentgebundenem I-131 (z. B. Erosion) tritt I-131 wieder in den Transportprozess ein. Konzentrationen/Frachten im Gewässer sind bestimmt durch Einleitungen und Zuflüsse ins Gewässer. Durch den radioaktiven Zerfall von I-131 nehmen die Aktivitätskonzentrationen/Frachten ab.

Das konzeptionelle Bilanzmodell bildet die räumliche Struktur der Gewässer und darin ablaufende bilanzrelevante Prozesse ab. Da die Zielgröße eine jährliche Bilanz des Eintrags von Radioiod in die OSPAR-Region Nordsee ist, können die Prozesse ohne ihre kurzzeitliche Dynamik modelliert werden. Durch den Betrachtungszeitraum werden zeitabhängige Prozesse (z. B. der radioaktive Zerfall) zu streckenabhängigen Prozessen. Die so berechneten Konzentrationen/Frachten am letzten Element vor Eintritt des Gewässers in die Nordsee geben somit den mittleren jährlichen Eintrag in die Nordsee an.

Das Modell besteht aus vier Teilmodellen:

- Das räumliche Abflussmodell beschreibt das langjährig mittlere Abflussverhalten der Flüsse mit fünf repräsentativen Abflusszuständen.
- Das räumliche Schwebstoffmodell beschreibt den langjährigen mittleren Schwebstofftransport in den Flüssen unter Berücksichtigung, dass die Schwebstoffkonzentration bei Hochwasserereignissen ansteigt.
- Das Stoffverteilungsmodell modelliert ausgehend vom Abflussmodell und dem Schwebstoffmodell die Verteilung von I-131.
- Das Stoffbilanzmodell berechnet den Zerfall von I-131 und die daraus resultierenden Veränderungen von Stofffrachten und Konzentrationen.

3.1 INTERDISZIPLINÄRES PROJEKTTEAM

Auf Grund des interdisziplinären Charakters des Projekts besteht das Projektteam neben der Hydrotec Ingenieurgesellschaft für Wasser und Umwelt mbH aus der Nuclear Control & Consulting GmbH, Braunschweig (NCC). NCC lässt neben dem nuklearphysikalischen Spezialwissen auch die Ergebnisse aus dem parallel laufenden Forschungsprojekt (3614S50015) über Probennahmen und Messungen der Aktivitätskonzentration bzw. der spezifischen Aktivität von I-131 in Wasser-, Algen- und Sedimentproben einfließen.

3.2 SOFTWARETECHNISCHE UMSETZUNG

Das Modell OSBIMO besteht aus folgenden Komponenten:

- Pre- und Postprocessing unter MS-EXCEL einschl. grafischer Darstellung in R
- ausführbare Modellsoftware
- MS-ACCESS-Datenbank.

Die MS-ACCESS-Datenbank enthält alle Inputdaten der Modellierung, die zweckmäßiger Weise unter MS-EXCEL aufbereitet und dann in die Datenbank eingelesen werden. Ebenso enthält die Datenbank alle Ergebnisdaten, die zum Postprocessing nach EXCEL exportiert werden. Die eigentliche OSBIMO-Software ist ein kompiliertes C++-Programm, das die Inputdaten in der Datenbank liest, darauf die Prozessalgorithmen anwendet und die berechneten Ergebnisdaten wieder in der Datenbank abspeichert.

4. DURCHFÜHRUNG

Zur Erstellung der Eingangsdaten des Modells mussten die ausgewählten Nebengewässer möglichst exakt parametrisiert werden. Es wurden für jedes Flussgebiet Gewässerlängsschnitte in Kilometerauflösung mit den Parametern Abfluss für fünf Zustände (Niedrigwasser bis Hochwasser), Flächen und Einwohner der Pegelbezugsgebiete, Überschwemmungsbreite sowie Geometrie des Flussschlauchs erstellt. Hierzu wurden aus Datensätzen der verschiedenen Landesämter unter anderem GIS-Datenbanken zu Gemeindeflächen, Einwoh-

nerzahlen, Überschwemmungsgebieten (ÜSG) oder Daten zur Lage und angeschlossenen Einwohnern von Kläranlagen erstellt und im Folgenden ausgewertet. Da nicht alle Daten, die dazu notwendig sind, bekannt bzw. vorhanden sind, mussten einige Annahmen auf Grundlage von Recherchen und Analysen zu den Strömungs- und Stofftransportverhältnissen gemacht werden. Aus der Kombination von vorhandenen Daten (Abflusslängsschnitte, Abflussbreiten, Kläranlagen mit angeschlossenen Einwohnern etc.) und Annahmen (einwohnerbezogene I-131-Fracht, Sedimentationsgeschwindigkeit, spezifische Resuspension etc.) wurden im Preprozessing die Modelleingangsdaten erstellt.

5. ERGEBNISSE

Simulationsergebnisse der Testrechnungen zeigen, dass die bilanzrelevanten Prozesse entsprechend der parametrisierten Algorithmen abgebildet werden. Zur Simulation wurde auf Grundlage des parallel laufenden Forschungsprojektes (3614S50015) von einer mittleren jährlichen Fracht von ca. 12 kBq pro Bundesbürger pro Jahr ausgegangen. Im Vergleich zu einem vorherigen konservativen Ansatz, bei dem die Einleitungsfracht der Nebengewässer direkt und ohne Abbau an die Einwohnerzahl des jeweiligen Einzugsgebiets gekoppelt war, konnte eine deutliche Reduktion festgestellt werden. Die zusätzliche Frachtminderung fällt auf Grund der unterschiedlichen Charakteristika der Nebengewässer (Ausbaugrad, Stauregelungen etc.) jedoch unterschiedlich stark aus und unterliegt einer deutlichen Varianz: Aller/Leine 39 %, Emscher 41 %, Saale 48 %, Lippe 58 %, Ruhr 63 %, Havel 84 %. Differenzen der Frachtreduktionen der Gewässer ergeben sich im Modell durch die unterschiedlichen hydromorphologischen Gegebenheiten der betrachteten Fließgewässer sowie deren Einzugsgebiete. Geringere Fließgeschwindigkeiten, wie Sie beispielsweise im Fluss-Seen-System der unteren Havel auftreten, wirken sich deutlich auf Aufenthaltszeiten und damit gekoppelt eine Erhöhung des Abbaus durch radioaktiven Zerfall aus. In gleicher Weise fördern Retentionsvorgänge, welche bei den Ausuferungen in den Hochwasserzuständen auftreten, erkennbar den Abbau sowie die Sedimentation in den Überschwemmungsgebieten der einzelnen Einzugsgebiete. Im Gegensatz zu einer verstärkten Retention führt ein hoher Ausbaugrad der Fließgewässer - wie es beim Emscherflusslauf der Fall ist - zu geringeren Abbauraten, da Fließgeschwindigkeiten höher und gleichzeitig Retentions- und Sorptionsvorgänge fast vollständig unterbunden werden. Als Konsequenz wird die Fließzeit reduziert und letztendlich der Abbau vermindert, so dass größere Frachten an die Hauptgewässer abgegeben werden.

6. GEPLANTE WEITERARBEIT

Die Modellansätze und Parametrisierungen werden mit den aktuellen Messwerten von NCC validiert. Auf Basis der Ergebnisse der explizit berechneten Nebengewässer wird ein vereinfachter Regionalisierungsansatz entwickelt, der die prozentuale Abminderung der Frachten an der Mündung in die Hauptgewässer Rhein, Elbe, Weser und Ems, entweder für alle Gewässer oder unterteilt in verschiedene Hauptgruppen, widerspiegelt. Dieser ist im Anschluss auf die nicht explizit berechneten Nebengewässer (Sieg, Mosel etc.) anzuwenden und mit vorherigen Rechenläufen des Modells mit Mündungswerten ohne integrierten Abbau in Nebengewässern zu vergleichen. Die so ermittelten Einträge werden mit den messtechnisch erhobenen Stofffrachten der Gewässer beim Übergang zu den Mündungsbereichen zur Nordsee verglichen und bewertet.

Thema			
Weiterentwicklung des atmosphärischen Ausbreitungsmodells ARTM bezüglich weiterer Anwendungsbereiche, Windfeld- und Grenzschichtmodell, Dokumentation			
Subject			
<i>Enhancement of the atmospheric dispersion model ARTM considering additional areas of application, wind field and boundary layer models, and documentation</i>			
Kennzeichen 3616S72575	Beginn 01.12.2016	Ende 30.09.2019	Fördermittel EUR 318.437,-
Forschungs- / Auftragnehmer			
Gesellschaft für Anlagen- und Reaktorsicherheit (GRS) gGmbH, Köln			
Projektleitung Dr. C. Richter	Fachbetreuung BfS Dr. M. Pattantyús-Ábrahám / SW 1.4		verantwortlich für den Text Dr. C. Richter, Dr. M. Pattantyús-Ábrahám

1. ZIELSETZUNG

Im Rahmen von bereits drei Forschungsvorhaben (StSch 4443, 3608S05005 und 3612S50007) wurde das atmosphärische Radionuklid-Transport-Modell ARTM aufbauend auf dem Referenzmodell der technischen Anleitung zur Reinhaltung der Luft (TA Luft) für die Ausbreitungsrechnung konventioneller Luftschadstoffe AUSTAL2000 entwickelt, validiert und für die Modellierung um zusätzliche Fragestellungen erweitert.

Im Rahmen dieses Vorhabens soll das Programm an den sich weiterentwickelnden Stand von Wissenschaft und Technik angepasst werden. Insbesondere wurden einige VDI-Richtlinien, die für die Ausbreitungsrechnung relevant sind, aktualisiert und auch die TA Luft wird derzeit überarbeitet. Zudem verwendet ARTM (ebenso wie AUSTAL2000) für die Modellierung des Windfeldes in komplexem Gelände oder bei Gebäudeeinfluss bisher lediglich ein einfaches diagnostisches Windfeldmodell (TALdia). Da der Anwendungsbereich dieses einfachen, diagnostischen Windfeldmodells stark eingeschränkt ist, soll im Rahmen des Vorhabens die Möglichkeit geschaffen werden, alternativ ein prognostisches Windfeldmodell verwenden zu können. Zusätzlich werden zahlreiche kleiner Programmverbesserungen umgesetzt, die Programmdokumentation überarbeitet und die Entwicklungen dem Anwenderkreis in Workshops vorgestellt.

2. EINZELZIELSETZUNG

Das Vorhaben gliedert sich in insgesamt sechs Arbeitspakete. Im Arbeitspaket eins wird der relevante Stand von Wissenschaft und Technik recherchiert. Ein Fokus liegt dabei auf der Thematik Grenzschichtmodell und prognostische Windfeldmodelle.

Im Rahmen des zweiten Arbeitspaketes wird zunächst aus einer Vorauswahl von Programmen dasjenige prognostische Windfeldmodell ausgewählt, welches die mit dem Auftraggeber abgestimmten Bewertungskriterien am besten erfüllt. Anschließend wird eine Schnittstelle zu diesem ausgewählten prognostischen Windfeldmodell geschaffen, das dann vom Anwender alternativ zum diagnostischen Windfeldmodell für die Ausbreitungsrechnung mit ARTM angewählt und einfach angesteuert werden kann.

Das dritte Arbeitspaket widmet sich dem Grenzschichtmodell, also den modelltechnischen Festlegungen dazu, wie sich bei ebenem Gelände Windgeschwindigkeit, Windrichtung und Turbulenz mit der Höhe und in Abhängigkeit zur Bodenbeschaffenheit (Rauigkeit) sowie der Stabilität der thermischen Schichtung der Atmosphäre ändern. Zum einen hat sich hier durch die Aktualisierung der VDI-Richtlinie 3783 Blatt 8 der Stand von Wissenschaft und Technik geändert, wodurch eine Anpassung des in ARTM verwendeten Grenzschichtmodells nötig wird. Zum anderen entsprechen real gemessene Wind- und Turbulenzprofile selten den idealisierten mittleren Profilen eines Grenzschichtmodells. Daher soll es in ARTM ermöglicht werden, zusätzlich zu Zeitreihen von meteorologischen Messungen in einer einzigen Messhöhe komplett gemessene Vertikalprofile ausgewählter Grenzschichtparameter vorzugeben.

Im vierten Arbeitspaket wird die Nutzung von ARTM auch außerhalb Deutschlands erleichtert. So wird ein Hilfsprogramm entwickelt, mit dem sich die meteorologische Eingabedatei leichter und übersichtlicher anpassen lässt. Zudem wird die Festlegung der Vegetationsperiode flexibilisiert.

Zahlreiche technische Programmverbesserungen und eine Überarbeitung der begleitenden Programmdokumente werden im Arbeitspaket fünf umgesetzt. Unter anderem wird das diagnostische Windfeldmodell TALdia mittels OpenMP parallelisiert und das undokumentierte ARR-Format für temporäre, binäre Dateien wird durch das gut dokumentierte Standard-Ausgabeformat von ARTM, das sogenannte DMNA-Format ersetzt. Zudem wird auch die zeitaufgelöste Ausgabe von kompletten 3D-Ergebnisfeldern für kurze Simulationszeiträume (maximal 2 Wochen) ermöglicht.

Schließlich werden dem Anwenderkreis im Rahmen des Arbeitspaketes sechs die Weiterentwicklungen des Programms im Rahmen von Workshops vorgestellt und diskutiert.

3. METHODIK

Die angewendeten Methodiken richten sich nach den Zielen der einzelnen Arbeitspakete. Um den für das Vorhaben relevanten aktuellen Stand von Wissenschaft und Technik zu recherchieren, werden Literaturrecherchen betrieben, unter anderem der relevanten VDI-Richtlinien, sowie der direkte Kontakt zu Fachkollegen, z. B. auch durch zahlreiche Projektgespräche mit dem Auftraggeber, und die Teilnahme an Fachkonferenzen zum Erfahrungsaustausch genutzt.

Das Programm ARTM selbst ist in der Programmiersprache C implementiert. Es wird der Intel C Compiler und die Entwicklungsumgebung Visual Studio 2010 für die Implementierung sämtlicher Weiterentwicklungen verwendet.

Für die Versionskontrolle bei der Entwicklung wird ein SVN-Repository gepflegt. Zur Programmentwicklung gehören jeweils Programmtests sowie die Dokumentation der Änderungen in einer History-Datei sowie, wenn nötig, in der Programmbeschreibung (die auch die bisher als eigenständiges Dokument verfügbare Modellbeschreibung enthält).

Hilfsprogramme werden in der Programmiersprache Delphi umgesetzt.

Für die Workshops mit den Anwendern werden Präsentationen vorbereitet und gehalten sowie die Rückmeldungen der Anwender im Anschluss an die Workshops bearbeitet.

4. DURCHFÜHRUNG

Die Durchführung der Arbeiten richtet sich nach den jeweiligen Zielsetzungen der Arbeitspakete und der im vorherigen Abschnitt beschriebenen Methodik.

5. ERGEBNISSE

Der Stand von Wissenschaft und Technik wurde recherchiert. Unter anderem wurde der Referentenentwurf zur TA Luft sowie zahlreiche relevante (teilweise aktualisierte) VDI-Richtlinien (VDI 3783 Blatt 7 und 8, VDI 3781 Blatt 4, VDI 3782 Blatt 5 und Blatt 6) erfasst. An der Konferenz HARMO18 wurde zum Austausch mit Fachkollegen teilgenommen. Drei Projektgespräche wurden durchgeführt.

Die prognostischen Windfeldmodelle „Weather Research & Forecast Model“ (WRF), MUKLIMO_3, „Fire Dynamic Simulator“ (FDS) sowie MISKAM wurde auf ihre Eignung zur Verwendung in ARTM hin untersucht. WRF und MUKLIMO_3 konnten dabei bereits ausgeschlossen werden, da sich eine Schnittstelle softwareseitig nicht sinnvoll realisieren lässt. FDS entsprach ebenfalls nicht den Bewertungskriterien, da unter anderem das in ARTM verwendete Anemometer-Konzept zur Vorgabe einer meteorologischen Zeitreihe nicht vorgesehen und FDS hauptsächlich zur Modellierung von Bränden ausgelegt ist und somit die Lösungsalgorithmen und Möglichkeiten zur Festlegung von Randbedingungen auf diese Anwendungsfälle hin optimiert sind. MISKAM ließe sich prinzipiell als prognostisches Windfeldmodell nutzen. Mit diesem Modell sind allerdings nicht vernachlässigbare Anschaffungskosten verbunden und die Modellierung von strukturiertem Gelände (Orographie) ist ebenfalls nicht vorgesehen. Die Implementierung dieses prognostischen Modells stellt deshalb keine ideale Lösung dar.

Ein Hilfsprogramm zur Bearbeitung der meteorologischen Eingabedatei sowie ein Programm zur Prüfung der meteorologischen Zeitreihen wurde erstellt. Der Datensatz zur Landbedeckung, der zur Ableitung der Oberflächenrauigkeit der Erdoberfläche verwendet wird, wurde aktualisiert. Die zeitabhängige Ausgabe von dreidimensionalen Konzentrationsfeldern wurde ermöglicht.

Die bisher auf zwei Dokumente verteilte Programm- und Modellbeschreibung wurde zu einem Dokument zusammengeführt.

6. GEPLANTE WEITERARBEIT

Der Stand von Wissenschaft und Technik wird weiter verfolgt. Weitere VDI-Richtlinien werden erfasst und Projektgespräche zur Auswahl des prognostischen Windfeldmodells durchgeführt. Da sich die bisher untersuchten prognostischen Windfeldmodell als nicht optimal herausgestellt haben, wird zunächst zusätzlich noch das Programm GRAL mit GRAMM der TU Graz bewertet. Nach der Festlegung auf ein prognostisches Modell wird mit der Implementierung der Schnittstelle begonnen.

Die anderen Weiterentwicklungen werden implementiert und die Programmänderungen dokumentiert.

Thema			
Studie zu Aktivitäts- und Partikelgrößenverteilungen im Nano- und Millimeterbereich in der Fortluft kerntechnischer Anlagen mit und ohne Vollfilterung			
Subject			
<i>Study on the distribution of activity and particle sizes in the nano- and millimetre range in gaseous effluents from nuclear installations with and without filter</i>			
Kennzeichen	Beginn	Ende	Fördermittel
3617S72572	01.06.2017	31.01.2020	EUR 563.792,-
Forschungs- / Auftragnehmer			
Brenk Systemplanung GmbH, 52080 Aachen RCM Radiochemie München, 85748 Garching			
Projektleitung	Fachbetreuung BfS	verantwortlich für den Text	
Dr. S. Thierfeldt	A. Heckel / SW 1.4	Dr. S. Thierfeldt, Dr. B. Krupa	

1. ZIELSETZUNG

Dieses Vorhaben bezieht sich auf Ableitungen radioaktiver Stoffe mit der Fortluft aus kerntechnischen Anlagen, die gem. § 47 StrlSchV radiologisch zu bewerten sind und über die an die Europäische Kommission sowie im Rahmen des Parlamentsberichts "Umweltradioaktivität und Strahlenbelastung" zu berichten ist. Hierfür müssen die Aktivitätsableitungen so genau wie möglich bestimmt werden. Als ein hierfür relevanter Faktor wird die Kenntnis der Aktivitätsverteilung als Funktion des aerodynamischen Partikeldurchmessers angesehen.

