

Strahlenschutzforschung

Programmreport 2018

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

Daniela Merchel

BfS-SCHR-65/19

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

urn:nbn:de:0221-2019102319808

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

Salzgitter, November 2019

Strahlenschutzforschung

Programmreport 2018

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	X
VORBEMERKUNG	X
EINFÜHRUNG	X
ZUSAMMENFASSUNG DER FORSCHUNGSERGEBNISSE 2018	XI

ERGEBNISSE (ABSCHLUSSBERICHTE)

RESULTS (FINAL 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 2
Evaluation of the biokinetic and dosimetric uncertainties on the dose assessment following intake of uranium and radon progeny, and their application to miners and millers of the WISMUT-cohort
3615S12230

Qualifizierung der Luftdichtheitsmessung an Gebäuden zur Ableitung eines Prüfwertes im Hinblick auf die Unterschreitung des Referenzwertes der mittleren Radonkonzentration in Innenräumen 8
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
3616S12241

Erarbeitung von DIN-Normen bez. baulicher Maßnahmen für den Radonschutz, Los 1 „Radon“ 12
Development of DIN standards regarding building measures for radon protection, part 1 "Radon"
3617S12250

THEMENBEREICH 02

STRAHLENSCHUTZTECHNIK

SUBJECT AREA 02

RADIATION PROTECTION TECHNIQUES

Verifizierung internationaler Berechnungen der individuellen Strahlendosis bei externer Umgebungsstrahlung 16
Verification of international calculations of the individual radiation dose due to environmental exposures
3617S22252

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

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 26
Identification of radiation-specific biomarkers in breast cancer patients -molecular mechanisms underlying radiation-induced breast carcinogenesis
3615S32454

Untersuchung des Risikos für kardiovaskuläre Erkrankungen nach einer Strahlenexposition mit niedrigen Dosen an Biopsieproben von Majak-Arbeitern 33
Investigation of cardiovascular disease risk after low dose radiation using biopsy samples of Mayak workers
3617S32261

9. EUROSkin Konferenz „Bedeutung und Nutzen von Biomarkern in der primären und sekundären Prävention von Hautkrebs“ 39
9th EUROSkin workshop „Use of biomarkers in primary and secondary prevention of skin cancer“
3617I02420

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 Qualitätssicherung in der medizinischen Radiologie 44
Preparation and revision of technical standards for radiation protection and quality assurance in medical radiology
3615S42320

THEMENBEREICH 05

RADIOÖKOLOGIE

SUBJECT AREA 05

RADIOECOLOGY

Experimentelle und theoretische Untersuchungen zu radioaktiven Quellen und Gegenständen im Stahlschrott 52
Orphan sources and radioactive materials in steel scrap (experimental and theoretical studies)
3615S52320

THEMENBEREICH 06

NOTFALLSCHUTZ

SUBJECT AREA 06

EMERGENCY MANAGEMENT

Verfahren zur optimierten Standortauswahl für spektrometrierende Sonden und zur Generierung von Messaufträgen für Notfallschutzübungen 58
Optimisation procedure for the selection of locations of spectroscopic probes and for the generation of measurement tasks for emergency exercises
3615S62540

Wechselwirkung zwischen Ausbreitung von radioaktiven Substanzen nach Freisetzung in Gebäuden und der freien Atmosphäre in gekoppelten Simulationsmodellen	64
<i>Interaction between the dispersal of radioactive material after release in buildings and the free atmosphere in linked simulation models</i>	
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	72
<i>Update and evaluation of task-related exposure in nuclear facilities and other radiation relevant installations under the aspect of optimisation</i>	
3615S22301	

Modellbasierte Ermittlung des Eintrags von I-131 in die OSPAR-Regionen des Nordostatlantiks auf Grund von nuklearmedizinischen Anwendungen mit Radioiod in Deutschland	76
<i>Model based estimation of I-131 input into the OSPAR regions due to the nuclear medicinal application of radioiodine in Germany</i>	
3616S72570	

Internationaler Workshop zum Thema „LEDs als neue Leuchtmittel - sicherer Schutz vor Augenschäden und Blendwirkungen?“	82
<i>International Workshop „LED as an upcoming new light source - Safe protection against eye damage and glare“</i>	
3618I02410	

THEMENBEREICH 08

NICHTIONISIERENDE STRAHLUNG

SUBJECT AREA 08

NON-IONISING RADIATION

Exposition und Wirkungen der elektromagnetischen Felder neuartiger Technologien im Zwischenfrequenzbereich - systematische Review	88
<i>Exposure and effects of electromagnetic fields of new technologies operating in the intermediate frequency range - a systematic review</i>	
3616S82437	

Messung und Bewertung für die Allgemeinbevölkerung relevanter optischer Strahlenquellen: Abschätzung von Risiken für das Auge, insbesondere Blaulichtgefahr und Blendung	93
<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>	
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	99
<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>	
3617S82444	

STATUSBERICHTE *STATUS REPORTS*

THEMENBEREICH 01 **NATÜRLICHE STRAHLENEXPOSITION**

SUBJECT AREA 01 *NATURAL RADIATION EXPOSURE*

Fortentwicklung von Programmen und Codes zur Modellierungen des Verhaltens von Radon am Arbeitsplatz und Validierung der Codeanpassung 110
Code development and validation in order to model the radon distribution at workplaces
3618S12362

THEMENBEREICH 02 **STRAHLENSCHUTZTECHNIK**

SUBJECT AREA 02 *RADIATION PROTECTION TECHNIQUES*

Entwicklung eines kombinierten aero-gammaspektrometrischen Mess- und Beprobungssystems 114
Development of a combined aero-gammaspectrometric system for measurement and sampling
3616S22540

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

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

Leukämie im Kindesalter - Aufbau, Stabilisierung und ggf. Erweiterung eines internationalen Netzwerkes zur Ursachenforschung von Leukämien im Kindesalter; Erkenntnisgewinn durch internationale Vergleichsstudien 120
Childhood leukaemia - establishment, consolidation and possible extension of an international network for the study of causes of childhood leukaemia; Comparisons of international studies
3614S30041

Charakterisierung von Exosomen nach In-vitro- und In-vivo-Bestrahlung als Marker der Strahlenexposition 122
Characterisation of exosomes after in vitro and in vivo irradiation as biomarker for radiation exposure
3616S32260