Im bestimmungsgemäßen Betrieb liegen umfangreiche Untersuchungen vor, insbesondere für Partikel im Größenbereich zwischen ca. 1 µm bis 10 µm Durchmesser. Im Rahmen der Stilllegung kerntechnischer Anlagen ändert sich der Quellterm für die Ableitungen mit der Fortluft jedoch (z. B. durch die Anwendung von Zerlege- und Dekontaminationsverfahren usw.). Falls sich hierdurch die Partikelgrößenverteilung und ggf. die Verteilung der Aktivität auf die verschiedenen Partikelgrößenklassen ändern würde, müssten ggf. die Berechnungsvorschriften für die Modellierung der Ausbreitung dieser Partikel in der Umgebung der kerntechnischen Anlage modifiziert werden.

In diesem Vorhaben erfolgt vor diesem Hintergrund die nähere Untersuchung der Verteilung der Partikelgrößen und der Aktivitäten auf die Partikelgrößenklassen bei Ableitungen mit der Fortluft aus verschiedenen kerntechnischen Anlagen, darunter insbesondere solchen in der Stilllegungsphase. Ferner wird der Einfluss der Filterung untersucht.

2. EINZELZIELSETZUNG

2.1 AUFARBEITUNG DES RELEVANTEN STANDES VON WISSENSCHAFT UND TECHNIK (AP 1)

In Rahmen von AP 1 erfolgt eine Literaturrecherche in etablierten Fachzeitschriften und anderen einschlägigen Quellen mit dem Ziel eines Überblicks über vorhandene Messdaten zu Partikel- und Aktivitätsverteilungen in den beiden genannten interessierenden Größenbereichen aus kerntechnischen Anlagen und der Zusammenstellung der Messmethoden, die bei diesen Bestimmungen der Aktivitätsverteilungen verwendet wurden.

2.2 ERARBEITEN DER MESSSTRATEGIE, PLANUNG DER MESSUNGEN (AP 2)

Im Rahmen von AP 2 werden die Messungen konkret geplant, die anschließend in AP 3 durchgeführt werden. Hierzu gehört die Entwicklung einer Messstrategie, einschließlich der Auswahl geeigneter kerntechnischer Anlagen sowie Einholung von Genehmigungen zur Durchführung der geplanten Messungen in kerntechnischen Anlagen mit und ohne Vollfilterung sowie von Anlagen im Rückbau.

2.3 EXPERIMENTELLE BESTIMMUNG DER PARTIKELGRÖßEN- UND AKTIVITÄTSVERTEILUNGEN IN KERNTECHNISCHEN ANLAGEN MIT UND OHNE VOLLFILTERUNG (AP 3)

Im Rahmen von AP3 erfolgt die experimentelle Bestimmung der Partikelgrößen- und Aktivitätsverteilungen in kerntechnischen Anlagen mit und ohne Vollfilterung. Hierzu gehören die Bestimmung der Anzahl-, Massen- und nuklidspezifischen Aktivitätsverteilungen als Funktion des Aerosolpartikeldurchmessers, insbesondere in den Korngrößenbereichen $< 0,3 \mu\text{m}$ und $> 10 \mu\text{m}$, die Ermittlung geeigneter Beprobungsstellen, z. B. in Teilabluftsträngen aus dem Containment oder im Fortluftkamin, die Durchführung dieser Messungen in kerntechnischen Anlagen mit und ohne Vollfilterung sowohl im bestimmungsgemäßen Betrieb als auch im Rückbau sowie die Bestimmung der Partikelgrößen- und Aktivitätsverteilungen mit ausreichender Auflösung in Bezug auf den Partikeldurchmesser.

3. METHODIK

3.1 AUFARBEITUNG DES RELEVANTEN STANDES VON WISSENSCHAFT UND TECHNIK (AP 1)

Im Rahmen von AP 1 werden die Grundlagen für die späteren Messungen und deren Auswertungen erarbeitet. Es wird zunächst ein Überblick über vorhandene Messdaten zu Partikel- und Aktivitätsverteilungen vorwiegend in den Bereichen $< 0,3 \mu\text{m}$ und $> 10 \mu\text{m}$ in kerntechnischen Anlagen im bestimmungsgemäßen Betrieb und in konventionellen Anlagen im In- und Ausland gegeben. Darüber hinaus werden auch Ergebnisse aus Stilllegung und Rückbau kerntechnischer Anlagen einbezogen. Die Ergebnisse werden in Form eines Berichts vorgelegt.

3.2 ERARBEITEN DER MESSSTRATEGIE, PLANUNG DER MESSUNGEN (AP 2)

Messungen der Verteilung der Partikelgrößen und der Aktivitäten werden in verschiedenen Kernkraftwerken, Forschungsreaktoren und radiochemischen Labors durchgeführt. In einem ersten Schritt werden passende Anlagen, die zur Mitarbeit bereit sind, ausgewählt. Für diese ausgewählten kerntechnischen Anlagen werden jeweils die notwendigen Genehmigungen bzw. aufsichtlichen Zustimmungen eingeholt, um Partikelmessungen durchführen zu können. Sobald diese vorliegen, werden die notwendigen Details für die weitere Vorgehensweise (wie Konstruktion von Übergangsstücken für den Anschluss der Messgeräte usw.) in Angriff genommen. Für jede Anlage wird dann eine Messstrategie erarbeitet.

3.3 EXPERIMENTELLE BESTIMMUNG DER PARTIKELGRÖßEN- UND AKTIVITÄTSVERTEILUNGEN IN KERNTECHNISCHEN ANLAGEN MIT UND OHNE VOLLFILTERUNG (AP 3)

Die Durchführung der Messungen gemäß der in AP 2 erarbeiteten Messstrategie erfolgt in zwei Schritten: die Entnahme der Partikel erfolgt mit einem Impaktor. In den verschiedenen Impaktor-Stufen scheiden sich Partikel unterschiedlicher aerodynamischer Durchmesser ab. Im zweiten Schritt werden diese nach Korngrößen getrennten Partikel gammaspektrometrisch und mit Messungen der Alpha- und Beta-Gesamtaktivität sowie weiteren Verfahren (Rasterelektronenmikroskopie, Massenspektrometrie usw.) untersucht. Ziel ist die Ermittlung der Verteilung massenbezogener Aktivitäten relevanter Radionuklide auf die einzelnen Partikelgrößen und ein Vergleich dieser Verteilung mit vorliegenden Ergebnissen für Anlagen in der Betriebsphase.

4. DURCHFÜHRUNG

Das in Abschnitt 2 dargestellte Arbeitsprogramm wurde im Berichtszeitraum mit Schwerpunkt auf AP 1 bearbeitet, wobei erste Arbeiten für AP 3 ebenfalls durchgeführt wurden:

4.1 AUFARBEITUNG DES RELEVANTEN STANDES VON WISSENSCHAFT UND TECHNIK

Der Stand von Wissenschaft und Technik wurde anhand einer umfangreichen Literaturrecherche erarbeitet und in Form eines eigenständigen Berichts dokumentiert. Hierbei wurde durch Modellierung einer standardisierten Ausbreitungssituation auch dargestellt, welche Auswirkungen die Partikelgröße auf das Ausbreitungsverhalten und somit auf die Ergebnisse von Immissionsberechnungen (z. B. gem. der AVV zu § 47 StrlSchV) hat.

4.2 EXPERIMENTELLE BESTIMMUNG DER PARTIKELGRÖßEN- UND AKTIVITÄTSVERTEILUNGEN IN DER RADIOCHEMIE MÜNCHEN (RCM)

Zur Vorbereitung von AP 2 und der weiteren Durchführung von AP 3 erfolgten in der RCM Messungen der Partikelgrößenverteilung in der Kaminfortluft während des Normalbetriebs sowie in der Abluft einer speziellen Einhausung, in der radioaktive Abfälle, bei denen mit einer erhöhten, staubförmigen Aktivitäts-Freisetzung gerechnet werden muss, umgepackt werden. Hierzu wurden zwei Impaktoren parallel verwendet, um zeitgleich die Abluft der Einhausung und die Kaminfortluft untersuchen zu können. Die Messungen in der Abluft der Einhausung erfolgten über Zeiträume zwischen ca. 30 Minuten und mehreren Stunden, die Messungen am Fortluftkamin zwischen mehreren Stunden und zwei Tagen. Die in den verschiedenen Impaktorstufen gewonnenen Partikel wurden zunächst gammaspektrometrisch untersucht.

Diese Arbeiten erfolgten im Vorgriff auf AP 3, da hiermit die prinzipielle Eignung der Methodik innerhalb der an den Arbeiten beteiligten RCM untersucht werden sollte. Der Verweis auf eine bereits erfolgte erfolgreiche Durchführung derartiger Messungen erleichtert die Zustimmung für derartige Messungen in anderen kerntechnischen Anlagen.

5. ERGEBNISSE

5.1 LITERATURSICHTUNG

Die Ergebnisse der Modellierung einer standardisierten Ausbreitungssituation zeigten, dass durch die Variation der Partikelgröße innerhalb praxisrelevanter Bereiche die lokale maximale Konzentration der abgelagerten Aktivität um ca. einen Faktor vier beeinflusst werden kann.

Die Literatursichtung ergab umfangreiche Messdaten zu Aktivitätsverteilungen, die direkt bei der Anwendung verschiedener Zerlegeverfahren gewonnen wurden. Ferner fanden sich diverse Angaben zu Partikelgrößenverteilungen in der Fortluft kerntechnischer Anlagen sowie von konventionellen Anlagen, die als Vergleich dienen können.

Die verschiedenen geeigneten Messverfahren wurden aufgeführt und jeweils in ihrem Anwendungsbereich näher beschrieben.

5.2 MESSUNGEN

Die in der RCM durchgeführten Messungen der Abluft der Einhausung zeigten sehr gute Korrelation mit den darin stattfindenden Aktivitäten zum Umpacken und Sortieren radioaktiver Abfälle. Die Verteilung der Partikelgrößen konnte ermittelt werden. Ferner konnte an einigen der getrennten Fraktionen die Aktivität von Am-241 durch Gamma-Spektrometrie und die gesamte Alpha-Aktivität durch Messungen im Großflächenzähler und mit Alpha-Spektrometrie bestimmt werden. In der gefilterten Fortluft der RCM wurden dagegen nur extrem geringe Partikelmengen festgestellt, die außerdem oberhalb von aerodynamischen Durchmessern von 1-2 μm praktisch auf null zurückgingen. Eine zeitliche Korrelation mit den Umpackarbeiten war nicht erkennbar. Die hinter den Filterbänken gewonnenen Proben eignen sich nicht für eine Auswertung der Aktivitäten.

6. GEPLANTE WEITERARBEIT

Die aus den bisherigen Arbeiten gewonnenen Ergebnisse zeigen, dass das Verfahren prinzipiell geeignet ist, um die Partikelgrößenverteilung und, sofern eine ausreichende Zahl von Partikeln gewonnen werden kann, auch die Aktivitätsverteilung zu ermitteln. Daher erfolgt die Auswahl von Kernkraftwerken in verschiedenen Betriebszuständen, in denen die Messungen erfolgen können. In Vorbereitung hierzu werden erklärende Darstellungen für das Anliegen des Vorhabens, das Messprogramm und die bereits erzielten Ergebnisse erstellt. Es wird ferner geklärt, in welchem Rahmen die geplanten Messungen einer Genehmigung bzw. aufsichtlichen Zustimmung bedürfen und welche Unterlagen hierzu erstellt werden müssen. Parallel hierzu erfolgen weitere Auswertungen an den bereits gewonnenen Proben aus der Messkampagne in der RCM.

Themenbereich 08
Nichtionisierende Strahlung

Subject area 08
Non-ionising radiation

Thema			
Einfluss hochfrequenter elektromagnetischer Felder auf die Gehirnaktivität, Schlaf und kognitive Leistungsfähigkeit älterer Männer			
Subject			
<i>Effect of high frequency electromagnetic fields on brain activity, sleep and cognitive performance in elderly men</i>			
Kennzeichen	Beginn	Ende	Fördermittel
3616S82430	11.05.2016	30.04.2018	EUR 386.599,-
Forschungs- / Auftragnehmer			
Kompetenzzentrum Schlafmedizin, Charité - Universitätsmedizin, Campus Benjamin Franklin, Berlin			
Projektleitung	Fachbetreuung BfS	verantwortlich für den Text	
Prof. Dr. H. Danker-Hopfe	PD Dr. B. Pophof / AG-SG 1.4	Prof. Dr. H. Danker-Hopfe, Dr. H. Dorn	

1. ZIELSETZUNG / KURZBESCHREIBUNG

Ziel des geplanten Forschungsvorhabens ist es, zu prüfen, ob hochfrequente elektromagnetische Felder, die von Mobilfunk-Endgeräten ausgehen, die Gehirnaktivität im Wachzustand und im Schlaf sowie die kognitive Leistungsfähigkeit von Männern in fortgeschrittenem Erwachsenenalter (ab 60 Jahre) beeinträchtigen können. Bisher publizierte Effekte traten häufiger bei niedrigeren Frequenzen und höheren SAR-Werten auf, deswegen soll mit GSM (900 MHz, 2W/kg) und TETRA (400 MHz, 6W/kg) exponiert werden.

Es soll geklärt werden, welche physiologischen Änderungen bei zulässigen Expositionen auftreten, welcher Wirkungsmechanismus verantwortlich ist und welche individuellen Ausgangssituationen eine Empfindlichkeit fördern.

2. EINZELZIELSETZUNG

Zu untersuchen ist die nächtliche Schlafqualität sowie tagsüber die mittels Elektroenzephalographie (EEG) gemessene Hirnaktivität und die kognitive Leistungsfähigkeit unter einer mehrstündigen Exposition mit simulierten Signalen der Endgeräte nach dem GSM- und dem TETRA-Standard. Das Schlaf-EEG soll als Modell für eine gut untersuchte und durch die Umgebung wenig beeinflusste Gehirnaktivität dienen. Um den Einfluss des Gebrauchs von Telefonen bzw. Funkgeräten kurz vor dem Schlafengehen auch zu erfassen, beginnt die Exposition 30 min vor dem Schlaf. Tagsüber werden während einer mehrstündigen Exposition die kognitive Leistungsfähigkeit (Reaktionszeiten, Gedächtnis, Wachsamkeit) und das Wach-EEG untersucht. Die Aufarbeitung der Literatur zum Thema, die Entwicklung der Expositionsanlage, die Einrichtung von Messplätzen sowie das Einholen eines Ethikvotums erfolgten in einem Pilotprojekt zu diesem Forschungsvorhaben.

2.1 DOSIMETRISCHE ANALYSE UND TECHNISCHE BETREUUNG DER EXPOSITIONSANLAGE

Die im Pilotprojekt von der Firma Seibersdorf Labor GmbH entwickelte Expositionsanlage, die in diesem Projekt zum Einsatz kam, wurde dosimetrisch charakterisiert. Dazu zählen:

- eine Basisdosimetrie und Unsicherheitsanalyse für die Expositionsanlage
- eine hinregion-spezifische dosimetrische Analyse (inkl. thermischer Berechnungen)
- eine messtechnische Erfassung der Hintergrundfelder am Probandenplatz.

Die Ergebnisse der dosimetrischen Arbeiten liegen dokumentiert in Form eines Zwischenberichtes vor. Darüber hinaus wird die Expositionsanlage bis zum Ende der Studiendauer technisch von der Seibersdorf Labor GmbH betreut und gewartet.

2.2 PROBANDENREKRUTIERUNG UND DATENERHEBUNG

Ursprünglich sollten 20 Männer im Alter von 60 bis 80 Jahren in die Studie eingeschlossen werden. Um die Studie in der Größe der Stichprobe mit den vorherigen Studien an jungen gesunden Männern und älteren gesunden Frauen vergleichbar zu halten, wurde eine kostenneutrale Aufstockung der Probandenzahl auf 30 be-

antragt und vom BfS bewilligt. Um an der Studie teilnehmen zu können, musste ein Proband Rechtshänder und Nichtraucher sein, er durfte keine Medikamente einnehmen, die auf das zentrale Nervensystem wirken, er durfte subjektiv keine Schlafstörung haben sowie keine psychische Erkrankung aktuell und in der Vorgeschichte.

3. METHODIK

3.1 EXPOSITION UND DOSIMETRIE

Für die effiziente doppelt verblindete und randomisierte Befeldung der Probanden wurde eine Doppel-Expositionsanlage entwickelt. Diese Anlage erlaubt die parallele Befeldung des Probandenkollektivs an zwei unabhängigen Testplätzen, d. h., die gesamte Hardware der Anlage ist zweifach ausgeführt. Auch die zugehörige Steuer- und Monitoringsoftware ist zweifach (auf zwei unterschiedlichen Laptop-Computern) vorhanden, wobei, zur Sicherstellung der Konsistenz des Befeldungsschemas, beide Softwaremodule aber auf einen zentralen Datensatz für die Zulosung und Speicherung der Expositionsdaten zugreifen. Die Befeldung der Probanden erfolgt mittels einer am Kopf der Probanden, im Bereich des Ohres, fixierten tragbaren Dual-Band-Antenne, so dass die Expositionsbedingungen GSM und TETRA doppelblind appliziert werden können.

3.2 REKRUTIERUNG UND UNTERSUCHUNG DER PROBANDEN

Nach erfolgreichem Screening und Einschluss in die Studie durchlaufen alle Probanden drei Untersuchungsbedingungen (GSM 900 MHz, 2W/kg; TETRA 6W/kg; Sham) jeweils dreimal in zufälliger Reihenfolge (randomisiert). Für die Exposition wird eine speziell für dieses Projekt entwickelte, am Kopf zu tragende Antenne verwendet. Nach einer Gewöhnungsnacht und einem Gewöhnungstag verbringt jede Versuchsperson neun Nächte im Schlaflabor und absolviert an neun Nachmittagen eine Reihe unterschiedlicher Konzentrations- und Gedächtnistests. Dabei wird gleichzeitig ein Elektroenzephalogramm (EEG) abgeleitet. Der Abstand zwischen den Testungen beträgt ca. eine Woche. Welche Expositionsbedingung an welchem Testtag bzw. in welcher Testnacht vorliegt, weiß weder die Versuchsperson noch die Person, welche die Tests bzw. die Nachtableitung durchführt, d. h. die Untersuchung erfolgt doppelblind. Alle Probanden durchlaufen alle Expositionsbedingungen (cross-over Design).

4. DURCHFÜHRUNG

4.1 PROBANDEN

Die 30 gesunden Probanden mussten zwischen 60 und 80 Jahren alt sein. Die Gewöhnungsnacht, die gleichzeitig auch als Screeningnacht gilt, durfte keinen Anhalt für das Vorliegen einer schlafbezogene Atmungs- oder Bewegungsstörung ergeben. Die Person musste einen geregelten Schlaf-Wach-Rhythmus ohne Schichtdienst (bei denjenigen, die noch berufstätig waren) haben.

4.2 ABLAUF DER STUDIE

Während des Nachtschlafes werden die Gehirntätigkeit, Augenbewegungen, Muskelaktivität und Herzaktivität sowie in der Eingewöhnungsnacht auch die Atmung und Beinbewegungen erfasst. Daraus lassen sich Informationen zur Schlafstruktur, wie Anteile an Tiefschlaf, leichtem Schlaf und Traumschlaf sowie Zeit bis zum Einschlafen und Wachzeit in der Nacht ableiten. Zusätzlich wird das Auftreten besonderer Muster im Schlaf (z. B. Schlafspindeln) erfasst sowie die Zusammensetzung des Schlaf-EEGs nach verschiedenen Frequenzen.

In den Tagesuntersuchungen, die am Nachmittag stattfinden, werden Tests zu verschiedenen Komponenten von Aufmerksamkeit und zum Arbeitsgedächtnis durchgeführt. Während der gesamten Untersuchungszeit wird die Gehirnaktivität mit einem EEG aufgezeichnet. Es werden die Testleistungen und die Gehirnaktivität bei der Durchführung bestimmter Aufgaben und im Ruhezustand ausgewertet.

Um eine gegenseitige Beeinflussung der EEG-Aufzeichnung und der Hochfrequenzexposition zu vermeiden, wurden die EEG-Geräte mit Filtern und Abschirmungen ausgestattet und es wurden spezielle Messfühler zur Signalaufzeichnung entwickelt.

5. ERGEBNISSE

5.1 ERGEBNISSE DER DOSIMETRISCHEN CHARAKTERISIERUNG DER EXPOSITIONSANLAGE

Für die vorhandene Expositionsanlage (Leistungseffizienz 7,7 W/kg/W für TETRA und 9,1 W/kg/W für GSM900) wurden detaillierte und umfangreiche dosimetrische Analysen auf Basis numerischer Berechnungen (Computersimulationen) mit einem männlichen anatomischen Kopfmodell durchgeführt. Als potenzielle Einflussgrößen auf die resultierende Exposition wurden anatomische Variationen (Verwendung zweier deutlich unterschiedlicher Kopfmodelle, Duke und Luis aus der Virtual Population der ETH Zürich), Unsicherheiten bezüglich der dielektrischen Gewebeeigenschaften, Hautfeuchteschwankungen im Bereich der Antenne, Variationen der Antennenposition am Kopf, Einfluss der EEG-Elektroden sowie Schwankungen des Antenneneingangsreflexionsfaktors betrachtet. Die ermittelte resultierende Gesamtunsicherheit der Exposition (SAR 10 g im Gehirn) beträgt $< \pm 35 \%$ für TETRA-Exposition und $< \pm 36 \%$ für GSM900-Exposition. Eine Gehirnregion-spezifische Analyse der SAR-Verteilung im Kopf wurde durchgeführt.

5.2 REKRUTIERUNG UND UNTERSUCHUNG DER PROBANDEN

Für die Studie haben sich insgesamt 362 Interessenten gemeldet. Davon haben 122 Männer die Fragebögen ausgefüllt, die notwendig sind, um zu überprüfen, ob sie für eine Studienteilnahme geeignet sind. Die restlichen 240 hatten nach einem ausführlichen informierenden Telefongespräch entweder kein Interesse mehr oder sie erfüllten Kriterien, die mit einer Studienteilnahme nicht vereinbar waren. Nach Durchsicht der Fragebögen wurden 86 Männer zur medizinischen Voruntersuchung eingeladen. Ein Proband hatte sich vor der medizinischen Untersuchung gegen eine Teilnahme entschieden, 10 erfüllten in der medizinischen Untersuchung Ausschlusskriterien. 75 Probanden sind zur Gewöhnungsnacht aufgenommen worden. Von Ihnen mussten 43 wegen polysomnographisch definierter Ausschlusskriterien (vorwiegend auf Grund schlagbezogener Atmungsstörungen) ausgeschlossen werden, so dass 32 Personen in die Studie eingeschlossen werden konnten. 27 Probanden haben die Studie abgeschlossen, drei weitere sind in der Phase der Datenerhebung. Zwei Probanden haben die Studie vorzeitig beendet.

6. GEPLANTE WEITERARBEIT

Es ist geplant, die Datenerhebung Anfang Februar 2018 abzuschließen. Die erhobenen Daten werden einer Qualitätskontrolle unterzogen und unter Wahrung der Verblindung vorausgewertet. Für die endgültige Auswertung werden die Daten entblindet und hinsichtlich von Expositionseffekten auf die Zielparameter ausgewertet. Um diese Datenauswertung vornehmen zu können, wurde eine kostenneutrale Verlängerung der Projektlaufzeit bis zum 31.03.2019 beantragt.

Thema			
Exposition und Wirkungen der elektromagnetischen Felder neuartiger Technologien im Zwischenfrequenzbereich - systematische Review			
Subject			
<i>Exposure and effects of electromagnetic fields of new technologies operating in the intermediate frequency range - a systematic review</i>			
Kennzeichen	Beginn	Ende	Fördermittel
3616S82437	01.11.2016	28.10.2017	EUR 149.880,-
Forschungs- / Auftragnehmer			
Seibersdorf Labor GmbH, Seibersdorf, Österreich			
Projektleitung	Fachbetreuung BfS	verantwortlich für den Text	
G. Schmid	Dr. A. Dehos / AG-SG	G. Schmid	

1. ZIELSETZUNG

Bei der Anwendung vieler neuartiger technologischer Entwicklungen entstehen elektromagnetische Felder (EMF) im Zwischenfrequenzbereich. In bisherigen Reviews von Expositionsdaten sowie im Hinblick auf mögliche biologische bzw. gesundheitliche Auswirkungen von EMF wurde das Augenmerk zumeist entweder auf den Niederfrequenzbereich (Netzfrequenzen und Oberwellen) oder den Hochfrequenzbereich gelegt. Die Datenlage zu den möglichen Expositionen durch EMF im dazwischenliegenden Frequenzbereich und deren mögliche biologische und gesundheitliche Wirkungen ist derzeit noch relativ spärlich. In diesem Vorhaben sollen daher die bisher vorliegenden Erkenntnisse zu dieser Thematik erfasst und bewertet werden, um eine Basis für die Ableitung des zukünftigen Forschungsbedarfs zu schaffen. Als relevanter Frequenzbereich wurde der Bereich von 300 Hz - 1 MHz vorgegeben.

2. EINZELZIELSETZUNG

Die oben genannte Aufgabenstellung wurde in die folgenden Einzelzielsetzungen gegliedert.

2.1 ERHEBUNG UND BEWERTUNG VON QUELLEN UND EXPOSITIONEN

Mögliche Quellen von EMF im Frequenzbereich von 300 Hz - 1 MHz waren zunächst zu identifizieren und kategorisieren. Für jede Quellenkategorie waren, basierend auf einer systematischen Recherche, vorhandene Literaturdaten bezüglich Immissionen und Exposition zu erfassen und anhand von Qualitätskriterien zu analysieren und zu bewerten.

2.2 REVIEW HINSICHTLICH BIOLOGISCHER BZW. GESUNDHEITLICHER WIRKUNGEN

Bezüglich möglicher biologischer bzw. gesundheitlicher Wirkungen von EMF im Frequenzbereich von 300 Hz - 1 MHz war eine systematische Review durchzuführen, um alle potenziell relevanten wissenschaftlichen Veröffentlichungen zu erfassen und nach objektiven Kriterien zu bewerten.

2.3 REVIEW BEZÜGLICH STÖRBEEINFLUSSUNG VON ELEKTRONISCHEN IMPLANTATEN

Um nicht nur den aktuellen Kenntnisstand zu möglichen direkten biologischen Wirkungen von Zwischenfrequenz-EMF zu erfassen, war auch eine systematische Recherche und Bewertung der wissenschaftlichen Literatur im Hinblick auf mögliche Störbeeinflussungen von aktiven Implantaten durchzuführen.

Alle erhobenen Daten sind schließlich einer abschließenden Bewertung zu unterziehen und daraus Schlussfolgerungen im Hinblick auf Kenntnislücken und Empfehlungen für zukünftige Forschungsschwerpunkte abzuleiten.

3. METHODIK

Zur Identifikation von Zwischenfrequenzquellen und zugehörigen Immissions- bzw. Expositionsdaten (bezüglich der Allgemeinbevölkerung und beruflicher Exposition) wurden zunächst Recherchen im EMF-Portal

durchgeführt. Diese wurden ergänzt durch weiterführende systematische Suche in Online-Datenbanken sowie gezielt nach einschlägigen, öffentlich zugänglichen Forschungsberichten nationaler und internationaler Institutionen sowie auf Basis einer Durchsicht des deutschen Frequenznutzungsplanes. Für die Bewertung der erfassten Immissions- und Expositionsdaten stellten insbesondere die hinreichende Dokumentation der Mess- bzw. Berechnungsmethode sowie Angaben bezüglich räumlicher und zeitlicher statistischer Größen und die eindeutige Zuordnung der Daten zum Zwischenfrequenzbereich die wesentlichsten Qualitätskriterien dar.

Die Review bezüglich möglicher biologischer Wirkungen wurde nach PRISMA (Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses)-Richtlinien erstellt. Die Primärsuche nach relevanten Artikeln bezüglich möglicher biologischer Wirkungen im Zwischenfrequenzbereich wurde im EMF-Portal durchgeführt. Weiterhin wurden die Referenzlisten der im Zuge der Primärsuche aufgefundenen Publikationen durchgesehen, um weitere relevante Artikel zu identifizieren. Einschlusskriterien wurden nach der PECO¹⁾-Strategie definiert. Relevant waren alle experimentellen und epidemiologischen Studien, in denen biologische Systeme bei EMF im Zwischenfrequenzbereich (300 Hz - 1 MHz) exponiert wurden. Als Signalformen wurden sinusförmige und symmetrische Dreiecks-Signalformen sowie Studien ohne Spezifikation der Signalform akzeptiert. Weitere Einschlusskriterien waren, dass die Studien eine Kontrollgruppe oder -bedingung ohne Exposition (Sham) beinhalteten und die Expositionsquelle und -dauer sowie die Feldstärke angegeben waren. Bei Humanstudien mussten außerdem zumindest die Probanden verblindet gewesen sein. Eingeschlossen wurden nur englisch- und deutschsprachige Artikel, die in Fachzeitschriften mit Peer-Review-Verfahren veröffentlicht wurden. Der Zeitpunkt der Veröffentlichung war auf Studien nach 1970 beschränkt. Das Risiko für Bias im Studiendesign sowie die Studienqualität wurden anhand des vom National Toxicology Program's Office of Health Assessment and Translation (OHAT) entwickelten Protokolls bewertet.

Die Primärsuche von wissenschaftlicher Literatur bezüglich möglicher Störbeeinflussungen (EMI) von aktiven Implantaten erfolgte ebenfalls im EMF-Portal mit anschließender Durchsicht der Referenzlisten der Primärtreffer zur Identifikation weiterer relevanter Artikel. Eingeschlossen wurden alle experimentellen Studien zu EMI mit aktiven Implantaten im Frequenzbereich von 300 Hz bis 1 MHz. Akzeptiert wurden Provokationsstudien, Studien mit Phantom-Modellen, Benchmarktests und Simulationsstudien. Ausgeschlossen wurden Studien, die Implantat-Programmiergerät-Interferenzen, Implantat-Implantat-Interferenzen, EMI mit passiven Implantaten oder Interferenzen durch eine Strom-Applikation (z. B. durch TENS (transkutane elektrische Nervenstimulation) oder andere medizinische Geräte) untersuchten.

4. DURCHFÜHRUNG

Die Recherchen und Bewertungen bezüglich Quellen und Exposition erfolgten durch ein Projektteam aus dem Fachgebiet Technik/Dosimetrie der Seibersdorf Labor GmbH. Die systematischen Reviews bezüglich möglicher direkter biologischer Wirkungen und möglicher Störbeeinflussungen von aktiven Implantaten wurden von interdisziplinären Projektteams des Forschungszentrums für elektromagnetische Umweltverträglichkeit (FEMU) an der Uniklinik RWTH Aachen durchgeführt.

5. ERGEBNISSE

Geräte bzw. Anlagen, die als Quellen von EMF im Zwischenfrequenzbereich betrachtet werden müssen, sind sowohl im Bereich der Allgemeinbevölkerung als auch am Arbeitsplatz relativ häufig anzutreffen. Die relevantesten Beispiele sind Induktionsherde und industrielle Induktionserwärmungsanlagen, einzelne Technologien der elektronischen Artikelsicherung (EAS) und Radiofrequenz Identifikation (RFID), Inverter- bzw. Stromrichter-gesteuerte Stromquellen (z. B. für Schweißprozesse) bzw. Antriebe (z. B. in Elektrofahrzeugen), Geräte zur drahtlosen (induktiven) Energieübertragung und elektrochirurgische Geräte. Zuverlässige Immissions- bzw. Expositionsdaten im Zwischenfrequenzbereich (300 Hz-1 MHz) sind jedoch nur relativ wenig dokumentiert, da bei vielen Geräten, die Zwischenfrequenzimmissionen verursachen, der Hauptteil des Immissionsspektrums zumeist im niedrigen Frequenzbereich und somit außerhalb des Zwischenfrequenzbereichs liegt und die vorhandenen zugehörigen Messdaten oftmals nicht frequenzselektiv erhoben wurden.

In die systematische Review hinsichtlich direkter biologischer Wirkungen konnten insgesamt 56 Studien eingeschlossen (3 Human-, 27 Tier- und 26 In-vitro-Studien) werden, wobei die untersuchten Endpunkte und die

¹⁾ Population-Exposition-Kontrolle-Ergebnis (population, exposure, control, outcome)-Strategie (NTP, 2015a. Handbook for Conducting a Literature-Based Health Assessment Using OHAT Approach for Systematic Review and Evidence Integration. Office of Health Assessment and Translation (OHAT))

Studienqualität heterogen waren. Studien im Hinblick auf Feldwirkungen von Induktionsherden, induktiven Ladegeräten und MRT (Gradientenfelder) lieferten keine Hinweise auf schädliche Wirkungen für die untersuchten Endpunkte (z. B. Fortpflanzung und Entwicklung). Es existieren jedoch In-vitro-Studien mit Hinweisen auf eine Wirkung von magnetischen Zwischenfrequenzfeldern auf die Zellproliferation und Zelllebensfähigkeit, wohingegen genotoxische Wirkungen bei Magnetfeldern < 100 kHz als unwahrscheinlich eingeschätzt werden können. Zu den meisten Endpunkten, die in Tierstudien untersucht wurden, ist die Studienlage nicht ausreichend, um mögliche Wirkungen beurteilen zu können. Studien zur Reiz- und Wärmewirkung konnten im Rahmen der Review nicht gefunden werden. Auch aus der sehr geringen Anzahl an Humanstudien (Gehirn, Kognition) lassen sich keine Schlussfolgerungen ziehen.

6. GEPLANTE WEITERARBEIT

Nach Fertigstellung der Datenerhebung und Bewertung bezüglich möglicher Störbeeinflussungen von aktiven Implantaten werden alle vorliegenden Daten einer abschließenden Bewertung unterzogen und daraus Schlussfolgerungen im Hinblick auf Kenntnislücken und Empfehlungen für zukünftige Forschungsschwerpunkte abgeleitet.

Thema			
Leukämie im Kindesalter - Einfluss des Immunsystems auf die Entstehung der Erkrankung (experimentelle Studie an einem geeigneten Tiermodell)			
Subject			
<i>Childhood leukemia - influence of the immune system on the development of the disease (experimental study in a suitable animal model)</i>			
Kennzeichen 3616S82440	Beginn 01.10.2016	Ende 30.09.2019	Fördermittel EUR 851.432,-
Forschungs- / Auftragnehmer Fraunhofer-Gesellschaft zur Förderung der angewandten Forschung e. V., München			
Projektleitung Dr. T. Tillmann	Fachbetreuung BfS Dr. J. A. Schmidt / AG-SG 1.4	verantwortlich für den Text Dr. T. Tillmann	

1. ZIELSETZUNG

Epidemiologische Untersuchungen weisen auf einen Zusammenhang zwischen der Exposition mit extrem niederfrequenten Magnetfeldern (ELF-MF), wie sie beispielsweise bei der Erzeugung, Übertragung, Verteilung und Verwendung von elektrischer Energie (Strom) auftreten, und der Entstehung von Leukämien im Kindesalter hin. Von der IARC (International Agency for Research on Cancer) wurden im Jahr 2002 ELF-MF auf Grund der epidemiologischen Ergebnisse als möglicherweise krebserregend (Klasse 2B) eingestuft. Experimentelle Beweise für diese IARC-Einstufung fehlen aber bis heute. Biophysikalisch betrachtet ist es unwahrscheinlich, dass diese energiearmen, extrem niederfrequenten magnetischen Felder stark genug sind, um direkt DNA-schädigend zu wirken, d. h. um beispielsweise B-ALL [akute lymphoblastische (B-Zell-) Leukämie] - die häufigste Leukämie im Kindesalter - unmittelbar zu verursachen.

Allerdings zeigten drei unabhängige Untersuchungen an CD1-Mäusen bzw. bei einem transgenen Mausmodell für pB-ALL, in dem die häufige Leukämie-spezifische chromosomale Translokation ETV6RUNX1 nachgestellt wird, übereinstimmend eine verminderte Zahl an Immunzellen nach bis zu 90-tägiger ELF-MF-Exposition im Blutbild der Jungtiere. Auch wenn es bisher keinen Nachweis gibt, dass diese Veränderung beim jungen sich entwickelnden Immunsystem ein zwingend notwendiger Schritt für die Manifestation einer B-ALL ist, sollen auf Grund dieser Hinweise im Projekt Phänotyp und Funktion von Immunzellen an einem geeigneten Mausmodell für die genannte Kinderleukämie B-ALL vergleichend mit und ohne Magnetfeldexposition untersucht werden.

2. EINZELZIELSETZUNG

2.1 FESTLEGUNG DES TIERMODELLS

Die Sca1-ETV6-RUNX1-Mäuse tragen eine relativ häufige Leukämie-spezifische Veränderung im Erbgut und scheinen daher als Tiermodell besonders geeignet.

2.2 DEFINITION DER EXPOSITIONS-SZENARIEN UND UNTERSUCHUNGSZEITPUNKTE

Für die tierexperimentelle Überprüfung der epidemiologischen Hinweise auf einen möglichen Einfluss von niederfrequenten Magnetfeldern (ELF-MF) auf die Entstehung von Leukämien im Kindesalter müssen unterschiedliche elektromagnetische Feldstärken ausgewählt werden. Die ELF-MF-Exposition der Nachkommen soll nach Feststellung der Trächtigkeit, d. h. so früh wie möglich - schon im Muttertier - beginnen und nach der Geburt über verschiedene Zeiträume fortgeführt werden.

2.3 FESTLEGUNG DER IMMUNOLOGISCHEN UNTERSUCHUNGSSCHWERPUNKTE

Die Wirkung der ELF-MF-Exposition an den jungen Mäusen soll anhand von Blut- und Immunzelluntersuchungen geprüft werden.

2.4 ETABLIERUNG DER GENETISCHEN UNTERSUCHUNGEN

Untersuchungsmethoden zur Unterscheidung der Wurfgeschwister müssen etabliert werden.