Strahlenresistenzmechanismen in Tumorstammzellen 124
Mechanisms of radioresistance in cancer stem cells
3616S32262

THEMENBEREICH 04 **MEDIZINISCHE STRAHLENEXPOSITION / RÖNTGENVERORDNUNG**

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

Erhebung der Medizinischen Strahlenexposition in der Nationalen Kohorte 130
Survey of medical radiation exposure in the German National Cohort
3616S42233

Bewertung des Einsatzes von Dosismanagement-Systemen zur Optimierung von Röntgenanwendungen in verschiedenen Röntgeneinrichtungen	133
<i>Evaluation of the implementation of dose-management-systems used for optimising diagnostic X-ray applications in different facilities</i>	
3616S42432	
Betrieblicher Umgang mit (bedeutsamen) Vorkommnissen bei medizinischen Anwendungen radioaktiver Stoffe in der Nuklearmedizin und praktische Erprobung der Meldekriterien	137
<i>Operational handling of (significant) incidents in medical applications of radioactive material in nuclear medicine and practical testing of reporting criteria</i>	
3617S42332	
Betrieblicher Umgang mit (bedeutsamen) Vorkommnissen bei medizinischen Anwendungen ionisierender Strahlung in der Röntgendiagnostik und interventionellen Radiologie und praktische Erprobung der Meldekriterien	140
<i>Operational handling of (significant) incidents in medical applications of ionising radiation in diagnostic radiology and interventional radiology as well as practical experience of the reporting criteria</i>	
3617S42333	
Evaluation der Brustkrebsmortalität im Deutschen Mammographie-Screening-Programm	143
<i>Evaluation of the breast cancer mortality in the German mammography-screening-program</i>	
3617S42402	
Erfassung der Häufigkeiten und Expositionsparameter in der pädiatrischen Radiologie	146
<i>Collecting relative frequencies and assessing radiation doses of pediatric radiology procedures involving ionising radiation</i>	
3617S42441	
Erhebung von Häufigkeit und Dosis für nuklearmedizinische Untersuchungsverfahren	149
<i>Survey to determine frequency and radiation dose from nuclear medical diagnostics</i>	
3617S42443	
Einweisung und Schulung medizinischen Personals in die sachgerechte Handhabung von Geräten zu diagnostischen Zwecken in der Radiologie und Nuklearmedizin (Evaluation der Ausbildungsqualität im Strahlenschutz (EDAQS))	152
<i>Instruction and training of medical staff for the proper handling of diagnostic imaging modalities in radiology and nuclear medicine (Evaluation of the quality of education in radiation protection)</i>	
3617S42444	
THEMENBEREICH 05	
RADIOÖKOLOGIE	
<i>SUBJECT AREA 05</i>	
<i>RADIOECOLOGY</i>	
Experimentelle Bestimmung von Kd-Werten für endlagerrelevante Radionuklide und REFESOL-Böden	156
<i>Experimental determination of Kd-values for final depository relevant radionuclides and REFESOL-soils</i>	
3616S52530	
Erfassung der aktuellen Kontaminationssituation bei Wildschweinen in Deutschland	159
<i>Assessment of contamination levels of wild boar (Sus scrofa) in Germany</i>	
3617S52531	
Freigabekonzepte einer neuen Strahlenschutzverordnung nach Euratom-Grundnormen 2013 in der Anwendung	162
<i>Concepts for clearance according to a new radiation protection ordinance based on the Euratom Basic Safety Standards of 2013 in practice</i>	
4717E03510	

THEMENBEREICH 06

NOTFALLSCHUTZ

SUBJECT AREA 06

EMERGENCY MANAGEMENT

- Ausbau der wissenschaftlichen und der technischen Basis für die Aufgaben des Teams „Strahlenschutz“ im Notfallzentrum der GRS 166
Enhancement of the Scientific and Technical Basis for the Tasks of the Team "Radiation Protection" within GRS' Emergency Center
3616S62550
- Umsetzung von Informationsstrategien und Konzepten in konkrete Handlungsempfehlungen und Informationsangebote unter Berücksichtigung moderner internetbasierter Kommunikationsformen 169
Conversion of information strategies and concepts into concrete recommendations for action and information offerings, taking into account modern internet-based forms of communication
3617S62555
- Ergänzung der Quelltermdatenbank des Entscheidungshilfesystems RODOS für Freisetzungen aus dem RDB bei Nichtleistungsbetriebszuständen in Kernkraftwerken 172
Extension of the source term data bank of the decision support system RODOS for the release from the RPV during shutdown modes
3617S62560
- Erarbeitung eines Konzeptes und dessen Umsetzung für die Vernetzung zwischen dem Notfallzentrum der GRS und dem BfS-Lagezentrum Neuherberg 176
Development of a concept and its implementation for the networking between the Emergency centre of GRS and the BfS situation centre in Neuherberg
3618S62574

THEMENBEREICH 07

VORHABEN MIT ALLGEMEINER BEDEUTUNG FÜR DEN STRAHLENSCHUTZ

SUBJECT AREA 07

PROJECTS OF GENERAL IMPORTANCE TO RADIATION PROTECTION

- Weiterentwicklung des atmosphärischen Ausbreitungsmodells ARTM bezüglich weiterer Anwendungsbereiche, Windfeld- und Grenzschichtmodell, Dokumentation 180
Enhancement of the atmospheric dispersion model ARTM considering additional areas of application, wind field and boundary layer models, and documentation
3616S72575
- Überarbeitung von technischen Strahlenschutznormen aus dem Bereich des Normenausschusses Materialprüfung (NMP) bzw. aus dem K967 des DKE 183
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
3617S72381
- Untersuchungen zur tätigkeitsbezogenen Strahlenexposition bei der mobilen Radiographie 186
Survey of activity-related occupational dose exposure during mobile radiography
3617S72382
- 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 190
Development and design of a dose meter resp. dose rate meter for dose-equivalent $H^(10)$ and $H'(0,07)$, in particular for photon energies less than 30 keV*
3617S72384

Studie zu Aktivitäts- und Partikelgrößenverteilungen im Nano- und Millimeterbereich in der Fortluft kerntechnischer Anlagen mit und ohne Vollfilterung 192
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