3. METHODIK

3.1 VERSUCHSDESIGN

Drei Gruppen von je 10 weiblichen Mäusen werden nach erfolgreicher Verpaarung ab Tag 1 der Trächtigkeit in drei äußerlich nicht unterscheidbaren Anlagen (d. h. verblindetes Studiendesign) gegenüber 50 Hz ELF und Feldstärken von 0 (Scheinexposition), 10 μ T (micro-Tesla) und 1 mT (milli-Tesla) exponiert.

Die Nachkommen werden im entsprechenden ELF-Feld geboren und fortlaufend bis zu den drei Untersuchungszeitpunkten (7, 14, 28 Tage) befeldest. Tabelle 1 zeigt die Anzahl der männlichen (m) und weiblichen (w) Mäuse, die drei Untersuchungszeitpunkte (Tage pp, post partum – nach der Geburt) und die unterschiedlichen Expositionsszenarien (Feldstärken in milli-Tesla).

Tabelle 1: Versuchsdesign

Untersuchungszeitpunkt (Tage pp)	Anzahl ETV6-RUNX1-Jungtiere (m / w)	Feldstärke [mT]
7	20 / 20	0
	20 / 20	0,01
	20 / 20	1
	20 / 20	Käfigkontrolle
14	20 / 20	0
	20 / 20	0,01
	20 / 20	1
	20 / 20	Käfigkontrolle
28	20 / 20	0
	20 / 20	0,01
	20 / 20	1
	20 / 20	Käfigkontrolle
Gesamtzahl Jungtiere	240 / 240	
Gesamtzahl Muttertiere	120	

3.2 IMMUNOLOGIE

Die Wirkung der prä- und postnatalen ELF-MF-Exposition an den Jungtieren soll anhand von Blut- und Immunzelluntersuchungen im Vergleich sowohl zu scheinexponierten als auch Käfig-Kontrolltieren überprüft werden. Dabei wird der Fokus auf die Charakterisierung eines möglicherweise geschwächten oder mangelhaft ausgebildeten Immunsystems gelegt. Es werden Untersuchungen zur Hämatologie, Immunhistopathologie, Immunstatus und Immunphänotypisierung in verschiedenen Organen wie Blut, Milz, Knochenmark und Thymus durchgeführt.

4. DURCHFÜHRUNG

4.1 ABSTIMMUNG DER (TIER-)EXPERIMENTELLEN UNTERSUCHUNGEN

Die finale Festlegung des Versuchsdesigns (Tab. 1) erfolgte bei einem Projekttreffen am BfS. Es werden drei Feldstärken an drei Untersuchungszeitpunkten anhand der ETV6RUNX1-Maus-Hybriden untersucht.

4.2 WIEDERAUFBAU DER EXPOSITIONSANLAGE

Es erfolgte eine Bestandsaufnahme mit Festlegung der notwendigen Soft- und Hardwareaktualisierung der Befeldungstechnik durch Mitarbeiter der Firma IMST GmbH (Kamp-Lintfort) am Fraunhofer ITEM.

4.3 ANTRAG AUF GENEHMIGUNG FÜR DAS TIERVERSUCHSVORHABEN

Es wurde ein Antrag zur Genehmigung eines Tierversuchsvorhabens gem. Tierschutzgesetz beim Niedersächsischen Landesamt für Verbraucherschutz und Lebensmittelsicherheit gestellt; dieser wurde im August 2017 genehmigt.

4.4 AUFBAU EINER MÄUSEZUCHT

Eine Zuchtkolonie wurde nach Lieferung von transgenen (tg) Zuchtmäusen vom Instituto de Biología Molecular y Celular del Cáncer (IBMCC), Salamanca, Spanien, und non-tg-Hybridmäusen vom The Jackson Laboratory, Bar Harbor, USA, etabliert. Erste Würfe mit jeweils 6 - 9 Jungtieren wurden bereits am Fraunhofer ITEM geboren.

4.5 ETABLIERUNG DER ANALYSENTECHNIK ZUR GENOTYPISIERUNG DER MÄUSE

Die Analysetechnik zur Unterscheidung von transgenen und nicht-transgenen Wurfgeschwistern (Genotypisierung der Zucht- und Jungtiere) wurde am ITEM eingerichtet.

4.6 Festlegung der immunologischen Untersuchungen an der Maus

Zur Immunphänotypisierung des Blutes juveniler Mäuse muss zunächst ein passendes Panel an Immunmarkern zusammengestellt und etabliert werden, um den Immunstatus einer Maus bei sehr geringen terminalen Blutvolumen (ca. 100 µl) komplett abbilden zu können. In der Sektion der Tiere werden die Organe für eine entsprechende (immun)histologische Untersuchung entnommen.

5. ERGEBNISSE

Ergebnisse liegen bei diesem tierexperimentellem Vorhaben erst gegen Ende vor.

6. GEPLANTE WEITERARBEIT

- Expansion der Zuchtkolonie
- Implementierung der notwendigen Soft- und Hardware Expositionstechnik
- Definition des immunologischen Untersuchungspanels für juvenile Mäuse.

Thema			
Messung und Bewertung für die Allgemeinbevölkerung relevanter optischer Strahlenquellen: Abschätzung von Risiken für das Auge, insbesondere Blaulichtgefahr und Blendung			
Subject			
<i>Measurement and evaluation of optical radiation sources relevant for the general population: Estimation of risks for eye damage, in particular blue light hazard and glare</i>			
Kennzeichen	Beginn	Ende	Fördermittel
3617S82441	01.06.2017	28.02.2018	EUR 231.605,-
Forschungs- / Auftragnehmer			
Photometrik GmbH			
Projektleitung	Fachbetreuung BfS	verantwortlich für den Text	
Dr. W. Pepler	Dr. S. Lorenz / AG-SG 1.5	Dr. W. Pepler	

1. ZIELSETZUNG

Starke optische Strahlungsquellen wie Laserpointer, (Laser-)Taschenlampen, darunter Lampen, die als Mittel zur Selbstverteidigung durch Blendung des Angreifers beworben werden, Showlaser für den Heimgebrauch oder auch starke Fahrradlampen, Gartenlaser oder Nivellierlaser sind in großer Vielfalt auf dem Markt verfügbar. Werden Wirkungsschwellen überschritten, bestehen photochemische und ggf. thermische Gefährdungen für die Augen. Diese direkten Gefährdungen sowie indirekte Gefährdungen wie Blendung werden in diesem Projekt betrachtet.

2. EINZELZIELSETZUNG

In einem ersten Bearbeitungsschritt ist der vorliegende Stand von Wissenschaft und Technik für die Zwecke des Vorhabens aufzuarbeiten. Hierzu gehören insbesondere Ergebnisse bisheriger Untersuchungen (Literaturrecherche) und Empfehlungen nationaler und internationaler Gremien im Hinblick auf Grenzwerte und Risikobewertung (z. B. ICNIRP, SSK, CIE) bezüglich kohärenter und inkohärenter optischer Strahlungsquellen.

Im Rahmen des Projektes sind insgesamt 40 Geräte zu vermessen:

- 10 Laserpointer
- 15 Geräte aus den Kategorien Gartenlaser, Laserspiele („Lasertags“), Nivellierlaser und Showlaser, die für den Privatgebrauch verkauft werden
- 15 Geräte aus den Kategorien Fahrradlampen und leistungsstarke Taschenlampen (inkl. „Laser-Taschenlampen“).

Nach Abschluss des Arbeitspakets 2 liegen belastbare Daten zur Charakterisierung und Klassifizierung der beschafften Geräte, zur Bestimmung der maximalen Expositionsdauer sowie die erforderlichen Daten zur Bewertung von Risiken/Gefährdungen vor. Insbesondere sind Risiken für die Augen (photochemisch und thermisch) sowie mögliche Blendwirkungen zu betrachten.

Arbeitspaket 3 umfasst die Auswertung der Messungen, die Risikobewertung der untersuchten Strahlungsquellen sowie die Erstellung des Abschlussberichts.

3. METHODIK

Als erster Schritt wird durch eine tiefgreifende Literaturrecherche der aktuelle Stand der Gesetzgebung mit dem Stand der Normung als auch mit den aktuellsten wissenschaftlichen Erkenntnissen zur Wirkung optischer Strahlung auf menschliches Gewebe und die daraus folgenden Gefährdungspotentiale verglichen. Vor allem werden dabei die Schwächen und Lücken in der Gesetzgebung herausgearbeitet und Vorschläge zur Aktualisierung auf den neuesten Stand der Wissenschaft gemacht. Die Professoren Reidenbach und Goebel stehen als Experten mit langjähriger Erfahrung zur Verfügung.

Neben den direkten Gefährdungen durch sichtbares Licht existiert auch eine mögliche indirekte Gefährdung über die Blendung von Personen. Die aktuelle Blendungsliteratur wird im Hinblick auf mögliche Gefährdungen

für Privatanwender, vor allem in Situationen abseits des sachgemäßen Gebrauchs, aufgearbeitet und zusammengefasst.

Im Rahmen des Projekts werden insgesamt 40 Geräte ausgewählt und vermessen. Die Auswahl beschränkt sich dabei auf Geräte, die für den Privatgebrauch verfügbar sind und über entsprechende Kanäle vertrieben werden. Nach der Beschaffung der gewählten und vom Auftraggeber genehmigten Geräte werden die Muster charakterisiert und die Kennzeichnung auf Korrektheit in Bezug auf geltende Regelungen überprüft.

4. DURCHFÜHRUNG

Die Messung der ausgewählten Geräte wird nach gültigen Normen und Vorschriften zur Risikobewertung optischer Strahlung durchgeführt. Alle kohärenten Lichtquellen werden der DIN EN 60825-1:2015 und DIN EN 60825-13:2011 entsprechend charakterisiert; die inkohärenten Lichtquellen entsprechend der DIN EN 62471:2008, DIN EN 62471 Beiblatt 1:2010 und IEC/TR 62778:2014.

Alle Taschenlampen werden zusätzlich entsprechend der ANSI FL1-2009 vermessen, um die Herstellerangaben zu überprüfen und die Leistungsfähigkeit bewerten zu können. Fahrradlampen werden zusätzlich nach den technischen Anforderungen nach § 22a der StVZO vermessen. Hiermit kann die Eignung für den öffentlichen Straßenverkehr als auch die Blendungsbegrenzung bestimmt werden.

Die Lasertaschenlampen werden als kohärente Strahlungsquellen nach den entsprechenden Normen charakterisiert. Zusätzlich werden sie auch der Prüfung nach der DIN EN 62471:2008 für inkohärente Quellen unterzogen.

5. ERGEBNISSE

Die Literaturstudie wurde erstellt.

6. GEPLANTE WEITERARBEIT

Die vermessenen Geräte werden nach einschlägigen Normen und Grenzwertempfehlungen bewertet und Laserklassen/Risikogruppen entsprechend der jeweiligen Norm zugeordnet. Die Angaben der Hersteller werden mit den gewonnenen Messergebnissen verglichen und der Grad der Übereinstimmung diskutiert.

Die Lasertaschenlampen werden sowohl in Bezug auf die Normen für kohärente als auch inkohärente Lichtquellen bewertet und die möglichen Unterschiede in der Risikobewertung diskutiert. Auch werden die angegebenen Grenzwerte auf Grundlage der Literaturrecherchen diskutiert.

Für die entsprechenden Prüfmuster sollen im Rahmen der Arbeit spezifische Anwendungsszenarien bezüglich der Blendung erarbeitet werden, um sowohl eine typische Betrachtungssituation als auch eine Worst-Case-Situation zu definieren. Nach Abschluss der messtechnischen Charakterisierung der ausgewählten Lichtquellen werden die Daten ausgewertet und einer Risikobewertung unterzogen. Anschließend kann der Schlussbericht erstellt werden.

Thema			
Kosmetik, Wellness und die Gesundheit - EMF-Quellen außerhalb der Medizin. Systematische Erfassung und Charakterisierung von hoch- und niederfrequenten Quellen einschl. Ultraschall im gewerblichen Bereich und in der Anwendung für zuhause			
Subject			
<i>Cosmetics, wellness and health - EMF sources outside medicine. Systematic acquisition and characterisation of high and low frequency sources including ultrasound in commercial and consumer applications</i>			
Kennzeichen	Beginn	Ende	Fördermittel
3617S82444	01.08.2017	31.07.2018	EUR 159.639,-
Forschungs- / Auftragnehmer			
FSM - Forschungsstiftung Strom und Mobilkommunikation, c/o ETH Zürich			
Projektleitung	Fachbetreuung BfS	verantwortlich für den Text	
Dr. G. Dürrenberger	C. Egblomassé-Roidl / AG-SG 1.4	Dr. G. Dürrenberger Dr. J. Fröhlich	

1. ZIELSETZUNG

Medizinische Geräte unterliegen strengen Vorgaben und Prüfungen bevor sie am Menschen angewendet werden können. Solange Geräte nicht als Therapie- oder Diagnoseanwendung deklariert sind unterliegen sie den sonstigen Produktvorschriften und können so auf den Markt gebracht werden. Zunehmend werden EMF-Quellen und Ultraschall emittierende Geräte zu kosmetischen Zwecken oder im Wellness-Bereich eingesetzt. Auch für private Nutzungen werden solche Geräte üblich. Für diese Art Anwendungen ist nicht immer klar, ob damit - und allenfalls für welche Nutzergruppen - gesundheitliche Gefährdungen verbunden sind. Deshalb ist eine systematische Erfassung und Charakterisierung der Geräte und ihrer Anwendungen sinnvoll, sowohl als behördliches „Frühwarnsystem“ als auch als Informationsbasis zur Erarbeitung von Verordnungen und Empfehlungen zu Händen von Anwendern oder weiteren Akteuren außerhalb des medizinischen Bereichs.

2. EINZELZIELSETZUNG

2.1 ÜBERSICHT UND CHARAKTERISIERUNG DER ANWENDUNGEN

Durch Auswertung verfügbarer Informationen soll erstens ein Überblick über die relevanten Anwendungen (EMF und Ultraschall) erstellt werden. Zweitens sollen die Anwendungen beschrieben und die Strahlungsquellen so weit wie möglich technisch charakterisiert werden. Drittens sollen Abschätzungen zur Verbreitung und zur Expositionsrelevanz durchgeführt werden.

2.2 GESUNDHEITLICHE RISIKEN UND REGULIERUNGSBEDARF

Aus 2.1 wird eine Charakterisierung potenzieller gesundheitlicher Risiken der einzelnen Anwendungen vorgenommen. Vor diesem Hintergrund und der Analyse der Konformität der Geräte mit den relevanten gesetzlichen Regelungen und Normen wird ein eventueller (auch behördlicher) Handlungsbedarf abgeleitet.

3. METHODIK

3.1 DATENBESTÄNDE

3.1.1 Hersteller und Produkte

Angaben zu Herstellern und Produkten in den verschiedenen Anwendungskategorien werden zusammengestellt. Es wird keine umfassende Marktanalyse durchgeführt. Primär geht es um zwei Aspekte:

- für den Konsumenten relevante Geräte zusammenzustellen und
- hinsichtlich möglicher Nebenwirkungen relevante Gerätetypen (Geräteklassen) zu identifizieren.

Es werden auch Kombigeräte, also solche, die verschiedene Technologien in einer Apparatur vereinen, in die Analysen miteingeschlossen. Die Recherche wird via Internet von zwei Personen parallel durchgeführt. Wenn keine wesentlich neuen Erkenntnisse durch weitere Geräte einer Anwendungskategorie erwartet werden oder sich trotz anhaltender Suche keine weiteren Treffer (bzw. Duplikate/Wiederholungen) einstellen, wird abgebrochen.

3.1.2 Standards und Normen

Die relevanten Standards und Normen werden zusammengestellt und, soweit sie für diesen Bericht relevant sind, kommentiert. Dabei wird auch auf die vorgesehene Anpassung der Medical Device Directive (MDD) zur Medical Device Regulation (MDR) Bezug genommen. Mit dieser Änderung werden die Anforderungen an das Reporting von Medizinprodukten deutlich erhöht. Es wird auch geprüft, ob in relevanten Gremien Normierungsprojekte in Vorbereitung sind.

3.1.3 Wissenschaftliche Publikationen

Hinsichtlich möglicher gesundheitlicher Risiken werden in einer nicht-systematischen Literaturrecherche wissenschaftliche Artikel zu Wirkungen von Wellness- und Kosmetik-Anwendungen bzw. von medizinischen Anwendungen, welche dieselbe/verwandte Technologien nutzen, identifiziert. Da für medizinische Anwendungen häufig klinische Studien vorliegen, können entsprechende Artikel Hinweise auf mögliche Nebenwirkungen, Schwellenwerte, sensible Personengruppen (demographische, physiologisch) und personenseitige Maßnahmen (Anforderungen an den Einsatz der Geräte an Patienten) liefern, die für die Beurteilung der Risiken im Wellness und Kosmetikeinsatz nützlich sein dürften. Die Ergebnisse dieser Literaturrecherche fließen auch in die Identifizierung des Forschungsbedarfs ein.

3.1.4 Meldungen von Organisationen

Es wird eine Umfrage bei wichtigen Kosmetik- und Wellness-Organisationen in Deutschland und der Schweiz durchgeführt, in der nach Meldungen zu gesundheitlich negativen Erfahrungen mit den hier untersuchten Geräten und Anwendungen gefragt wird.

3.1.5 Informationen aus sozialen Medien

Es wird davon ausgegangen, dass Nutzer, die mit einem Produkt unzufrieden sind, weil sich nicht gravierende sondern „bloß“ lästige Nebenwirkungen zeigten, nicht bei Ärzten, amtlichen Meldestellen, Konsumentenorganisationen oder Herstellern melden, sondern ihre Erfahrungen, wenn überhaupt, eher in den sozialen Medien kundtun, inklusive den Websites von Internethändlern. Im Rahmen des Projektes werden deshalb auch in diesen Medien nach Berichten zu Erfahrungen und Nebenwirkungen der relevanten Kosmetik- und Wellnessanwendungen gesucht.

3.2 CHARAKTERISIERUNG THERAPIEVERFAHREN

3.2.1 Technologiematrix

Es wird unterschieden zwischen EMF, Schall und Plasma. Die meisten Anwendungen betreffen elektromagnetische Felder. In diesem Bereich wird unterschieden zwischen den vier Wirkprinzipien: Stromfluss, elektrisches Feld, Magnetfeld und (hochfrequentes) elektromagnetisches Feld. Im ersten Fall ist der Körper über Elektroden galvanisch mit der EMF- bzw. Strom-Quelle verbunden. Im zweiten Fall wird der Körper kapazitiv an ein elektrisches, im dritten Fall induktiv an ein magnetisches Feld gekoppelt. Bei der hochfrequenten Wirkung wird das Gewebe gegenüber einem elektromagnetischen Feld mit einer Frequenz über 100 kHz exponiert. Für die konkreten Therapien/Anwendungen werden unterschiedliche Signale verwendet. Hinsichtlich Träger werden sowohl Gleichfelder (0 Hz) als auch Wechselfelder unterschiedlicher Frequenzen eingesetzt. Folgende (teilweise sich überlappende) Frequenzfenster werden grob unterschieden: 0 Hz, 100-2000 Hz, 1-10 kHz, 10-500 kHz, >1 MHz. Die Trägerwellen werden meist nicht kontinuierlich abgegeben, sondern in Form von Pulsen, wobei Einzelpulse zu „Pulspaketen“ gebündelt und intermittierend eingesetzt werden. Die Wiederholungsraten dieser Pakete liegen in den Bereichen 1-20 Hz, 20-200 Hz, 200-2000 Hz, 100-300 kHz, u. a. abhängig von der Trägerfrequenz.

3.2.2 Anwendungsfelder

Die technisch spezifizierten Gerätetypen können hinsichtlich ihrer Verwendung in Kosmetik und Wellness nach Einsatzfeldern unterschieden werden. Im Vordergrund stehen hier folgende Kategorien: Nerven des ZNS, periphere Nerven/Schmerz, Haut, Muskeln, Haare, Gewebe lokal, Körper allg.

3.2.3 Nebenwirkungen

Die gefundenen Nebenwirkungen der verschiedenen Therapieformen/Anwendungen werden nach Quellen (Beleg aus Literatur, Register oder Social Media) sortiert, versehen mit einem Urteil hinsichtlich eines eventuellen Handlungsbedarfs seitens BfS bzw. Aufsichtsbehörden. Voraussichtlich wird zwischen 4 Evidenzkategorien unterschieden. Als Ausgangspunkt dient die Einteilung der Internationalen Krebsforschungsagentur der WHO (IARC), die von ihr verwendeten Kategorien werden für diesen Bericht in folgender Weise definiert:

- nachgewiesen: wenn Nebenwirkung durch wissenschaftliche Studien (Literatur) belegt und bei den relevanten Expositionen der Anwendungen im nicht-medizinischen Bereich möglich sind
- limitiert nachgewiesen: mehrfache, teilweise gut dokumentierte bzw. glaubwürdige Beschreibungen aus Registern und/oder Social Media
- inadäquat nachgewiesen: vereinzelte, nicht ausreichend dokumentierte Hinweise aus Registern oder Social Media
- keine Nebenwirkungen bekannt: Fehlen von ernstzunehmenden Hinweisen in Literatur, Registern und Social Media.

4. DURCHFÜHRUNG

4.1 ABGRENZUNG

Die Triage zwischen Geräten für medizinische Anwendungen und solchen für nicht-medizinische (gewerbliche, häusliche) Einsätze ist nicht immer glasklar. Das Kriterium der Zulassung eines Produkts als Medizingerät bedeutet nicht automatisch, dass es nur von Ärzten und/oder anderem medizinisch ausgebildeten Personal eingesetzt wird/werden kann.

Ausgeschlossen sind rein medizinische EMF-Anwendungen wie RF-Ablation, Elektroporation, Implantate (Herzschrittmacher etc.) oder andere mit implantierten Elektroden arbeitende Verfahren (Vagusnerv-Stimulation zur Behandlung von Epilepsie, Depression, Migräne etc.; Deep Brain Stimulation zur Behandlung von chronischen Schmerzen, Depression, Parkinson, etc.). Sodann wurden auch diagnostische Geräte, die Elektroden und Antennen nicht als Quelle, um Körperfunktionen zu beeinflussen, sondern als Rezeptoren, um bioelektrische Signale aufzuzeichnen, nicht in die Analyse mit eingeschlossen - insbesondere das EEG und das EKG.

Transkranielle Gleichstromstimulation (tDCS) bzw. Wechselstromstimulation (tACS), die beide nicht-invasiv über am Schädel befestigte Elektroden das Gehirn stimulieren, wurden dagegen in die Liste der Anwendungen aufgenommen, da es denkbar ist, dass in näherer Zukunft solche Geräte für den Heimgebrauch angeboten werden.

Im Falle unklarer Anwendungen wurde der Kaufpreis als ein Selektionskriterium verwendet, im Wissen, dass es eine Grauzone gibt, in der eine Zuteilung auch anders hätte ausfallen können. Geräte, die mehr als 5 000 Euro kosten (die Grenze ist nicht als strikt eingehaltene Zahl zu interpretieren), wurden nicht für diese Studie zu Wellness und Kosmetikanwendungen berücksichtigt.

4.2 KENNTNISSTAND

Geräte und Charakteristika (z. B. hinsichtlich Wellenlänge, Leistung, Strahlungsstärke, Periodizität, Bestrahlungszeit etc.) einer Vielzahl unterschiedlicher Produkte und Technologien sowie der wichtigsten Anwendungsgebiete wurden aufgelistet. Wichtige Untersuchungen und Ergebnisse anderer Stellen (abgeschlossene sowie laufende Arbeiten, Literaturrecherche) sollen berücksichtigt werden, ebenso aktuelle Beratungen in einschlägigen nationalen und internationalen Gremien, z. B. Standardisierungsgremien. Sodann sollen Bewertungsmaßstäbe, die dem Vorhaben zu Grunde gelegt werden können, dargestellt bzw. definiert werden. Für die Erreichung dieser Ziele sind folgende Schritte vorgesehen:

- Online-Marktrecherche zur Zusammenstellung und Klassifizierung relevanter Geräte
- online-Recherche und Kontaktaufnahme mit Vertretern von Standardisierungsgremien etc. zu geltenden Direktiven, Standards und Normen sowie zu laufenden oder geplanten Arbeitsgruppen in diesem Feld
- Literaturrecherche zu Studien (Reports, Papers) über Belastungen durch Geräte und Identifizierung von Wissenslücken
- Erarbeitung eines Klassifizierungsschemas zur Bewertung der möglichen Risiken.

4.3 GESUNDHEITSRISIKEN

Es wird untersucht, ob und zu welchen Gesundheitsschäden es durch die ausgewählten Geräte gekommen ist. Da nicht jeder Schadensfall gemeldet ist, wird mit einer sehr unvollständigen „amtlichen“ Erfassung - z. B. Melderegister - gerechnet. Auch Schädigungen durch unsachgemäße (zweckentfremdete) Nutzungen werden, soweit bekannt, berücksichtigt. Recherchen werden auch bei den Gewerbeaufsichtsämtern und Verbraucherinstituten durchgeführt. Um einen Überblick über eventuelle Gesundheitsschädigungen zu erhalten, werden auch die Sozialen Medien in die Recherche mit einbezogen. Folgende Teilschritte sind definiert:

- Online-Recherche zu vorhandenen Melderegistern
- Online- und Telefon-Recherche bzw. Umfrage bei relevanten Institutionen (Verbänden, Verbraucher, etc.)
- Recherche in den sozialen Medien
- Zusammenfassung und Klassierung der gefundenen Schadensfälle und Fallbeschreibungen inklusive Identifizierung von nicht erfassten möglichen Risiken für die Bevölkerung auf Grund der Literaturrecherche.

4.4 EMPFEHLUNGEN

Es wird eine für Laien verständliche Tabelle mit den wichtigsten Projektergebnissen erstellt. Zudem werden Empfehlungen für den Umgang mit den untersuchten Anwendungen gegeben, auch zielgruppenspezifisch.

5. ERGEBNISSE

Es liegen erst Zwischenergebnisse vor. Sie werden in diesem Report nicht systematisch und materiell dargestellt, sondern es sollen einige ausgewählte Aspekte skizziert werden, um den Projektstand zu illustrieren.

5.1 QUELLEN UND ANWENDUNGEN

Es wurden insgesamt 21 Anwendungen unterschieden: transkranielle Gleichstromstimulation (tDCS), transkranielle Wechselstromstimulation (tACS), Transkutane Elektrische Nervenstimulation (TENS), Elektrische Muskelstimulation (EMS), Magnetfeldstimulation (MS), Microcurrent Electrical Neuromuscular Stimulation (MENS), Galvanic Treatment (GT), Pulsed Magnetic Field Therapy (PMFT), Pulsed Signal Therapy (PST), (repeated) Transkranielle Magnetfeldstimulation (TMS, rTMS), High Frequency Therapy (HFT), RF-Ablation (RFA), Diathermie (DT), TheraBionic Therapy (TB), Plasma Skin Regeneration (PSR), Cold Atmospheric Plasma (CAP), Ionenstrom (Ion), gepulste Ultraschall-Therapie (pUT), kontinuierliche Ultraschall-Therapie (cwUT), Sonographie (SG), Infrarot-Therapie (IT).

Zu diesen Anwendungen wurden folgende Informationen gesammelt (die Sammlung ist noch nicht abgeschlossen): kurze Beschreibung der Anwendung, Liste mit Herstellern und Produkten, technische Dokumente zu den Produkten (wo verfügbar), Indikationen (die Liste der generellen Anwendungsgebiete ist unter 3.2.2 gegeben, detaillierte Angaben sind unter „Indikationen“ gesammelt worden), Informationen zur Risiken und Nebenwirkungen. Sobald verfügbar werden die Resultate aus der Umfrage und der Recherche in den sozialen Medien betreffend Nebenwirkungen in diesen (letzten) Punkt eingebaut. Ergänzend werden auch noch wichtige Erkenntnisse aus der wissenschaftlichen Literatur hinsichtlich Risiken der Quellen/Anwendungen gelistet.

5.2 UMFRAGE UND REGISTER

Es wurden insgesamt 29 Organisationen angeschrieben. Von der Mehrheit der Organisationen liegen die Antworten bereits vor. Fälle von problematischen Nebenwirkungen sind den Organisationen keine bekannt / gemeldet worden.

Zusätzlich wurden auch 12 Zulassungsstellen angeschrieben. Die Rückmeldungen dieser Stellen sind noch ausstehend.

In der europäischen RAPEX (Rapid Alert System for dangerous non-food products)-Datenbank wurde folgende Suche nach Meldungen zu Problemen getätigt:

- Produktnutzer: consumer, professional
- Risikoniveau: serious, other

- Risikotyp: burns, cuts, damage to sight, electric shock, electromagnetic disturbance, health risk other, injuries
- Zeitraum: ab 2014.

Es wurden 852 Meldungen gefunden, ca. 40 (5 %) betrafen den Kosmetik-Wellness Bereich, fast alle gelisteten Mängel bezogen sich auf die elektrische Sicherheit, es gab keine relevante Meldung für die hier interessierende Fragestellung.

Das Bundesinstitut für Arzneimittel und Medizinprodukte listet Probleme in Zusammenhang mit der Anwendung von elektromagnetischen Feldern. Jährlich gehen über ein Dutzend solcher Meldungen aus dem medizinischen Anwendungsbereich ein. Es wird versucht die Basisinformationen zu dieser Statistik zu erhalten um die Relevanz dieser (oder verwandter) Therapien/Anwendungen für privaten und gewerblichen Einsatz abzuschätzen.

5.3 REGULIERUNG UND WISSENSCHAFTLICHE LITERATUR

Alle relevanten Normen und Standards zu EMF und Schall wurden gesammelt und hinsichtlich ihrer Bedeutung für die vorliegende Arbeit evaluiert. Bezüglich Geräten für Wellness und Kosmetik ist die Regulierungs- und Normenlage nicht eindeutig. Einige Neuerungen sind in den letzten Monaten beschlossen worden. Diesen Anpassungen wird nachgegangen, um die Auswirkungen auf die bestehende Praxis bei der Prüfung solcher Geräte abschätzen und die Normung abschließend auf dem heutigen Stand bewerten zu können. In diesem Zusammenhang wurden auch die momentan geltenden Grenzwerte zu EMF, Schall und Plasmaanwendungen zusammengetragen und kommentiert.

Zur Beurteilung der potenziellen Risiken wurde die wissenschaftliche Literatur gesichtet und ausgewertet. In dieser Literatur finden sich insbesondere medizinische/klinische Ergebnisse, die nicht direkt Gegenstand der Studie, für die generelle Risikoeinschätzung aber unverzichtbar sind.

6. GEPLANTE WEITERARBEIT

Die Fortsetzung der Arbeit besteht in der Vervollständigung der Materialsammlung zur Beschreibung der Anwendungen (s. 5.1). Sodann wird betreffende Umfrage (s. 5.2) einerseits auf die letzten Rückmeldungen gewartet, andererseits bei einigen wenigen ausgewählten Organisationen, die sich dazu bereit erklärt haben, ein öffentlicher Aufruf zur Meldung von Problemen mit Wellness- und Kosmetikgeräten geschaltet. Sodann wird bei Meldestellen um Hintergrundinformationen nachgefragt. Die Recherche in den sozialen Medien wird abgeschlossen und Befunde, so vorhanden, ausgewertet.

Insgesamt zeichnet sich gegenwärtig das Bild ab, dass weder bei einschlägigen Organisationen noch in den sozialen Medien viele Meldungen über Risiken oder Nebenwirkungen im Zusammenhang mit dem häuslichen oder gewerblichen Einsatz von EMF bzw. schallbasierten Wellness- und Kosmetikprodukten bekannt bzw. beschrieben sind. Eine definitive Lagebeurteilung kann aber erst nach Auswertung aller Datenquellen, die für dieses Projekt genutzt werden, gegeben werden.

Die Befunde werden tabellarisch zusammengefasst, um sie dem breiten Publikum in einfacher und verständlicher Weise zu kommunizieren.

2017 begonnene Forschungsvorhaben, zu denen noch keine Ergebnisse vorliegen

Research projects initiated in 2017 of which results are not available yet

THEMENBEREICH 01 / NATÜRLICHE STRAHLENEXPOSITION

Thema

Erarbeitung von DIN-Normen bez. baulicher Maßnahmen für den Radonschutz

Subject

Development of DIN-standards with regard to architectural measures for the radon protection

Kennzeichen

3617S12250

Beginn

01.12.2017

Ende

30.11.2018

Fördermittel

EUR 49.813,-

Forschungs- / Auftragnehmer

Institution, Ort Dr.J. Kemski Sachverständigenbüro, Bonn

Projektleitung

Dr. J. Kemski

Fachbetreuung BfS

Dr. W. Meyer / SW 1.1

ZIELSETZUNG / KURZBESCHREIBUNG

Ziel des Vorhabens ist die Unterstützung der Arbeit des Normenausschusses NA005-01-38GA „Radongeschütztes Bauen“ beim Deutschen Institut für Normung. Auf Grund der Heterogenität der vom Ausschuss gewünschten Zuarbeit wurde das Vorhaben in zwei Lose geteilt.

- Los 1: Erarbeitung von DIN-Normen bez. baulicher Maßnahmen für den Radonschutz, „Radon“ (3617S12250). Dieses Los ist vergeben. Die Erarbeitung einer Übersicht über vorhandene internationale Normen bzw. Bauvorschriften zu diesem Thema hat begonnen. Die Zwischenergebnisse werden in den ca. alle drei Monate stattfindenden Ausschusssitzungen dem Gremium vorgestellt und in diesem diskutiert. Es werden Schwerpunkte für das weitere Vorgehen festgelegt.
- Los 2: Erarbeitung von DIN-Normen bez. baulicher Maßnahmen für den Radonschutz, Los 2 „Materialien und Technik“ (3617S12251). Dieses Los wurde nicht vergeben, da kein wirtschaftliches Angebot abgegeben wurde.

THEMENBEREICH 02 / STRAHLENSCHUTZTECHNIK

Thema Verifizierung internationaler Berechnungen der individuellen Strahlendosis bei externer Umgebungsstrahlung			
Subject <i>Verification of international calculations of the individual radiation dose due to environmental exposures</i>			
Kennzeichen 3617S22252	Beginn 01.01.2018	Ende 31.12.2018	Fördermittel EUR 72.553,-
Forschungs- / Auftragnehmer Helmholtz Zentrum München			
Projektleitung M. Zankl	Fachbetreuung BfS Dr. A. Giussani / AG-SG 2.3		

ZIELSETZUNG / KURZBESCHREIBUNG

In einem Forschungsvorhaben, das vom Committee on Radiation Protection and Public Health der Nuclear Energy Agency (NEA/CRPPH) initiiert und betreut wird, werden Dosiskoeffizienten für externe Umgebungsstrahlung (Bodenstrahlung und Summation in Luft) für etwa 350 Voxelphantome, die Personen beiderlei Geschlechts, unterschiedlichen Alters und unterschiedlicher Statur (Körpergröße und Körpergewicht) repräsentieren, berechnet. Damit soll es möglich sein, individuelle Dosiswerte für Einzelpersonen der Bevölkerung zu berechnen, deren Statur nicht der der Referenzpersonen entsprechen. Dabei werden die Voxel-Phantome durch Inter- bzw. Extrapolation aus den Referenz-Voxel-Phantomen der ICRP erstellt.

Ziel des Vorhabens ist es, die Berechnungen aus dem NEA/CRPPH-Vorhaben anhand von zehn Voxelphantomen, die aus Bildern von Personen unterschiedlichen Alters und unterschiedlicher Statur erstellt wurden, mit dem selben Strahlungsfeld, das im NEA/CRPPH-Vorhaben verwendet wird, zu verifizieren. Diese Berechnungen sind zum einen eine Qualitätskontrolle der NEA/CRPPH-Berechnungen und zeigen zum anderen auf, welche Unsicherheiten mit der Verwendung von durch Inter- und Extrapolation gewonnenen Voxel-Phantomen verknüpft sind.

THEMENBEREICH 04 / MEDIZINISCHE STRAHLENEXPOSITION / RÖNTGENVERORDNUNG

Thema			
Betrieblicher Umgang mit (bedeutsamen) Vorkommnissen bei medizinischen Anwendungen radioaktiver Stoffe in der Nuklearmedizin und praktische Erprobung der Meldekriterien			
Subject			
<i>Operational handling of relevant accidental and unintended exposures in nuclear medicine and testing of the notification criteria</i>			
Kennzeichen 3617S42332	Beginn 01.01.2018	Ende 31.12.2019	Fördermittel EUR 190.439,-
Forschungs- / Auftragnehmer			
Städtisches Klinikum Braunschweig gGmbH, Braunschweig			
Projektleitung M. Borowski		Fachbetreuung BfS Dr. A. Schegeger / AG-SG 2.3	

ZIELSETZUNG / KURZBESCHREIBUNG

Ziel des Vorhabens ist die systematische Erfassung und Bewertung von (bedeutsamen) Vorkommnissen und Beinahe-Vorkommnissen bei der Anwendung radioaktiver Stoffe am Menschen in der Medizin. Hierzu sind Ereignisse bzw. Ereignisabläufe in verschiedenen strukturierten medizinischen Einrichtungen zu erfassen, die entweder zu einer unerwarteten Strahlenreaktion oder zu einer unbeabsichtigten Abweichung von der im Rahmen der rechtfertigenden Indikation festgelegten medizinischen Strahlenanwendung geführt haben. Dazu gehören nicht nur Strahlenanwendungen, bei denen die dosisrelevanten Parameter vorab definierte Toleranzschwellen überschreiten. Andere, ebenfalls zu erfassende Vorkommnisse sind beispielsweise nicht indizierte Mehrfachanwendungen radioaktiver Substanzen, die Behandlung des falschen Körperabschnitts, Abweichungen bei der Zuordnung unmittelbar behandlungsrelevanter Daten zum Patienten, Verlust relevanter Bilddaten, Patientenverwechslungen, unerlaubter Aufenthalt von Personen im Kontrollbereich, falsche Eingabe von Steuerungsparametern, falsche Dosisberechnungen oder sich auf die Patientenexposition auswirkende Software- oder Gerätefehler. Neben Vorkommnissen sind während des Vorhabens auch Beinahe-Vorkommnisse zu erfassen. Die im Rahmen des Vorhabens zu erfassenden Vorkommnisse sind so breit zu definieren, dass sie alle bedeutsamen Vorkommnisse gemäß den vom Bundesamt für Strahlenschutz (BfS) erarbeiteten Meldekriterien (BfS-Meldekriterien) umfassen.