Erweiterung und Aktualisierung von ProZES (Programm zur Berechnung der Zusammenhangswahrscheinlichkeit zwischen einer Erkrankung und einer Strahlenexposition) 196
Extension and update of ProZES (program for assesment of assigned share between cancer and radiation exposure)
 3618S72230

Fortschreibung der Untersuchung und Bewertung der tätigkeitsbezogenen Strahlenexposition in Anlagen nach AtG und standortnahen Zwischenlagern für radioaktive Abfälle 199
Update of the investigation and evaluation of task-related radiation exposure in nuclear facilities and on-site interim storage facilities for radioactive waste
 3618S72392

**THEMENBEREICH 08
 NICHTIONISIERENDE STRAHLUNG**

*SUBJECT AREA 08
 NON-IONISING RADIATION*

Einfluss hochfrequenter elektromagnetischer Felder auf die Gehirnaktivität, Schlaf und kognitive Leistungsfähigkeit älterer Männer 204
Effect of high frequency electromagnetic fields on brain activity, sleep and cognitive performance in elderly men
 3616S82430

Leukämie im Kindesalter - Einfluss des Immunsystems auf die Entstehung der Erkrankung (experimentelle Studie an einem geeigneten Tiermodell) 207
Childhood leukemia - influence of the immune system on the development of the disease (experimental study in a suitable animal model)
 3616S82440

Erfassung der Magnetfeldexposition der allgemeinen Bevölkerung 210
Evaluation of the magnetic field exposure of the general population
 3616S82442

Untersuchung der Machbarkeit und Vorbereitung einer gepoolten Analyse zum Zusammenhang von Amyotropher Lateralsklerose (ALS) und Magnetfeldexposition 214
Assessment of feasibility and preparation of a pooling study on the relationship between amyotrophic lateral sclerosis (ALS) and exposure to magnetic fields
 3618S82451

Evaluierung der Botschaften und Texte des BfS aus dem Bereich des Stromnetzausbaus 217
Evaluation of messages and texts published by the BfS with regards to energy grid expansion
 3618S82454

Umfragen zur Ermittlung der Besorgnis in der Bevölkerung 1. Welchen Stellenwert haben Magnetfelder in der öffentlichen Wahrnehmung des Stromnetzausbaus? Eine deutschlandweite Befragung 220
Surveys of concerns in the public. What significance do magnetic fields have in the public perception of the extension of the high-voltage power grid?
 3618S82460

Nutzung von Mobiltelefonen und Verlauf der Gliom-Inzidenz seit 1979 223
The use of mobile phones and the development of Glioma incidence since 1979
 FM 8867

2018 BEGONNENE FORSCHUNGSVORHABEN, ZU DENEN NOCH KEINE ERGEBNISSE VORLIEGEN

Research projects initiated in 2018 of which results are not available yet

Fünftes Mortalitäts-Follow-Up (Todesursachen-Recherche) der Kohorte von ca. 60 000 Wismutbeschäftigten zum Stichtag 31.12.2018 <i>Fifth mortality follow-up of the cohort of approximately 60,000 former Wismut employees with cut-off date December 31st, 2018</i> 3618S12222	228
Ermittlung der Unsicherheit in der Strahlenexpositionsabschätzung in der Wismut-Kohorte - Teil 2 <i>Determination of uncertainties of radiation exposure assessment in the Wismut cohort- part 2</i> 3618S12223	229
Ermittlung der aktuellen Verteilung der Radonkonzentration in deutschen Wohnungen <i>Determination of the distribution of indoor radon concentration in Germany</i> 3618S12261	230
Studie über die Notwendigkeit, Möglichkeit und Machbarkeit der Ablösung von hochradioaktiven Strahlenquellen durch alternative Technologien in Deutschland <i>Study about the necessity, possibility and feasibility to supplant technologies using high-activity sealed sources with alternative technologies (not using ionising radiation)</i> 3618S22363	231
Einfluss von Niedrigdosisstrahlung auf die Leukämieentwicklung bei genetischer Prädisposition in einem Mausmodell <i>Influence of low-dose radiation on leukemia development in a genetically predisposed mouse model</i> 3618S32274	232
Bestimmung der Frequenz präleukämischer Translokationen in Nabelschnurblut <i>Determination of the frequency of preleukemic translocations in umbilical cord blood</i> 3618S32275	233
Erfassung der Häufigkeit von Strahlentherapien in Deutschland <i>Recording the frequency of radiotherapy in Germany</i> 3618S42434	234
Überarbeitung des Maßnahmenkatalogs unter Berücksichtigung von Erfahrungen nach dem Unfall in Fukushima sowie von internationalen Entwicklungen in den letzten Jahren <i>Revision of the Catalog of Protective Measures taking into account experiences after the Fukushima accident and international developments in recent years</i> 3618S62571	235
Ermittlung der Informations- und Schutzbedürfnisse von Einsatzkräften im Notfallschutz; Ableitung von Empfehlungen zur Verbesserung der Ausbildung, Information und Kommunikation <i>Identification of information and safety needs among emergency responders; Derivation of recommendations to improve education, information and communication</i> 3618S62573	236
Entwicklung ausführlicher Abfallkataster aus radiologischer Sicht für alle im allgemeinen Notfallplan des Bundes beschriebenen Referenzszenarien zur Vorbereitung der Evaluierung des besonderen Notfallplans des Bundes „Abfälle“ <i>Development of detailed radiological waste registers for all reference scenarios described in the general emergency plan of the Federal Government of Germany for the preparation of the evaluation of the special emergency plan</i> 3618S62575	237
Fachgespräch zur Risikobewertung und Risikowahrnehmung beim Stromnetzausbau <i>Expert talk on risk evaluation and risk perception regarding the extension of the electricity grid</i> 3618S82450	238

Überprüfung von Darstellungsformaten für Messergebnisse niederfrequenter Felder und deren Bedeutung für die Risikokommunikation	239
<i>Investigation of presentation formats for results of low-frequency field measurements and their relevance to risk communication</i>	
3618S82452	
Verzeichnis der Abbildungen und Tabellen	240
Abkürzungen	244
Kontaktadressen	245

ZUSAMMENFASSUNG

Das Bundesamt für Strahlenschutz (BfS) vergibt im Auftrag des Bundesministeriums 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 2018 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 Zweckmäßigkeitssaufsicht 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 BMU-Umweltforschungsplan 2018. 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 2018

Im Folgenden wird über Ergebnisse im Jahr 2018 abgeschlossener Forschungsvorhaben berichtet:

THEMENBEREICH 01 - NATÜRLICHE STRAHLENEXPOSITION

In epidemiologischen Kohortenstudien wird die Expositions-Wirkungs-Beziehung für gesundheitliche Effekte ionisierender Strahlung untersucht. Eine dieser Kohorten ist die WISMUT-Kohorte, in der die Bergbau-Arbeiter und Uran-Aufbereiter der ehemaligen Wismut AG betrachtet werden. Neben der Strahlenexposition wird auch die absorbierte Organdosis in Risikoanalysen betrachtet. Zur Ermittlung der Dosis nach Inkorporation können keine direkten Messungen durchgeführt werden. Es müssen biokinetische und dosimetrische Modelle eingesetzt werden, um basierend auf Annahmen (z. B. Atemraten) und/oder evtl. vorliegenden Messwerten (z. B.: Aktivität der Radionuklide in Ausscheidungen (Urin, Stuhl) oder Konzentration von Aerosolen in der Luft) eine Dosisabschätzung durchzuführen. Im Forschungsvorhaben „**Erfassung der biokinetischen und dosimetrischen Unsicherheiten bei der Dosiermittlung nach Inkorporation von Uran und Radon-Folgeprodukten und deren Anwendung bei Bergbau-Arbeitern und Uran-Aufbereitern der WISMUT-Kohorte**“ (3615S12230) wurden mit Hilfe von Monte-Carlo-Simulationen die Unsicherheiten, die durch die Anwendung der biokinetischen und dosimetrischen Modelle für die entsprechenden Radionuklide bedingt sind, ermittelt.

Zur Bestimmung der voraussichtlichen Einhaltung des Referenzwertes der Radonkonzentration in Aufenthaltsräumen von neu errichteten Gebäuden wurde im Rahmen des Forschungsvorhabens „**Qualifizierung der Luftdichtheitsmessung an Gebäuden zur Ableitung eines Prüfwertes im Hinblick auf die Unterschreitung des Referenzwertes der mittleren Radonkonzentration in Innenräumen**“ (3616S12241) einerseits ein Verfahren zur Messung des Anstieges der Radonkonzentration ohne gezielt angelegten Unterdruck untersucht, andererseits ein als Blower Door Test (BDT) bekanntes Verfahren mit definiertem Unterdruck in der Größenordnung von bis zu 50 Pa.

Die unterdrucklose Messung des Anstieges der Radonkonzentration über mehrere Stunden erlaubt in der Regel eine belastbare Aussage zur Radonquellstärke und damit zur Radondichtheit des Gebäudes.

Demgegenüber konnte der erwartete Vorteil des BDT, durch forcierte Luftströmungen im Gebäude eine beschleunigte Aussage zur Radonintrusion und damit Radondichtheit zu erhalten, nicht bestätigt werden. Die Strömungsverhältnisse zwischen dem Boden und dem Gebäudeinneren sowie zwischen den Räumen innerhalb des Gebäudes überlagern sich stark. Belastbare Aussagen zur Radondichtheit und Radonausbreitung im Gebäude können in kurzer Zeit nur mit einem erweiterten BDT erhalten werden. Hierbei ist eine zeitaufgelöste Messung der Radonkonzentrationen und der Druckverhältnisse in verschiedenen Räumen erforderlich.

Das Forschungsvorhaben „**Erarbeitung von DIN-Normen bez. baulicher Maßnahmen für den Radon-schutz**“ (3617S12250) zeigte, dass in nur zwei europäischen Ländern (Österreich, Tschechien) Normen zum baulichen Radonschutz existieren. Diese beschreiben unterschiedlich detailliert verschiedene Vorgehensweisen bei der Prävention (Neubau) und Sanierung (bestehende Gebäude). Der Schwerpunkt liegt auf der Radonprävention, weil beim Neubau entsprechende Maßnahmen in der Regel einfach und zumeist auch kostengünstig umgesetzt werden können. Zur Bewertung des Erfolges solcher Maßnahmen liegen aus Schweden und England systematische Untersuchungen vor. Diese zeigen, dass es deutliche Unterschiede bei der Effektivität verschiedener Maßnahmen gibt.

THEMENBEREICH 02 - STRAHLENSCHUTZTECHNIK

Ziel des Projekts „**Verifizierung internationaler Berechnungen der individuellen Strahlendosis bei externer Umgebungsstrahlung**“ (3617S22252) ist ein besseres Verständnis der Abhängigkeit von Organdosen bei externen Umgebungsquellen von Alter, Geschlecht und Body-Mass-Index. Das Projekt liefert Konversionskoeffizienten für Organdosisraten, die mit Hilfe von Voxelphantomen berechnet wurden, die wiederum aus medizinischen Daten realer Personen generiert wurden, nämlich eines Säuglings, zweier Kinder und sieben erwachsener Personen - drei männlich und vier weiblich, darunter eine Schwangere, die wiederum ein Voxelphantom eines Fötus enthält.

Bei den Quellgeometrien handelt es sich um Umgebungs-Strahlenexpositionen, d. h. Ganzkörperexpositionen durch eine Bodenflächenquelle in einer Tiefe von $0,5 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-2}$, was einer Bodenkontamination durch radioaktiven Fallout entspricht, und eine Volumenquelle in Luft, die eine radioaktive Wolke darstellt. Die Konversionskoeffizienten wurden mit Hilfe von Strahlentransportsimulationen in Voxelphantomen mittels des Monte-Carlo-Programms EGSnrc berechnet.