Zur Bewertung von Vorkommnissen und Beinahe-Vorkommnissen gehören neben der Analyse von Ursachen und begünstigender Faktoren auch Dosisabschätzungen sowie die Umsetzung praxistauglicher und an die Strahlenwirkung angepasster Gegenmaßnahmen zur Vermeidung von Vorkommnissen bzw. zur Behebung oder Begrenzung von Strahlenwirkungen. Die Bewertungen von Vorkommnissen und Beinahe-Vorkommnissen sollten in den am Vorhaben teilnehmenden Einrichtungen möglichst einheitlich ablaufen. Die Probleme, die bei der Erfassung und Bewertung von Vorkommnissen und Beinahe-Vorkommnissen auftreten können, sind zusammen mit Lösungsvorschlägen aufzuzeigen. Die im Rahmen des Vorhabens entwickelten Konzepte und gesammelten Erfahrungen sind in Leitfäden zusammenzufassen.

Thema			
Betrieblicher Umgang mit (bedeutsamen) Vorkommnissen bei medizinischen Anwendungen ionisierender Strahlung in der Röntgendiagnostik und interventionellen Radiologie und praktische Erprobung der Meldekriterien			
Subject			
<i>Operational handling of relevant accidental and unintended exposures in diagnostic and interventional radiology and testing of the notification criteria</i>			
Kennzeichen 3617S42333	Beginn 01.01.2018	Ende 31.12.2019	Fördermittel EUR 309.512,-
Forschungs- / Auftragnehmer Klinikum Nürnberg			
Projektleitung M. Wucherer	Fachbetreuung BfS Dr. A. Schegeger / AG-SG 2.3		

ZIELSETZUNG / KURZBESCHREIBUNG

Ziel des Vorhabens ist die systematische Erfassung und Bewertung von (bedeutsamen) Vorkommnissen und Beinahe-Vorkommnissen bei der Anwendung ionisierender Strahlung am Menschen in der Medizin. Hierzu sind Ereignisse bzw. Ereignisabläufe in verschiedenen strukturierten medizinischen Einrichtungen zu erfassen, die entweder zu einer unerwarteten Strahlenreaktion oder zu einer unbeabsichtigten Abweichung von der im Rahmen der rechtfertigenden Indikation festgelegten medizinischen Strahlenanwendung geführt haben. Dazu gehören nicht nur Strahlenanwendungen, bei denen die dosisrelevanten Parameter vorab definierte Toleranzschwellen überschreiten. Andere, ebenfalls zu erfassende Vorkommnisse sind beispielsweise nicht indizierte Mehrfachbestrahlungen, die Bestrahlung des falschen Körperabschnitts, Abweichungen bei der Zuordnung unmittelbar behandlungsrelevanter Daten zum Patienten, Verlust relevanter Bilddaten, Patientenverwechslungen, unerlaubter Aufenthalt von Personen im Kontrollbereich, falsche Eingabe von Steuerungsparametern, falsche Berechnung der Bestrahlungsplanung oder sich auf die Patientenexposition auswirkende Software- oder Gerätefehler. Neben Vorkommnissen sind während des Vorhabens auch Beinahe-Vorkommnisse zu erfassen. Die im Rahmen des Vorhabens zu erfassenden Vorkommnisse sind so breit zu definieren, dass sie alle bedeutsamen Vorkommnisse gemäß den vom Bundesamt für Strahlenschutz (BfS) erarbeiteten Meldekriterien (BfS-Meldekriterien) umfassen.

Zur Bewertung von Vorkommnissen und Beinahe-Vorkommnissen gehören neben der Analyse von Ursachen und begünstigender Faktoren auch Dosisabschätzungen sowie die Umsetzung praxistauglicher und an die Strahlenwirkung angepasster Gegenmaßnahmen zur Vermeidung von Vorkommnissen bzw. zur Behebung oder Begrenzung von Strahlenwirkungen. Die Bewertungen von Vorkommnissen und Beinahe-Vorkommnissen sollten in den am Vorhaben teilnehmenden Einrichtungen möglichst einheitlich ablaufen. Die Probleme, die bei der Erfassung und Bewertung von Vorkommnissen und Beinahe-Vorkommnissen auftreten können, sind zusammen mit Lösungsvorschlägen aufzuzeigen. Die im Rahmen des Vorhabens entwickelten Konzepte und gesammelten Erfahrungen sind in Leitfäden zusammenzufassen.

Thema			
Evaluation der Brustkrebsmortalität im deutschen Mammographie-Screening-Programm - 1. Teil der Hauptstudie			
Subject			
<i>Evaluation of breast cancer mortality in the German mammography-screening-program - main study I</i>			
Kennzeichen	Beginn	Ende	Fördermittel
3617S42402	01.01.2018	30.09.2020	EUR 1.043.155,-
Forschungs- / Auftragnehmer			
Westfälische Wilhelms-Universität Münster, Institut für Epidemiologie und Sozialmedizin			
Projektleitung		Fachbetreuung BfS	
Dr. H. Wersching Prof. H. W. Hense		Prof. G. Brix / SG 2	

ZIELSETZUNG / KURZBESCHREIBUNG

Ziel der Gesamtstudie ist es, den Einfluss des deutschen Mammographie-Screening-Programms (MSP) auf die Brustkrebsmortalität zu evaluieren. Zunächst wurde in einer aufwändigen zweistufigen Machbarkeitsstudie ein Konzept entwickelt, wie die für die Evaluation notwendigen Daten angesichts der Komplexität des deutschen MSP sowie der strengen Datenschutzbestimmungen erhoben und anschließend ausgewertet werden können. Hierzu wurden verschiedene Modelle mit unterschiedlichen Datenkonzepten entwickelt. In ersten Testläufen wurden die Haupteinflussfaktoren bestimmt, die das Ergebnis verzerren können (z. B. Selektionsbias), und Konzepte für deren Berücksichtigung entwickelt. Im ersten Teil der im Januar 2018 begonnenen Hauptstudie sollen die Modelle „Epidemiologisches Krebsregister“ und „Gesetzliche Krankenversicherungsdaten (GKV-Daten)“ konkret umgesetzt werden. Der Schwerpunkt liegt hierbei auf der Überführung der in der Machbarkeitsphase unter technisch-organisatorisch Gesichtspunkten entwickelten Konzepte in einen Routinebetrieb, so dass eine kontinuierliche Datensammlung und -haltung erfolgen kann. Datenauswertungen werden zunächst nur in dem Maße durchgeführt, wie sie für die Gewährleistung valider Datensätze erforderlich sind. Ziel ist es, bis zum Ende des ersten Teils der Hauptstudie Datenbestände aufzubauen, die - nach einer weiteren Datensammelpphase im letzten Teil der Hauptstudie - eine wissenschaftlich belastbare Aussage zum Einfluss des MSP auf die Mortalitätsentwicklung ermöglichen.

Thema Erhebung von Häufigkeit und Dosis für nuklearmedizinische Untersuchungsverfahren			
Subject <i>Assessment of the frequency and the associated doses of nuclear medicine diagnostic examinations</i>			
Kennzeichen 3617S42443	Beginn 01.11.2017	Ende 31.10.2019	Fördermittel EUR 133.399,-
Forschungs- / Auftragnehmer Städtisches Klinikum Braunschweig gGmbH, Braunschweig			
Projektleitung Dr. M. Borowski	Fachbetreuung BfS A. Zvereva / AG-SG 2.3		

ZIELSETZUNG / KURZBESCHREIBUNG

Die Anwendung ionisierender Strahlung in der medizinischen Diagnostik trägt zu einem großen Teil zur Strahlenexposition der Bevölkerung bei. Die regelmäßige Ermittlung der medizinischen Strahlenexposition der Bevölkerung und ausgewählter Bevölkerungsgruppen nach § 85(5) StrSchV sowie die Erstellung von diagnostischen Referenzwerten (DRW) für nuklearmedizinische Untersuchungen nach § 81(2) StrSchV gehören zu den Aufgaben des Bundesamtes für Strahlenschutz. Für die Berichterstattung sowie die Aktualisierung der in der StrSchV geforderten DRW ist es notwendig, aktuelle Daten zur Häufigkeit nuklearmedizinischer Untersuchungsverfahren, der verwendeten Radiopharmaka, der applizierten Aktivitäten sowie der Alters- und Geschlechtsverteilung der Patienten zu erheben.

Die letzte Erhebung zu den in Deutschland durchgeführten nuklearmedizinischen Untersuchungen erfolgte für die Jahre 2007 und 2008. Die Ergebnisse wurden im Jahr 2011 in einem Abschlussbericht veröffentlicht. Diese Daten sind mittlerweile nicht mehr aktuell.

Ziel des Vorhabens ist es daher, die aktuelle Daten über die Häufigkeit nuklearmedizinischer Untersuchungsverfahren in Abhängigkeit von der Art, dem Alter der Patienten zum Zeitpunkt der Untersuchung sowie deren Geschlecht, den applizierten Radiopharmaka und Aktivitäten (ggf. in Abhängigkeit vom Patientengewicht) und möglichst auch den Versicherungsstatus der Patienten über 2 Jahre (2016 und 2017) zu erheben. Die Auswahl der zu beteiligenden nuklearmedizinischen Einrichtungen muss für Deutschland repräsentativ sein, d. h.

- Deutschland geographisch abdecken, so dass verschiedene Regionen berücksichtigt werden
- sowohl im großstädtischen als auch ländlichen Bereich liegen
- universitäre wie nicht-universitäre Kliniken sowie Praxen beinhalten.

Die erhobenen Daten werden zur Aktualisierung bestehender und die Festlegung neuer DRW in der Nuklearmedizin auf eine statistisch gesichertere Grundlage verwendet.

THEMENBEREICH 05 / RADIOÖKOLOGIE

Thema Erfassung der aktuellen Kontaminationssituation bei Wildschweinen in Deutschland			
Subject <i>Assessment of contamination levels of wild boar (Sus scrofa) in Germany</i>			
Kennzeichen 3617S52531	Beginn 01.10.2017	Ende 30.09.2020	Fördermittel EUR 258.248,-
Forschungs- / Auftragnehmer Dr. Fielitz Umweltanalysen, Hambühren			
Projektleitung Dr. U. Fielitz	Fachbetreuung BfS P. Hartmann / SW 1.6		

ZIELSETZUNG / KURZBESCHREIBUNG

Messungen an Wildschweinen im süddeutschen Raum belegen eine anhaltend hohe Cs-137-Kontamination bei gleichzeitig extremer Streuung der Messwerte. In den letzten Jahren wurden im Muskelfleisch von Wildschweinen Kontaminationen von über 10 000 Bq/kg Frischmasse gemessen. Auch außerhalb der hoch kontaminierten Gebiete kann ein erheblicher Anteil der gemessenen Wildschweinproben den Grenzwert für die Vermarktung von 600 Bq/kg Frischmasse überschreiten. Modellrechnungen prognostizieren im Mittel eine sehr langsame Abnahme der Wildschweinkontamination, können die aktuelle Kontaminationssituation wegen der extremen Variabilität der Messwerte jedoch nur eingeschränkt wiedergeben.

Im Rahmen des Forschungsvorhabens sollen aktuelle Daten zur Radiocäsium-Kontamination von Wildschweinen, zur Kontamination von Hirschtrüffeln und zur Verteilung der Tiergewichte der Wildschweine beim Abschuss erhoben werden, die es ermöglichen, das radioökologische Modell zur Wildschweinkontamination zu validieren. Durch die Berücksichtigung der Variabilität der Radiocäsiumaufnahme und der Tiergewichte soll die Vorhersagekraft des Modells für die Streuung der Kontaminationswerte verbessert werden.

Die Ergebnisse des Forschungsvorhabens ermöglichen es, gemäß den Anforderungen des Umweltinformationsgesetzes (UIG) die Öffentlichkeit in angemessenem Umfang aktiv und systematisch über die Umwelt zu unterrichten (§ 10 UIG). Ferner sind die erhobenen Daten Grundlage für die Entwicklung von Konzepten und Maßnahmen zur Überwachung von Höchstwerten der Radioaktivität in Lebensmitteln. Die Ergebnisse dienen unter anderem dazu, die künftigen Kosten durch kontaminationsbedingt nicht vermarktbares Wildbret abzuschätzen.

Thema			
Freigabekonzepte einer neuen Strahlenschutzverordnung nach Euratom-Grundnormen 2013 in der Anwendung			
Subject			
<i>Concepts for clearance according to a new radiation protection ordinance based on the Euratom Basic Safety Standards of 2013 in practice</i>			
Kennzeichen	Beginn	Ende	Fördermittel
4717E03510	01.09.2017	31.08.2020	EUR 456.928,-
Forschungs- / Auftragnehmer			
Gesellschaft für Anlagen- und Reaktorsicherheit (GRS) gGmbH, Köln			
Projektleitung		Fachbetreuung BfS	
Dr. A. Artmann		Dr. R. Merk / SW 1.6	

ZIELSETZUNG / KURZBESCHREIBUNG

Nicht bzw. leicht kontaminierte Materialien fallen in größeren Massen bei der Stilllegung und dem Abbau von kerntechnischen Anlagen oder in deutlich kleineren Massen in Medizin, Forschung oder dem Betrieb kerntechnischer Anlagen an. Diese Massen werden nach Durchlaufen eines in der Strahlenschutzverordnung geregelten behördlich genehmigten Freigabe- bzw. Herausgabeverfahrens zur Wieder- bzw. Weiterverwertung dem Stoffkreislauf zugeführt bzw. fachgerecht beseitigt.

Die Strahlenschutzverordnung unterscheidet dabei im § 29 grundsätzlich zwischen uneingeschränkter Freigabe und Freigabe mit einem spezifischen Entsorgungs- oder Verwertungsziel. Diese Regelung befindet sich im Einklang mit den IAEA Basic Safety Standards (BSS) und den EURATOM Basic Safety Standards zur Freigabe sowie zum „10 Mikrosievert Konzept“ der IAEA.

Im Rahmen dieses Forschungsvorhabens wird eine generische Bestandsaufnahme und Bewertung der Praxis vorgenommen, in wie weit die den Regelungen der neuen Verordnung zu Grunde liegenden Freigabekonzepte in der Anwendung zum Ausdruck kommen (Erfahrungsrückfluss). Für ausgewählte Freigabepfade werden die in der GRS vorhandenen fortschrittlichen Rechencodes eingesetzt, um Berechnungen von nuklidspezifischen Freigabewerten, wie sie in der Anlage III der Strahlenschutzverordnung angegeben sind, durchzuführen. Die Plausibilität der Ergebnisse soll durch Vergleichsrechnungen anderer Organisationen verifiziert werden.

THEMENBEREICH 07 / VORHABEN MIT ALLGEMEINER BEDEUTUNG FÜR DEN STRAHLENSCHUTZ

Thema			
Überarbeitung von technischen Strahlenschutznormen aus dem Bereich des Normenausschusses Materialprüfung (NMP) bzw. aus dem K967 des DKE			
Subject			
<i>Revision of technical radiation protection standards in the range of the Materials Testing Standards Committee (NMP) and from the working group K967 of the German Commission on Electrical Engineering</i>			
Kennzeichen	Beginn	Ende	Fördermittel
3617S72381	01.11.2017	30.09.2020	EUR 255.285,-
Forschungs- / Auftragnehmer			
DIN Deutsches Institut e. V., Berlin			
Projektleitung	Fachbetreuung BfS		
V. Seibicke	U. Häusler / AG-SG 2.6		

ZIELSETZUNG / KURZBESCHREIBUNG

Ziel dieses Vorhabens ist die Überarbeitung bzw. Anpassung der folgenden Normen:

- DIN 25422 (Aufbewahrung und Lagerung radioaktiver Stoffe - ...)
- DIN 25425 Reihe mit 5 Teilen (Radionuklidlaboratorien - ...)
- DIN 54115 Reihe mit 7 Teilen (Zerstörungsfreie Prüfung - Strahlenschutzregeln ...).

Diese Normen sollen im Hinblick auf Übereinstimmung mit den geltenden Rechtsvorschriften und dem Stand von Wissenschaft und Technik überprüft werden. Dabei sollen insbesondere auch die Anforderungen der neuen SEWD-Richtlinie des BMU berücksichtigt werden.

Zudem soll die frühzeitige und direkte Mitwirkung von deutschen Experten bei der internationalen Normung im Bereich „Strahlenschutz“ sichergestellt werden.

Dieses Vorhaben führt das bisherige Vorhaben 3614S70005 fort.

Thema			
Untersuchungen zur tätigkeitsbezogenen Strahlenexposition bei der mobilen Radiographie			
Subject			
<i>Survey of activity-related occupational dose exposure during mobile radiography</i>			
Kennzeichen 3617S72382	Beginn 01.10.2017	Ende 30.09.2020	Fördermittel EUR 167.857,-
Forschungs- / Auftragnehmer Brenk Systemplanung GmbH			
Projektleitung Dr. J. de Groot	Fachbetreuung BfS L. Kammerer/ SG 2.4		

ZIELSETZUNG / KURZBESCHREIBUNG

In Deutschland gibt es mehrere Tausend gültige Genehmigungen zum Umgang mit radioaktiven Stoffen nach § 7 StrlSchV sowie § 3 RöV. Hiervon sind ein erheblicher Teil Genehmigungen zur zerstörungsfreien Materialprüfung mittels mobiler Strahlenquellen oder mobiler Röntgeneinrichtungen (mobile Radiographie). Die Personendosen der in diesem Tätigkeitsfeld beschäftigten Personen sind im Vergleich zu anderen Tätigkeiten nach StrlSchV und RöV relativ hoch. Durch diese Tatsache und in Verbindung mit einem hohen Gefährdungspotential, das durch den ortsveränderlichen Umgang von radioaktiven Quellen entsteht, ist es sinnvoll, die Personendosiswerte in diesem Tätigkeitsbereich eingehender zu analysieren. Vergleichende Analysen von Expositionsdaten können je nach Detaillierungsgrad der ermittelten Daten Hinweise auf besonders dosisintensive Einsatzbereiche und Arbeitsabläufe im Rahmen der mobilen Radiographie geben. Zusätzlich sind aus den Daten Optimierungsempfehlungen hinsichtlich des radiologischen Arbeitsschutzes des Personals abzuleiten.

Das Projekt ist in fünf Arbeitspakete unterteilt:

- Identifikation von Arbeitsabläufen und Geräten der mobilen Radiographie (AP 1)
- Zusammenstellung der regulatorischen Anforderungen zur mobilen Radiographie (AP 2)
- Sammlung von Expositionsdaten des Personals, z. B. durch Auswertung der betrieblichen Dosiserfassung, zusätzlichen Messungen vor Ort oder aus Dosisdaten des Strahlenschutzregisters des BfS (AP 3)
- Aufbereitung und Auswertung von Meldungen über besondere Ereignisse und potenzielle Ereignisse, insbesondere bei Einsatz von hochradioaktiven Quellen (AP 4)
- Analyse der Daten hinsichtlich Angemessenheit und Wirksamkeit regulatorischer Anforderungen mit dem Ziel, den radiologischen Arbeitsschutz zu optimieren. Darüber hinaus sollen konkrete Hinweise zu möglichen geänderten Arbeitsabläufen, die zu Dosisersparungen führen, gegeben werden (AP 5).