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

Ziel des Projektes „**Identifizierung strahlenspezifischer Biomarker in Brusttumorpatienten - zu Grunde liegende molekulare Mechanismen der strahleninduzierten Mammakarzinogenese**“ (3615S32454) war die Validierung von strahlenspezifischen Biomarkern in Tumorgewebe von Brustkrebspatientinnen. Hierzu sollte ein bestehendes Patientenkollektiv aus Tschernobyl-Liquidatorinnen erweitert und ein neues Patientenkollektiv von Brustkrebspatientinnen der Mayak-Kohorte etabliert werden. Bisher wurden mögliche strahlenspezifische Marker (genomische Kopienzahl-Veränderungen, erhöhte Expression von miRNA hsa-miR-26b-5p, verminderte Expression von TRPS1-Protein) in Tumorgewebe identifiziert. Die vorliegende Studie sollte diese Marker validieren und dazu beitragen, eine verbesserte Einschätzung des Brustkrebsrisikos durch Strahlung zu ermöglichen. Die wichtigsten Ergebnisse des Forschungsprojektes waren die Identifizierung einer strahlenspezifischen Kopienzahl-Signatur in Mammakarzinomen exponierter Patientinnen sowie die unabhängige Validierung strahlenspezifischer Marker auf epigenetischer und Protein-Ebene (hsa-miR-26b-5p und TRPS1-Protein) in dem zweiten Validierungskollektiv. Auffällig war dabei, dass das Mayak-Kollektiv mit höherer Strahlenexposition ein klareres Ergebnis (kleinere P-Werte) als das Tschernobyl-Kollektiv lieferte, da anzunehmen ist, dass hier der Anteil strahleninduzierter Tumore höher ist als im Kol-

lektiv der Liquidatorinnen. Ein Grund hierfür liegt in der unterschiedlichen Strahlenexposition. Die Dosisabschätzung für das Kollektiv der Liquidatorinnen ergab Dosen bis zu 1032 mGy, allerdings zeigte die Mehrzahl der Fälle Dosen kleiner als 50 mGy. Bei den Mayak-Fällen wurden Dosen bis 2641 mGy beobachtet, wobei die Mehrzahl der Fälle in einem Dosisbereich zwischen 5 mGy und 500 mGy lag. Sowohl in den Brustkrebsfällen des Mayak-Kollektivs als auch des Liquidatorinnen-Kollektivs konnte eine strahlenassoziierte Veränderung der Expression von hsa-miR-26b-5p und des TRPS1-Proteins bestätigt werden. Die genomische Kopienzahl-Signatur, bestehend aus neun chromosomalen Regionen, konnte in beiden Kollektiven eine vergleichbare Häufigkeit strahlenexponierter Fälle vorhersagen wie im ersten Validierungskollektiv des Vorgängerprojekts. In exponierten Normalgeweben des Mayak-Kollektivs konnte eine erhöhte Expression der miRNA hsa-miR-26b-5p nachgewiesen werden, allerdings keine verminderte Expression des TRPS1-Proteins. Das deutet darauf hin, dass die veränderte miRNA-Expression ein frühes Ereignis nach Strahlenexposition darstellt, während die veränderte TRPS1-Expression erst im Zuge der Tumorentstehung auftritt.

Epidemiologische Studien zeigen einen signifikanten Anstieg der ischämischen Herzkrankheiten (IHK) bei den Arbeitern der Plutoniumanreicherungsanlage Majak, die mit der Höhe ihrer externen Gesamtgammastrahlendosis in Zusammenhang gebracht werden kann. Die bisherigen Studien am HMGU deuten darauf hin, dass Herzschäden nach hohen Dosen ionisierender Strahlung mit einer anhaltenden Veränderung des Herzstoffwechsels durch die Hemmung des Peroxisom-Proliferator-aktivierten Rezeptors (PPAR) alpha einhergehen. Das Ziel der Studie **„Untersuchung des Risikos für kardiovaskuläre Erkrankungen nach einer Strahlenexposition mit niedrigen Dosen an Biopsieproben von Majak-Arbeitern“ (3617S32261)** war es, diese Ergebnisse mit Hilfe eines zellulären Modells (Kardiomyozyten) sowie mit zusätzlichen Herzproben aus den Autopsien von weiteren Majak-Arbeitern zu validieren. Kardiomyozyten wurden kultiviert, mit Dosen von 0 Gy und 2 Gy bestrahlt und jeweils 2 und 7 Tage nach Exposition analysiert. Die Majak-Arbeiter wurden in vier Strahlendosisgruppen (0 Gy, < 100 mGy, 100 - 500 mGy und > 500 mGy) eingeteilt und Proben der linken Herzkammer wurden analysiert. Die Proteomik-Profilierung der Kardiomyozyten und der menschlichen Herzproben zeigte Veränderungen im Spiegel der Proteine, die an kardialen Energiestoffwechselfunktionen beteiligt sind. Veränderungen im mitochondrialen Stoffwechsel und in der Sirtuin-Signalgebung wurden beobachtet. Die Analyse zeigte einen verringerten Spiegel im myokardialen Fettstoffwechsel, bei einer gleichzeitigen Reduktion des PPAR alpha, der eine Schlüsselrolle beim Herzmetabolismus spielt.

Vom 16. bis zum 17. April 2018 organisierte die European Society of Skin Cancer Prevention (EUROSKIN) ihre **„9. EUROSKIN Konferenz „Bedeutung und Nutzen von Biomarkern in der primären und sekundären Prävention von Hautkrebs““ (3617I02420)** in Brüssel (Belgien). Die Organisation erfolgte in Zusammenarbeit mit der Belgian Foundation against Cancer, den European Cancer Leagues (ECL) und mit finanzieller Unterstützung durch das Bundesamt für Strahlenschutz (BfS). Über 50 internationale Experten nahmen an der Konferenz teil. Im Anschluss an 16 Vorträge von eingeladenen Sprechern, welche den gesamten Bereich der Biomarker-Erforschung und ihren möglichen Nutzen in der primären und sekundären Prävention abdeckten, tauschten die Experten ihr Wissen und ihre Ideen aus. Die Vorträge und die anschließenden Diskussionen ergaben, dass die Charakterisierung von Biomarkern, speziell in Flüssig-Biopsien, ein hohes Potenzial für den Einsatz in primärer und sekundärer Prävention, aber auch für die Therapie von Hautkrebs hat. Nach der Klassifikation bestimmter Biomarker muss eine Validierung in großen Validierungs-Kohorten erfolgen. Die während des Workshops erarbeiteten Empfehlungen werden nach Abstimmung auf der Webseite von EUROSKIN (www.EUROSKIN.eu) veröffentlicht.