Thema			
Entwicklung eines Dosimeters zur Messung der gesetzlichen Messgrößen Umgebungs-Äquivalentdosis $H^*(10)$ sowie Richtungs-Äquivalentdosis $H'(0,07)$, insbesondere für eine Photonenenergie unterhalb von 30 keV			
Subject			
<i>Development of a dose meter for dose-equivalent $H^*(10)$ and $H'(0,07)$, in particular for photon energies less than 30 keV</i>			
Kennzeichen 3617S72384	Beginn 01.01.2018	Ende 30.06.2019	Fördermittel EUR 192.059,-
Forschungs- / Auftragnehmer GWT-TUD GmbH, Dresden			
Projektleitung Dr. J. Henninger	Fachbetreuung BfS L. Kammerer / SG 2.4		

ZIELSETZUNG / KURZBESCHREIBUNG

Messgrößen für die Ortsdosis bzw. Ortsdosisleistung sind nach RöV § 2 Nummer 6 Buchstabe e und f die Umgebungs-Äquivalentdosis $H^*(10)$ sowie die Richtungs-Äquivalentdosis $H'(0,07)$ bzw. deren Leistung („gesetzliche Messgrößen“). Die Verankerung dieser Messgrößen im deutschen Strahlenschutzrecht setzt verbindliche Vorgaben aus Artikel 16 Buchstabe a i. V. m. Anhang II Teil E der Richtlinie 96/29/Euratom bzw. Artikel 13 der Richtlinie 2013/59/Euratom um. Die Verwendung früher genutzter Messgrößen, insbesondere der Photonen-Äquivalentdosis H_x , war nach RöV § 45 übergangsweise noch bis zum 31. Juli 2016 zulässig. Da auch nach Ablauf dieser Übergangsfrist im niedrigen Energiebereich unter 30 keV keine handhabbaren Messgerät auf dem Markt verfügbar sind, die in den gesetzlichen Messgrößen $H^*(10)$ sowie $H'(0,07)$ messen und zugleich über eine Bauartzulassung bzw. Konformitätsbewertung nach dem Mess- und Eichrecht verfügen, sind Übergangslösungen zur Ermittlung von Ortsdosis und Ortsdosisleistung zugelassen. Diese sind mit Ablauf der Frist zur Umsetzung der Richtlinie 2013/59/Euratom zum 06. Februar 2018 nicht mehr zulässig.

Im Rahmen des Forschungsvorhabens soll eine Verbesserung des Messgeräteangebots für spezielle, bisher nicht abgedeckte Bereiche herbeigeführt werden. Ziel ist es, ein in den gesetzlichen Messgrößen $H^*(10)$ sowie $H'(0,07)$ messendes Gerät (insbesondere für eine Photonenenergie unterhalb von 30 keV) konformitätsbewertet nach den Anforderungen des Mess- und Eichrechts konzeptionell zu entwickeln. Im Anschluss ist ein in realen Strahlungsfeldern geprüfter Prototyp herzustellen.

Verzeichnis der Abbildungen und Tabellen

ERGEBNISSE (ABSCHLUSSBERICHTE)

Themenbereich 01

Natürliche Strahlenexposition

Erstellung einer Bioprobandatenbank der an Lungenkrebs verstorbenen Wismutarbeiter aus dem Wismut Pathologiearchiv / **3614S10015**

Abbildung 1: DNA-Menge (A) und DNA-Reinheit (B) im Tumor- und Nicht-Tumormaterial 4

Abbildung 2: RNA-Menge (A), RNA-Reinheit (B) und RNA Integrity Number (RIN) (C) im Tumor- und Nicht-Tumormaterial 5

Ermittlung der Unsicherheiten der Strahlenexpositionsabschätzung in der Wismut-Kohorte - Teil I / **3616S12223**

Tabelle 1: Arbeitsbedingungen in der SAG/SDAG Wismut für die verschiedenen Arbeitsplätze und Perioden 12

Abbildung 1: Schematischer Überblick des Verfahrens der Expositionsabschätzung für den Abbau unter Tage in der Wismut-Kohorte 13

Tabelle 2: Bewertung der möglichen Quellen von Unsicherheiten in der Expositionsabschätzung für die Wismut-Kohorte 15

Ermittlung und Bewertung der Strahlenexposition an Arbeitsplätzen mit natürlich vorkommenden radioaktiven Stoffen (NORM) / **3616S12343**

Tabelle 1: Messtechnische Ausstattung für die durchgeführten Untersuchungen an Arbeitsplätzen 20

Tabelle 2: Angabe der Tätigkeitsfelder und der Anzahlen an Betrieben und Messtagen, die im Rahmen des AP 3 untersucht wurden 21

Tabelle 3: Tätigkeitsfelder mit der abgeschätzten Anzahl an Beschäftigten, die von NORM- Exposition betroffen sind und die ggf. von Expositionen > 1 mSv/Jahr betroffen sein können 22

Themenbereich 03

Strahlenbiologie - Wirkung von ionisierender und nichtionisierender Strahlung, Strahlenempfindlichkeit

Genomweite Analyse genetisch bedingter Strahlenempfindlichkeit in Wismut Bergarbeitern: Datenauswertung und Bewertung der Assoziationsanalysen / **3615S32253**

Abbildung 1: Manhattan-Plot der p-Werte von Multimarker-Modellen, korrigiert für multiples Testen gemäß des 2-stufigen Hybrid-Verfahrens (H2) von Murcay et al. mit $p = 0,5$ 37

Tabelle 1: GSEA: Übersicht der Ergebnisse (Auszug grenzwertig signifikanter Ergebnisse) 37

Themenbereich 04

Medizinische Strahlenexposition / Röntgenverordnung

Verbesserung der Inhalationsdosimetrie am Arbeitsplatz / 3614S40015

Abbildung 1: Foto der Sammelgeräte und Sammelorte neben dem Tschernobyl-KKW. Bei 1 ist ein Filtersammler (GRAD-1.8), bei 2 ein Impaktor (Andersen PM10), bei 3 ein Teil des künftigen Fundaments und bei 4 die neue Einhausung zu sehen.

43

Abbildung 2: Kaskaden-Impaktor (LPI 30, Fa. Hauke, Gmunden) für größenfraktioniertes Sammeln (links) und HiVol-Filtersammler (rechts im Vordergrund) zum Sammeln des Gesamtstaubes am Rand einer Wohnsiedlung in der Evakuierungszone von Fukushima

44

Abbildung 3: Versuchsaufbau für das Schweißen mit ThO₂ dotierten Elektroden: Filtersammler (1), Impaktor für größenfraktioniertes Sammeln (2), Absaugung (3), Aluminiumblock (4) und personengetragener Impaktor (5)

44

Abbildung 4: Die Luftaktivität von Cs-137 während der Bauphase im Herbst 2014 ist deutlich erhöht (Gesamtstaub gesammelt mit GRAD-1.8).

45

Tabelle 1: Charakteristische Parameter der Aktivitätsgrößenverteilung von Cs-137 mit angenommener Log-Normalverteilung (Andersen Sammler mit 5-stufigem Impaktor)

46

Abbildung 5: Ungelöster Anteil der Cs-137-Aktivität in Abhängigkeit der Extraktionszeit für die Filterfragmente g^{-32}_{-1} und g^{-32}_{-3} . Zum Vergleich sind die Werte des Kooperationspartners Dr. Garger mit eingezeichnet.

46

Abbildung 6: Aktivitätskonzentration von Cs-137 bei verschiedenen Dekontaminationsaktivitäten in der Fukushima-Sperrzone

47

Abbildung 7: Größenverteilung der Cs-137-Aktivität im Sperrgebiet von Fukushima (Meßort „T“, Dezember 2016) entsprechend der Sammelstufen des Impaktors

47

Themenbereich 05

Radioökologie

Messtechnische und modellbasierte Abschätzung des Eintrags von I-131 in die OSPAR-Regionen auf Grund der nuklearmedizinischen Anwendungen von Radioiod in Deutschland / 3614S50015

Tabelle 1: Ermittelte Kennzahlen von I-131 im Abwasser von Kläranlagen im Jahr 2016

58

Tabelle 2: Aus IMIS-Daten ermittelte Kennzahlen von I-131 im Abwasser von Kläranlagen

58

Tabelle 3: Messergebnisse von I-129 und I-127 im Abwasser der Kläranlage Hannover-Gümmerwald

58

Abbildung 1: Einwohnerbezogene Frachten in Oberläufen und Nebenflüssen

60

Abbildung 2: I-131 in Biomasse in Relation zur I-131-Konzentration der Gewässer

61

Themenbereich 06

Notfallschutz

Entscheidungsregeln bei kerntechnischen Unfällen: Anwendung von Entscheidungskonzepten für dringende Schutzmaßnahmen / **3615S62536**

Abbildung 1: Abgeleiteten Entscheidungsregeln für einen sehr schweren Unfall in einem Kernkraftwerk

66

Anpassung eines Entscheidungshilfesystems für die Zwecke der Nuklearspezifischen Gefahrenabwehr an neue Anforderungen in der urbanen Umgebung / **4716R01652**

(3616R01652)

Abbildung 1: Hauptfenster von LASAIR nach dem Programmstart

71

Abbildung 2: OSM-Karte mit dem Standort des Bundesamtes für Strahlenschutz in Salzgitter

71

Abbildung 3: Dreidimensionale Darstellung ausgewählter Gebäude

72

Abbildung 4: Darstellung der Karte mit weggeklappter Dokumentation

72

Abbildung 5: Ergebnisdarstellung

73

Themenbereich 08

Nichtionisierende Strahlung

Synergetische Wirkung hochfrequenter elektromagnetischer Felder in Kombination mit kanzerogenen Substanzen - Kokanzerogenität oder Tumorpromotion? / **3615S82431**

Abbildung 1: Werte der DNA-Schäden im Gehirn

82

Tabelle 1: Daten zu Abbildung 1 (Werte der DNA-Schäden im Gehirn)

82

Abbildung 2: Werte der DNA-Schäden der Leber

83

Tabelle 2: Daten zu Abbildung 2 (Werte der DNA-Schäden in der Leber)

83

Abbildung 3: Werte der DNA-Schäden der Lunge

84

Tabelle 3: Daten zu Abbildung 3 (Werte der DNA-Schäden in der Lunge)

84

Nebenwirkungen bei Anwendungen optischer Strahlung in der Kosmetik - repräsentative Umfrage / **3616S82432**

Abbildung 1: Anbieter der kosmetischen Anwendung mit optischer Strahlung

88

Abbildung 2: Auftreten von temporären und bleibenden Nebenwirkungen nach Nebenwirkungstyp

88

Internationaler Workshop zum Zusammenhang zwischen neurodegenerativen Erkrankungen und Magnetfeldexposition – Stand des Wissens und Forschungsperspektiven / **3617I02410**

STATUSBERICHTE

Themenbereich 04

Medizinische Strahlenexposition / Röntgenverordnung

Erstellung und Überarbeitung von technischen Normen für den Strahlenschutz und die Qualitätssicherung in der medizinischen Radiologie / **3615S42320**

Tabelle 1: Bisher erreichte Ergebnisse bei den Normungsprojekten

123

Themenbereich 06

Notfallschutz

Verfahren zur optimierten Standortauswahl für spektrometrierende Sonden und zur Generierung von Messaufträgen für Notfallschutzübungen / **3615S62540**

Abbildung 1: Veranschaulichung der Abläufe bei der Generierung von mobilen Messaufträgen

145

Tabelle 1: Optimierungskriterien

147

Abbildung 2: Räumlich abhängige ODL a) der vier Modelle und der simulierten Messungen, b) der Kontaminationskarte. Der simulierte Freisetzungsort ist mittels grünem Stern gekennzeichnet.

148

Themenbereich 08

Nichtionisierende Strahlung

Leukämie im Kindesalter - Einfluss des Immunsystems auf die Entstehung der Erkrankung (experimentelle Studie an einem geeigneten Tiermodell / **3616S82440**)

Tabelle 1: Versuchsdesign

177

Abkürzungen

Abbreviations

ATG	Atomgesetz
cDNA/cRNA	complementäre DNA/RNA
CT	Computertomographie
DAB	digital audio broadcasting
DECT	Digital Enhanced Cordless Telecommunications
DIN	Deutsches Institut für Normung e.V./ the German institute for standardisation
DNA	Desoxyribonukleinsäure (desoxyribosenucleic acid)
DTX	discontinuous transmission
DVB-T	digital video broadcast-terrestrial
EMF	elektromagnetische Felder
EPR	Lumineszenz- und paramagnetische Elektronenresonanz
FDTD	finite - difference time - domain
GSM	global system mobile communication
HF/RF	high/radio frequency
IAEA	International Atomic Energy Agency
ICNIRP	International Commission on Non-Ionising Radiation Protection
ICRP	International Commission on Radiological Protection
IEC	International Electrotechnical Commission
ISO	International Organization for Standardization
KKW	Kernkraftwerk
LET	linearer Energietransfer
MMS	multimedia messaging service
mRNA	messenger RNA
MRT/MRI	Magnetresonanztomographie / Magnet Resonance Imaging
ODL	Ortsdosisleistung
OECD	Organisation for Economic Co-operation and Development
PCR	polymerase chain reaktion
PET-CT	Positronen-Emissions-Tomographie (PET) - Computertomographie
PTB	Physikalisch-Technische Bundesanstalt
RBW	resolution band width
RNA	Ribonukleinsäure (ribonucleic acid)
ROC	receiver operating characteristic
RöV	Röntgenverordnung
RT-PCR	reverse transkription-polymerase chain reaction
SAR	spezifische Absorptionsrate
siRNA	small interfering RNA
SSK	Strahlenschutzkommission
StrlSchV	Strahlenschutzverordnung
TETRA	terrestrial trunked radio
UMTS	universal mobile telecommunication system
UVI	UV-Index
WAP	wireless application protocol
WHO	World Health Organization
WLAN	wireless local area network

Kontaktadressen

Fragen nach näheren Informationen über die in diesem Programmreport genannten Projekte können an folgende Stellen gerichtet werden:

Bundesamt für Strahlenschutz
Verwaltungsmäßige Bearbeitung der Ressortforschung AG-R
Postfach 10 01 49
D-38201 Salzgitter
Tel.: (030) 18333 1520
Fax.: (030) 18333 1525

Bundesamt für Strahlenschutz
Fachliche Koordinierung der Ressortforschung im Bereich Strahlenschutz AG-K
Postfach 10 01 49
38201 Salzgitter
Tel.: (030) 18333-2119

Bisher erschienene BfS-Schriften

BfS-SCHR-1/90

Warnecke, E.; Odoj, R.; Simon, R. (Editors)

Requirements for Waste Acceptance and Quality Control.

Proceedings of the 2nd International Seminar on Radioactive Waste Products.

28 May - 1 June 1990, Research Centre Jülich, Federal Republic of Germany.

Salzgitter 1990

BfS-SCHR-2/91

Sicherheitsreihe Nr. 6.

IAEO-Empfehlungen für die sichere Beförderung radioaktiver Stoffe. Ausgabe 1985.

(Diese Übersetzung enthält auch die von der IAEO im Nachtrag 1988 zu den Empfehlungen vorgenommenen Ergänzungen).

Salzgitter 1991

BfS-SCHR-3/91

Schüttmann, W.; Aurand, K.

Die Geschichte der Außenstelle Oberschlema des Kaiser-Wilhelm-Instituts für Biophysik Frankfurt am Main.

Salzgitter 1991

BfS-SCHR-4/91

Bornemann, O. (mit einem Beitrag von *R. Fischbeck*)

Zur Geologie des Salzstocks Gorleben nach den Bohrergebnissen.

Salzgitter 1991

BfS-SCHR-5/92

Herrmann, A.G.

Endlager für radioaktive Abfälle Morsleben (ERAM).

Lösungszuflüsse in den Grubenfeldern Marie und Bartensleben: Stoffbestand, Herkunft, Entstehung. Eine Dokumentation.

Zweiter Bericht. Abschlußbericht für den Zeitabschnitt 1. Januar bis 31. Dezember 1991. Clausthal-Zellerfeld, den 29. Februar 1992.

Salzgitter 1992

BfS-SCHR-6/92

Bestandsaufnahme IMIS-IT.

Seminar zum Projektstand IMIS am 3. Mai 1991.

Salzgitter 1992

BfS-SCHR-7/92

Empfehlungen der Reaktor-Sicherheitskommission (RSK) 1987 - 1991 (Band 7).

Zusammengestellt von der RSK-Geschäftsstelle.

Salzgitter 1992

BfS-SCHR-8/92

Radiologische Erfassung, Untersuchung und Bewertung bergbaulicher Altlasten.

Abschlußbericht zum ersten Teilprojekt.

Salzgitter 1992

BfS-SCHR-9/93

Grosche, B.; Burkart, W. (Editors)

Radiation epidemiology after the Chernobyl accident.

Proceedings of a workshop held at the Institute for Radiation Hygiene, Federal Office of Radiation Protection, Neuherberg, October 23-25, 1991

Bisher erschienene BfS-Schriften

BfS-SCHR-10/93

von Borstel, L.E.

Lösungen in marinen Evaporiten.

Salzgitter 1993

BfS-SCHR-11/93

Herrmann, A.G.

Endlager für radioaktive Abfälle Morsleben (ERAM).

Lösungsvorkommen in den Grubenfeldern Marie und Bartensleben: Stoffbestand, Herkunft,

Entstehung.

Eine Dokumentation.

Abschlußbericht für den Zeitabschnitt 1. Januar bis 31. Dezember 1992. Clausthal-Zellerfeld, den 29. Februar 1992.

Salzgitter 1993

BfS-SCHR-12/93

IMIS-Statusgespräch.

Seminar zum Projektstand IMIS am 1. Februar 1993.

Salzgitter 1993

BfS-SCHR-13/94

Przyborowski, S.; Röhnsch, W.

ICRP-Publikation 65

über den Schutz gegenüber Radon-222 in Wohnung und an Arbeitsplätzen und die Situation in der Bundesrepublik Deutschland.

Salzgitter, 1994

BfS-SCHR-14/95

Kammerer, L.; Peter, J.; Burkhardt, J.; Trugenberger-Schnabel, A.; Bergler, I.

Umweltradioaktivität in der Bundesrepublik Deutschland 1992 und 1993. Daten und Bewertung.

Bericht der Leitstellen des Bundes und des Bundesamtes für Strahlenschutz.

Salzgitter, Dezember 1995

BfS-SCHR-15/96

Solare terrestrische UV-Strahlung in Deutschland.

Meßergebnisse und strahlenhygienische Bewertung der Daten aus dem UV-Meßnetz des BFS/UBA für den Zeitraum Januar bis Dezember 1994.

Salzgitter, März 1996

BfS-SCHR-16/98

Kammerer, L.

Umweltradioaktivität in der Bundesrepublik Deutschland 1994 bis 1995. Daten und Bewertung.

Bericht der Leitstellen des Bundes und des Bundesamtes für Strahlenschutz.