THEMENBEREICH 04 - MEDIZINISCHE STRAHLENEXPOSITION / RÖNTGENVERORDNUNG

Die Mehrzahl der im Projekt **„Erstellung und Überarbeitung von technischen Normen für den Strahlenschutz und die Qualitätssicherung in der medizinischen Radiologie“ (3615S42320)** erarbeiteten Normen werden direkt vom untergesetzlichen Regelwerk, insbesondere von der Richtlinie für die technische Prüfung von Röntgeneinrichtungen und genehmigungspflichtigen Störstrahlern - Richtlinie für Sachverständigenprüfungen nach der Röntgenverordnung (SV-RL), der Richtlinie zur Durchführung der Qualitätssicherung bei Röntgeneinrichtungen zur Untersuchung oder Behandlung von Menschen nach den §§ 16 und 17 der Röntgenverordnung - Qualitätssicherungs-Richtlinie (QS-RL) und der Richtlinie zur Verordnung über den Schutz vor Schäden durch ionisierende Strahlen (Strahlenschutzverordnung - StrlSchV) in Bezug genommen. Damit wird dem Ziel, im Strahlenschutz die Vorschriften des AtG, der StrlSchV und der RöV durch Normen zu untermauern, um eine zielgerichtete, bundeseinheitliche Umsetzung zu gewährleisten, direkt Rechnung getragen.

THEMENBEREICH 05 - RADIOÖKOLOGIE

Mit Hilfe einer Umfrage wurde im Projekt „**Experimentelle und theoretische Untersuchungen zu radioaktiven Quellen und Gegenständen im Stahlschrott**“ (3615S52320) die Ausstattung von Schrottplätzen, Schmelzbetrieben, Stahlwerken, mittelständischen Unternehmen und großen Warenumschatzplätzen in Deutschland mit Portalmessanlagen zur Auffindung radioaktiver Gegenstände und Quellen ermittelt. Dabei erwiesen sich die Schrottplätze technisch und personell sehr gut aufgestellt. Der Großteil der bisher aufgefundenen Strahlenquellen weist nur geringe Dosisleistung auf. Basierend auf den durch die Umfrage ermittelten Daten erfolgte eine Monte-Carlo-Simulation für Gammaquellen in einem typischen Schrottgebäude, welches über einen Schüttvorgang physikalisch simuliert wurde. Minimal detektierbare Co-60-, Cs-137- und Am-241-Aktivitäten wurden für verschiedene Anordnungen berechnet. Die Ergebnisse wurden durch experimentelle Untersuchungen überprüft. Weiterhin wurden die minimal detektierbaren Aktivitäten für Am-241/Be-, Cf-252- und AmO₂-Neutronenquellen im Stahlschrott durch zusätzliche Monte-Carlo-Simulationen bestimmt. Abschließend wurde Informationsmaterial zur Sensibilisierung für das mögliche Vorkommen herrenloser Strahlenquellen und die damit verbundenen Gefahren bereitgestellt sowie Vorschläge für Leitlinien zur Verbesserung der Auffindbarkeit von herrenlosen Strahlenquellen und radioaktiven Gegenständen gegeben.

THEMENBEREICH 06 - NOTFALLSCHUTZ

Selbst ein dichtes Messnetz zur Erfassung radioaktiver Freisetzungen kann nur effektiv sein, wenn die räumliche Verteilung der Messsonden sorgfältig festgelegt wird. Zudem ist ein effizientes mobiles Messsystem unabdingbar, um die Unsicherheiten in den Ortsdosisleistungen weiter zu reduzieren und zweckmäßige Entschiede für den Bevölkerungsschutz zu treffen. Dabei kann die Ermittlung zugänglicher Hochprioritätszonen für mobile Messaufträge eine Herausforderung sein. Demzufolge wurden im Forschungsvorhaben „**Verfahren zur optimierten Standortauswahl für spektrometrierende Sonden und zur Generierung von Messaufträgen für Notfallschutzübungen**“ (3615S62540) zwei Programme zu Händen des BfS entwickelt. Das erste Programm führt eine Optimierung zusätzlicher fester Messstandorte auf der Grundlage einer Linearkombination ortsabhängiger Kriterien aus. Das zweite Programm erstellt eine Kontaminationskarte nach einer Freisetzung sowie eine Unsicherheitskarte der Ortsdosisleistung, basierend auf bereits erhätlichen Ortsdosisleistungsmessungen und auf einem Satz von Ausbreitungsrechnungen (RODOS-Simulationen zu den aktuellsten Wettermodellen und für verschiedene Freisetzungsszenarien). Die Kontaminationskarte wird mit Hilfe inverser Modellierung und Modelldeformation rekonstruiert und entsteht als gewichtete Kombination der Modelle.

Im Rahmen des Forschungsvorhabens „**Wechselwirkung zwischen Ausbreitung von radioaktiven Substanzen nach Freisetzung in Gebäuden und der freien Atmosphäre in gekoppelten Simulationsmodellen** (4716R01651) wurde ein Computerprogramm zur Simulation des atmosphärischen Transports radioaktiver Stoffe nach Umsetzung einer unkonventionellen Spreng- oder Brandvorrichtung mit radioaktiver Beiladung (USBV-R) in urbanen Gebäudestrukturen implementiert (Simulationsprogramm UrbITS - Urban-Indoor-Transport-Simulator). Abhängig von den USBV-R-Parametern schätzt UrbITS ab, ob sich durch die Explosion zusätzliche Gebäudeöffnungen ergeben (z. B. durch die Zerstörung von Fenstern oder Türen), ermittelt die Aerosolgrößenverteilung der radioaktiven Beiladung und führt eine atmosphärische Transportsimulation auf Basis eines Multikompartimentmodelles durch, mit dem mehrstöckige Raumensembles mit entsprechenden Pfaden (Gebäudeöffnungen, Fenster, Türen, Lüftungsanlagen etc.) abgebildet werden können. Die Umsetzung des UrbITS erfolgte in der Programmierumgebung JAVA. Für die graphische Eingabe der Gebäudestrukturen sowie die graphische Darstellung von Simulationsergebnissen wurde ein weiteres Programm (Programm UrbITS-PC – Urban-Indoor-Simulationsprogramm-Projekt-Creator) auf Basis von EXCEL-VBA bereitgestellt.