Salzgitter, März 1998

BfS-SCHR-17/98

Radiologische Erfassung, Untersuchung und Bewertung bergbaulicher Altlasten.

Abschlußbericht zum zweiten Teilprojekt.

Salzgitter, März 1998

BfS-SCHR-18/98

Sonnek, C.

Die Euratom-Grundnormen für den Strahlenschutz 1996 und 1997.

Ausblick auf zukünftiges Strahlenschutzrecht in Deutschland.

Salzgitter, Juli 1998

Bisher erschienene BfS-Schriften

BfS-SCHR-19/99

Strahlenschutz und Sicherheit in der Medizin.

ICRP-Veröffentlichung 73.

Ein Bericht einer Arbeitsgruppe des Komitees 3 der Internationalen Strahlenschutzkommission.

Von der Kommission angenommen im März 1996.

Salzgitter, Mai 1999

BfS-SCHR-20/99

WORKSHOP

Strahlenüberwachung von Arbeitsplätzen mit erhöhten Konzentrationen von Radon und Radonzerfallsprodukten und Qualitätssicherung der Überwachungsmessungen.

22. bis 24. Juni 1998, Berlin.

Salzgitter, November 1999

BfS-SCHR-21/00

Kammerer, L.

Umweltradioaktivität in der Bundesrepublik Deutschland 1996 und 1997. Daten und Bewertung.

Bericht der Leitstellen des Bundes und des Bundesamtes für Strahlenschutz.

Salzgitter, Oktober 2000

BfS-SCHR-22/01

Ettenhuber, E.; Gehrcke, K.

Radiologische Erfassung, Untersuchung und Bewertung bergbaulicher Altlasten.

Abschlussbericht.

Salzgitter, März 2001

BfS-SCHR-23/01 (ist nicht als Druck erschienen, nur im Internet)

Steinmetz, M.

UV-Index in practical use

Proceedings of an International Workshop

Institute of radiation hygiene, Munich, Germany, December 4-7, 2000

Salzgitter, 2001

BfS-SCHR-24/02

Peter J.; Schneider G.; Bayer A.; Trugenberg-Schnabel A.

High Levels of Natural Radiation and Radon Areas:

Radiation Dose and Health Effects

Proceedings of the 5th International Conference on High Levels of Natural Radiation and Radon Areas held in Munich, Germany on September 4 to 7 2000

Neuherberg, März 2002

BfS-SCHR-25/02

Brix, J.; Matthes, R.; Schulz, O.; Weiss, W.

Forschungsprojekte zur Wirkung elektromagnetischer Felder des Mobilfunks.

Bundesamt für Strahlenschutz

21. und 22. Juni 2001

Salzgitter, Juni 2002

BfS-SCHR-26/02

Bruchertseifer, F.; Pohl, H.

Fachgespräch

Begrenzung der Strahlenexposition als Folge von Störfällen bei kerntechnischen Anlagen und Einrichtungen.

1. und 2. März 2001

Salzgitter, Juni 2002

Bisher erschienene BfS-Schriften

BfS-SCHR-27/03

*Trugenberger-Schnabel, A.; Peter J.;
Kanzliwius, R.; Bernhard, C.; Bergler, I.*
Umweltradioaktivität in der Bundesrepublik Deutschland 1998 bis 2001
Daten und Bewertung
Bericht der Leitstellen des Bundes und des Bundesamtes für Strahlenschutz
Salzgitter, Januar 2003

BfS-SCHR-28/03

Walter, H.
2.Fachgespräch SODAR
19. u. 20. März 2003
Im Auftrag des Bundesministeriums für Umwelt,
Naturschutz und Reaktorsicherheit
Zusammenfassung der Vorträge
Salzgitter, Juni 2003

BfS-SCHR-29/03

Bergler, I.; Bernhard, C.; Gödde, R.; Schmitt-Hannig, A.
Strahlenschutzforschung
- Programmreport 2001 -
Bericht über das vom Bundesamt für Strahlenschutz fachlich und verwaltungsgemäß begleitete
Ressortforschungsprogramm Strahlenschutz des Bundesumweltministeriums
Salzgitter, Juni 2003

BfS-SCHR-30/04

Lennartz, H.-A.; Mussel, Ch.; Thieme, M.
Beteiligung der Öffentlichkeit bei der Standortauswahl für die Endlagerung radioaktiver Abfälle
Abschlussbericht
Salzgitter, April 2004

BfS-SCHR-31/04

Weiß, D.; Bönigke, G.; Spoden, E.; Warnecke, E.
Übersicht zu stillgelegten kerntechnischen Anlagen in Deutschland und in Europa – Januar 2004
Salzgitter, September 2004

BfS-SCHR-32/04

Bergler, I.; Bernhard, C.; Gödde, R.; Löbke-Reinl, A.; Schmitt-Hannig, A.
Strahlenschutzforschung
Programmreport 2003
Bericht über das vom Bundesamt für Strahlenschutz fachlich und administrativ begleitete
Ressortforschungsprogramm Strahlenschutz des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz und
Reaktorsicherheit
Salzgitter, Dezember 2004

BfS-SCHR-33/05

Hartmann, M.; Beyer, D.; Dalheimer, A.; Hänisch, K.
Ergebnisse der In-vitro-Ringversuche: S-35 in Urin sowie Am-241 und Pu-Isotope in Urin
Workshop zu den In-vitro-Ringversuchen 2001 und 2002 der Leitstelle Inkorporationsüberwachung
des BfS am 1. Juli 2003 im Bayerischen Landesamt für Umweltschutz, Kulmbach
Salzgitter, Januar 2005

BfS-SCHR-34/05 (nur als CD vorhanden)

Trugenberger-Schnabel, A.; Peter, J.; Kanzliwius, R.; Bernhard, C.; Bergler, I.
Umweltradioaktivität in der Bundesrepublik Deutschland
Bericht der Leitstellen des Bundes und des Bundesamtes für Strahlenschutz
Daten und Bewertung für 2002 und 2003
Salzgitter, Juni 2005

Bisher erschienene BfS-Schriften

BfS-SCHR-35/05 (nur als CD vorhanden)

Bergler, I.; Bernhard, C.; Gödde, R.; Löbke-Reinl, A.; Schmitt-Hannig, A.

Strahlenschutzforschung

Programmreport 2004

Bericht über das vom Bundesamt für Strahlenschutz fachlich und administrativ begleitete

Ressortforschungsprogramm Strahlenschutz des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz und

Reaktorsicherheit

Salzgitter, August 2005

BfS-SCHR-36/05 (nur als CD vorhanden)

Steinmetz, M.

200 Jahre solare UV-Strahlung

Geschichte und Perspektiven

Wissenschaftliches Kolloquium

Salzgitter, Oktober 2005

BfS-SCHR-37/05

Facharbeitskreis Probabilistische Sicherheitsanalyse für Kernkraftwerke

Methoden zur probabilistischen Sicherheitsanalyse für Kernkraftwerke

Stand: August 2005

Salzgitter, Oktober 2005

BfS-SCHR-38/05

Facharbeitskreis Probabilistische Sicherheitsanalyse für Kernkraftwerke

Daten zur probabilistischen Sicherheitsanalyse für Kernkraftwerke

Stand: August 2005

Salzgitter, Oktober 2005

BfS-SCHR-39/06

Borrmann, F.; Brennecke, P.; Koch, W.; Kugel, K.; Rehs, B.; Steyer, S.; Warnecke, E.

Management of Decommissioning Waste in Germany

Contribution to the IAEA CRP on „Disposal Aspects of Low and Intermediate level Decommissioning Waste“

Stand: August 2006

Salzgitter, Dezember 2006

BfS-SCHR-40/06

Bergler, I.; Bernhard, C.; Gödde, R.; Löbke-Reinl, A.; Schmitt-Hannig, A.

Strahlenschutzforschung

Programmreport 2005

Bericht über das vom Bundesamt für Strahlenschutz fachlich und administrative begleitete

Forschungsprogramm Strahlenschutz des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz und

Reaktorsicherheit

Salzgitter, Dezember 2006

BfS-SCHR-41/07

*Schkade, U.-K.; Arnold, D. *); Döring, J.; Hartmann, M.; Wershofen, H. *)*

**) Physikalisch-Technische Bundesanstalt*

Gammaspektrometrische Bestimmung der spezifischen Aktivitäten natürlicher Radionuklide in Umweltproben

7. Vergleichsanalyse „Boden 2006“

Leitstelle für Fragen der Radioaktivitätsüberwachung bei erhöhter natürlicher Radioaktivität

Berlin, Dezember 2006

Salzgitter, Januar 2007

BfS-SCHR-42/07

*Dushe, C.; Ettenhuber, E.; Gehrcke, K.; Kümmel, M.; Schulz, H. *)*

**) IAF-Radioökologie GmbH Dresden*

Ein neues Verfahren zur Ermittlung der Radonexhalation großer Flächen

Salzgitter, Februar 2007

Bisher erschienene BfS-Schriften

BfS-SCHR-43/07

Richtlinie für die physikalische Strahlenschutzkontrolle zur Ermittlung der Körperdosis
Teil 2: Ermittlung der Körperdosis bei innerer Strahlenexposition; Inkorporationsüberwachung
(§§ 40, 41 und 42 Strahlenschutzverordnung)
Rundschreiben vom 12.01.2007 RS II 3 – 15530/1 (GMBI 2007 S. 623)
Salzgitter, September 2007

BfS-SCHR-44/07

Bernhard, C.; Gödde, R.; Löbke-Reinl, A.; Schmitt-Hannig, A.; Trugenberg-Schnabel, A.
Strahlenschutzforschung
Programmreport 2006
Bericht über das vom Bundesamt für Strahlenschutz fachlich und administrativ begleitete
Forschungsprogramm Strahlenschutz des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz und
Reaktorsicherheit
Salzgitter, Dezember 2007

BfS-SCHR-45/09

urn:nbn:de:0221-2009011200
Bernhard-Ströl, C.; Gödde, R.; Hachenberger, Claudia, Löbke-Reinl, A.; Schmitt-Hannig, A.
Strahlenschutzforschung
Programmreport 2007
Bericht über das vom Bundesamt für Strahlenschutz fachlich begleitete und administrativ umgesetzte
Forschungsprogramm Strahlenschutz des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz und
Reaktorsicherheit
Salzgitter, Januar 2009

BfS-SCHR-46/09

urn:nbn:de:0221-2009082120
Bernhard-Ströl, C.; Gödde, R.; Hachenberger, Claudia, Löbke-Reinl, A.; Schmitt-Hannig, A.
Strahlenschutzforschung
Programmreport 2008
Bericht über das vom Bundesamt für Strahlenschutz fachlich begleitete und administrativ umgesetzte
Forschungsprogramm Strahlenschutz des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz und
Reaktorsicherheit
Salzgitter, November 2009

BfS-SCHR-47/09

urn:nbn:de:0221-2009082154
Die Empfehlungen der Internationalen Strahlenschutzkommission (ICRP) von 2007
ICRP-Veröffentlichung 103, verabschiedet im März 2007
Deutsche Ausgabe
Salzgitter, November 2009

BfS-SCHR-48/10

urn:nbn:de:0221-201009153217
Bernhard-Ströl, C.; Gödde, R.; Hachenberger, C.; Löbke-Reinl, A.; Schmitt-Hannig, A.
Strahlenschutzforschung
Programmreport 2009
Bericht über das vom Bundesamt für Strahlenschutz fachlich begleitete und administrativ umgesetzte
Forschungsprogramm Strahlenschutz des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz und
Reaktorsicherheit
Salzgitter, November 2010

Bisher erschienene BfS-Schriften

BfS-SCHR-49/11

urn:nbn:de:0221-201111236640

Bernhard-Ströl, C.; Gödde, R.; Hachenberger, Claudia, Löbke-Reinl, A.; Schmitt-Hannig, A.

Strahlenschutzforschung

Programmreport 2010

Bericht über das vom Bundesamt für Strahlenschutz fachlich begleitete und administrativ umgesetzte Forschungsprogramm Strahlenschutz des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit

Salzgitter, November 2011

BfS-SCHR-50/12

urn:nbn:de:0221-2012120510259

Beyermann, M.; Bünger, T.; Guttmann, A.; Schmidt, K.; Wershofen, H.; Winterfeldt, I.; Labahn, A.

Ringversuch zur Bestimmung von Radon-222, Radium-226, Radium-228, Uran-238, Uran-234 und der Gesamt- α -Aktivität in Trinkwasser – Ringversuch 4/2012

Salzgitter, Dezember 2012

BfS-SCHR-51/13

urn:nbn:de:0221-2013012210275

Bernhard-Ströl, C.; Gödde, R.; Hachenberger, Claudia, Löbke-Reinl, A.; Schmitt-Hannig, A.

Strahlenschutzforschung

Programmreport 2011

Bericht über das vom Bundesamt für Strahlenschutz fachlich begleitete und administrativ umgesetzte Forschungsprogramm Strahlenschutz des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit

Salzgitter, Dezember 2012

BfS-SCHR-52/13

urn:nbn:de:0221-2013110811124

Bernhard-Ströl, C.; Gödde, R.; Hachenberger, Claudia, Löbke-Reinl, A.; Schmitt-Hannig, A.;

Trugenberger-Schnabel, A.

Strahlenschutzforschung

Programmreport 2012

Bericht über das vom Bundesamt für Strahlenschutz fachlich begleitete und administrativ umgesetzte Forschungsprogramm Strahlenschutz des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit

Salzgitter, Dezember 2013

BfS-SCHR-53/14

urn:nbn:de:0221-2014010911155

Schmitt-Hannig, A.; Peter, J.; Bernhard-Ströl, C.; Trugenberger-Schnabel, A.; Hachenberger, C,

Löbke-Reinl, A.; Schulte-Büttner, B.

International Cooperation and Research

Report on International Cooperation and Research Activities at the Federal Office for Radiation Protection

Status 2013

Salzgitter, Januar 2014

BfS-SCHR-54/14

urn:nbn:de:0221-2014081211479

Schmitt-Hannig, A.; Gödde, R.; Löbke-Reinl, A.; Hachenberger, C.; Trugenberger-Schnabel, A.

Strahlenschutzforschung

Programmreport 2013

Bericht über das vom Bundesamt für Strahlenschutz fachlich begleitete und administrativ umgesetzte Forschungsprogramm Strahlenschutz des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit

Salzgitter, September 2014

Bisher erschienene BfS-Schriften

BfS-SCHR-55/14

urn:nbn:de:0221-2015021712440

*Walter, H.; Gering, F.; Arnold, K.; Gerich, B.; Heinrich, G.; Welte, U. *)*

**) Strahlenschutzkommission*

Simulation potentieller Unfallszenarien für den Notfallschutz in der Umgebung von Kernkraftwerken mit RODOS

Salzgitter, Dezember 2014

BfS-SCHR-56/15

urn:nbn:de:0221-2015052612750

*Brendebach, B. *); Imielski P. *); Kühn, K.; Rehs, B.*

**) Gesellschaft für Anlagen- und Reaktorsicherheit*

Stilllegung kerntechnischer Anlagen in Europa

Stand: Dezember 2014

Salzgitter, Mai 2015

BfS-SCHR-57/15

urn:nbn:de:0221-2015082013351

Schmitt-Hannig, A.; Löbke-Reinl, A.; Peter, J.; Gödde, R.; Hachenberger, C.;

Trugenberger-Schnabel, A.

Strahlenschutzforschung

Programmreport 2014

Bericht über das vom Bundesamt für Strahlenschutz fachlich begleitete und administrativ umgesetzte Forschungsprogramm Strahlenschutz des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit

Salzgitter, September 2015

BfS-SCHR-58/16

urn:nbn:de:0221-2016022414011

Arx, Cyrill von; Glaab, Hubert; Grimm, Christian; Martens, Reinhard; Päsler-Sauer, Jürgen;

Scheuermann, Walter; Schnadt, Horst; Schumacher, Peter; Torchiani, Silke; Walter, Hartmut;

Wilbois, Thomas

Vergleich aktuell eingesetzter Modelle zur Beschreibung der atmosphärischen Ausbreitung radioaktiver Stoffe

Abschlussbericht zum Arbeitspaket AP 5500 der Arbeitsgruppe „Erfahrungsfluss Fukushima“ des Ausschusses „Notfallschutz“ der Strahlenschutzkommission

Salzgitter, Februar 2016

BfS-SCHR-59/16

urn:nbn:de:0221-2016080114068

Schmitt-Hannig, A.; Löbke-Reinl, A.; Peter, J.; Gödde, R.; Hachenberger, C.;

Trugenberger-Schnabel, A.

Strahlenschutzforschung

Programmreport 2015

Bericht über das vom Bundesamt für Strahlenschutz fachlich begleitete und administrativ umgesetzte Forschungsprogramm Strahlenschutz des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit

Salzgitter, August 2016

BfS-SCHR-60/16

urn:nbn:de:0221-2016091214084

*Walter, H.; Gering, F.; Arnold, K.; Gerich, B.; Heinrich, G.; Welte, U. *)*

**) Strahlenschutzkommission*

RODOS-based Simulation of Potential Accident Scenarios for Emergency Response Management in the Vicinity of Nuclear Power Plants

Salzgitter, September 2016

Bisher erschienene BfS-Schriften

BfS-SCHR-61/16

urn:nbn:de:0221-2016091314090

Facharbeitskreis Probabilistische Sicherheitsanalyse für Kernkraftwerke

Methoden und Daten zur probabilistischen Sicherheitsanalyse für Kernkraftwerke

Stand: Mai 2015

Salzgitter, September 2016

BfS-SCHR-62/17

urn:nbn:de:0221-2017102314426

Redaktion: *Schmitt-Hannig, A.; Löbke-Reinl, A.; Peter, J.; Gödde, R.; Hachenberger, C.;*

Trugenberger-Schnabel, A.

Strahlenschutzforschung

Programmreport 2016

Bericht über das vom Bundesamt für Strahlenschutz fachlich begleitete und administrativ umgesetzte Forschungsprogramm Strahlenschutz des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit

Salzgitter, Oktober 2017

BfS-SCHR-63/18

urn:nbn:de:0221-2018011814498

Action and Perception Thresholds of Static and ELF Magnetic and Electric Fields and Contact Currents in Humans,

Abstracts of a workshop held at the Federal Office for Radiation Protection,

Oberschleißheim/Neuherberg, October 26-27, 2016

Salzgitter, Januar 2018

BfS-SCHR-64/18

urn:nbn:de:0221-2018071915600

Redaktion: *Schmitt-Hannig, A.; Löbke-Reinl, A.; Peter, J.; Trugenberger-Schnabel, A.*

Strahlenschutzforschung

Programmreport 2017

Bericht über das vom Bundesamt für Strahlenschutz fachlich begleitete und administrativ umgesetzte Forschungsprogramm Strahlenschutz des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit

Salzgitter, Juli 2018

| Verantwortung für Mensch und Umwelt |

Kontakt:

Bundesamt für Strahlenschutz

Postfach 10 01 49

38201 Salzgitter

Telefon: + 49 (0)3018 333 0

Telefax: + 49 (0)3018 333 1885

Internet: www.bfs.de

E-Mail: ePost@bfs.de

Gedruckt auf Recyclingpapier aus 100 % Altpapier.



Bundesamt für Strahlenschutz