THEMENBEREICH 07 - VORHABEN MIT ALLGEMEINER BEDEUTUNG FÜR DEN STRAHLENSCHUTZ

Die Ergebnisse der Untersuchungen im Projekt „**Fortschreibung der Untersuchung und Bewertung der tätigkeitsbezogenen Strahlenexposition in Anlagen nach AtG, standortnahen Zwischenlagern für radioaktive Abfälle und nichtkerntechnischen Einrichtungen nach StrlSchV und RöV**“ (3615S22301) zeigen, dass sich die Strahlenexposition des Personals in den im Betrieb befindlichen Leistungsreaktoren in Deutschland auf einem niedrigen Niveau stabilisiert hat. Insbesondere seit dem Abschalten von acht Reakto-

ren im Jahr 2011 zeigt sich eine weitere Reduzierung der Strahlenexposition in diesen acht Anlagen. Generell ist dieses sowohl durch den Trend der mittleren Personendosen als auch durch die Entwicklung in der Verteilung der anlagenbezogenen Individualdosen zu erkennen; dies gilt besonders beim Eigenpersonal, aber auch (wenngleich nicht in gleichem Umfang) für das Fremdpersonal.

Der Abbau der in Stilllegung befindlichen Anlagen lässt sich mit niedrigeren Jahreskollektivdosen im Vergleich zum Anlagenbetrieb durchführen. Die Gesamt-Jahreskollektivdosis aller in Stilllegung befindlichen Anlagen zeigt in den letzten Jahren eine fallende Tendenz, wobei Schwankungen infolge des individuellen Abbaufortschritts zu beobachten sind.

Für die einzelnen betrachteten Anlagen der Ver- und Entsorgung liegen die Dosiswerte deutlich unterhalb der Jahreskollektivdosen der Kernkraftwerke in Betrieb.

Ziel des Projektes „**Modellbasierte Ermittlung des Eintrags von I-131 in die OSPAR-Regionen des Nord-ostatlantiks auf Grund von nuklearmedizinischen Anwendungen mit Radioiod in Deutschland**“ (3616S72570) war es, die modelltechnischen Grundlagen für die im Rahmen des OSPAR-Abkommens zu quantifizierenden Einträge von I-131 in den Nordostatlantik für die deutschen Flusssysteme zu verbessern. Dazu wurde das bereits im Vorhaben 3611S70013 für die Nordseezuflüsse Rhein (mit Neckar und Main), Elbe, Weser und Ems entwickelte Bilanzmodell OSBIMO um die Nebenflüsse Ruhr, Emscher, Lippe (Rhein), Leine/Aller (Weser), Saale und Havel (Elbe) erweitert. OSBIMO bilanziert I-131 auf Basis von Abflussprozessen, von Transport-, Sedimentations- und Erosionsprozessen des Schwebstoffs sowie den Verteilungsprozessen von I-131 (gelöstes und partikulär gebundenes I-131) im Gewässer. Aus den Ergebnissen des zeitlich parallelen Forschungsprojektes (3614S50013) wurde eine über Kläranlagen eingetragene Fracht von ca. 12 kBq I-131 pro Einwohner pro Jahr als Inputwert übernommen. Ein Vergleich der Modellergebnisse mit den aus Messwerten abgeleiteten Frachten zeigte für einige Gewässer eine gute Übereinstimmung, bei anderen aber noch deutliche Unterschiede. Insgesamt konnte das Verhalten von I-131 in den Flusssystemen deutlich verbessert abgebildet werden.

Ein „**Internationaler Workshop zum Thema LEDs als neue Leuchtmittel - sicherer Schutz vor Augenschäden und Blendwirkungen?**“ (3618I02410) fand am 6.-7.11.2018 statt. Es wurden Fragen zu den technischen Besonderheiten von Leuchtdioden (LED), zu relevanten Expositionsszenarien, möglichen Risiken für die Augen, der Tauglichkeit von Normen und Empfehlungen in Bezug auf LEDs sowie zum weiteren Forschungsbedarf mit Experten aus den Bereichen Normung, Messtechnik, Biologie/Medizin und Strahlenschutz diskutiert. Die Ergebnisse des Workshops werden in Informationen und Empfehlungen des BfS sowie in die Diskussionen in Normungsgremien einfließen. Die organisatorischen Aufgaben zur Vorbereitung, Durchführung und Nachbereitung lagen maßgeblich in den Händen des Auftragnehmers Valentum GmbH.

THEMENBEREICH 08 - NICHTIONISIERENDE STRAHLUNG

Die Studie „**Exposition und Wirkungen der elektromagnetischen Felder neuartiger Technologien im Zwischenfrequenzbereich - systematische Review**“ (3616S82437) zeigt, dass eine aussagekräftige Bewertung möglicher gesundheitlicher Auswirkungen von Feldquellen im Zwischenfrequenzbereich nur mit einer soliden Datenbasis möglich ist, welche gegenwärtig noch nicht in zufriedenstellendem Ausmaß vorhanden ist. Insbesondere bei jenen Geräten bzw. Gerätegruppen, bei denen einzelne Ergebnisse bereits auf hohe Immissionen oder Expositionen hindeuten, bzw. bei denen eine weite Verbreitung angenommen werden kann, werden daher frequenzselektive Messungen empfohlen. Bei zukünftigen Studien zu biologischen Wirkungen sollten Bias-Risiken bezüglich Design, Durchführung und Dokumentation minimiert werden. Insbesondere Tier- und Humanstudien bedürfen weiterer Forschung. Außerdem könnten einige in der Praxis gängige Zwischenfrequenzquellen ein Risiko für Patienten mit aktiven Implantaten darstellen. Eine Festlegung fundierter Grenzwerte für Immissionen im Zwischenfrequenzbereich im Hinblick auf Patienten mit aktiven Implantaten wird daher empfohlen.

Im Rahmen des Projektes „**Messung und Bewertung für die Allgemeinbevölkerung relevanter optischer Strahlenquellen: Abschätzung von Risiken für das Auge, insbesondere Blaulichtgefahr und Blendung**“ (3617S82441) wurden 40 Produkte vermessen und beurteilt. Es wurden Produkte gewählt, die mit besonders hoher Lichtleistung beworben wurden und für den Endverbraucher im freien Handel erhältlich sind. Die meisten Produkte mit inkohärenter Strahlung wurden nach DIN EN 62471 mit Risikogruppe 2 klassifiziert. Nur wenige waren korrekt gekennzeichnet bzw. mit Warnhinweisen versehen. Ein großer Teil der Lasersysteme war

ebenfalls nicht korrekt gekennzeichnet und mehrere der untersuchten Produkte sind darüber hinaus potentiell Augen-gefährlich, ohne dass dies für den Anwender ersichtlich ist.

EMF-, Plasma- und Ultraschallquellen werden zunehmend zu kosmetischen Zwecken, für die Wellness und im Fitnessbereich eingesetzt. Sowohl gewerbliche als auch private Nutzungen sind üblich. Es dominiert die elektrische Stimulation. Verbreitet ist auch magnetische Stimulation mit gepulsten Feldern. Insgesamt ließen sich im Vorhaben „**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**“ (3617S82444) nur wenige Belege für problematische Nebenwirkungen finden. Allerdings gibt es Hinweise auf Risiken: einerseits können Geräte Nutzer*innen/Patient*innen über den Grenzwerten exponieren, wenn sie als Medizinprodukte zertifiziert sind. Andererseits gibt es in der Fachliteratur, teilweise gestützt durch Meldungen in den Sozialen Medien, Diskussionen oder Warnungen zu einzelnen Anwendungen. Empfehlungen: (i) Ausarbeiten einer Empfehlung für staatlich anerkannte Prüfstellen, wann Geräte als Medizingeräte für den nicht-ärztlichen Einsatz freigegeben werden sollen. (ii) Zulassung von bestimmten Anwendungen nur von ausgebildetem Personal im gewerblichen Einsatz. (iii) Abklären des Bedarfs einer Normierung von Plasma- und Infrashallanwendungen im Kosmetik- und Wellnessbereich. (iv) Prüfen, ob der Einsatz von Ultraschall mit Intensitäten oberhalb von 50 mW/cm^2 ausserhalb des ärztlichen und physiotherapeutischen Einsatzes untersagt werden soll. (v) Forschungsförderung (v.a. in den Bereichen: transkranielle Stimulation, Ultraschall- und Infrashallstimulation, gepulste Magnetfeldstimulation, Elektromyostimulation).

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 2018.

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 BMU/BMUB Environmental Research Plan (Umweltforschungsplan) 2018. 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 2018 will be reported:

SUBJECT AREA 01 - NATURAL RADIATION EXPOSURE

“Evaluation of the biokinetic and dosimetric uncertainties on the dose assessment following intake of uranium and radon progeny, and their application to miners and millers of the WISMUT-cohort“ (3615S12230)

The WISMUT cohort, which consists of miners and uranium processing workers of the former Wismut AG is one of the cohorts used to develop dose-effect relationships for biological effects of ionising radiation. For the assessment of doses due to incorporation of radionuclides biokinetic and dosimetric models must be applied. Based on assumptions (e. g. breathing rated) and/or monitoring results (e. g. activity of radionuclides in excreta (urine, feces) doses are estimated. Monte Carlo Simulations were used to quantify the uncertainties which arise due to the application of biokinetic and dosimetric models. Methods and results of the research project **“Evaluation of the biokinetic and dosimetric uncertainties on the dose assessment following intake of uranium and radon progeny, and their application to miners and millers of the WISMUT-cohort“ (3615S12230)** are reported here.

In order to determine the compliance of the indoor radon concentration in newbuilds with the reference level, within the framework of the project **“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“ (3616S12241)** two methods were investigated and compared: measuring the slope of the radon concentration over time without suction (underpressure), and a blower door test (BDT) using a suction in the order of 50 Pa. The suction-free measurement of the radon concentration over several hours leads to robust results regarding the radon intrusion into the building and, hence, the radon tightness.

By contrast, the expected advantage of the BDT, namely delivering accelerated results on the radon intrusion and radon tightness of the building, could not be confirmed. Airflow patterns between the ground and the building, as well as within the building itself, interfere with each other in a rather complex fashion. Only an extend-

ed BDT may be capable of providing rapid answers on radon intrusion and tightness. An extended BDT requires time resolved measurements of radon concentrations and pressure differentials in several rooms of the building.

The project “**Development of DIN standards regarding building measures for radon protection, Part 1 "Radon" (3617S12250)**” shows, that just in two European countries (Austria, Czech Republic) norms about radon protection of buildings are existing. Methods and approaches for radon prevention (in new buildings) as well as radon remediation (in existing buildings) are described varying in detail. The focus is on radon prevention, because these measures can usually be implemented easily and often also cost-effective. For the assessment of the success of these measures, systematic investigations were conducted in Sweden and England. Here, clear differences in the effectiveness of different measures could be shown.

SUBJECT AREA 02 - RADIATION PROTECTION TECHNIQUES

The aim of the project “**Verification of international calculations of the individual radiation dose due to environmental exposures (3617S22252)**” is a better understanding of the variation of organ dose from an external environmental source with age, gender, and body-mass index. The project provides coefficient rates of organ doses, calculated using voxel phantoms constructed from medical data of real people i. e. of a baby, 2 children and 7 adult phantoms - 3 male and 4 female, one of them pregnant, including a foetus.

The coefficients are given for source geometries representing environmental radiation exposures, i. e. whole body irradiations from a plane source in the ground at a depth of $0.5 \text{ g}\cdot\text{cm}^{-2}$, representing ground contamination by radioactive fall-out and a volume source in air, representing a radioactive cloud. The coefficients were calculated employing the Monte Carlo code EGSnrc simulating the photon transport in the voxel phantoms.

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

Aim of the project “**Identification of radiation-specific biomarkers in breast cancer patients - molecular mechanisms underlying radiation-induced breast carcinogenesis (3615S32454)**” was a validation of radiation-associated biomarkers in tumor tissues of breast cancer patients. We pursued the goal to enlarge an existing patient cohort of female liquidators of the Chernobyl accident and to establish another group of breast cancer patients from the Mayak worker cohort. In preceding projects potentially radiation-specific markers (genomic copy number alterations, increased expression of miRNA has-miR-26b-5p, reduced expression of TRPS1 protein) in tumor tissues have been identified. The current study aimed at an independent validation of these markers and an improved assessment of breast cancer risks after radiation exposure. The most important findings of the study were the identification of a radiation-specific copy number signature and an validation of radiation-specific epigenetic and protein markers (hsa-miR-26b-5p and TRPS1 protein) in an independent validation cohort. It is interesting to note that the Mayak cohort revealed clearer results (smaller p-values) than the post-Chernobyl cohort due to the fact that the proportion of radiation-induced tumors is presumably higher in the Mayak cohort. This is mainly due to the different dose exposure. The dose estimation for the cohort of female liquidators revealed doses up to 1032 mGy, however, the majority of patients was exposed to doses smaller than 50 mGy. For the Mayak cases dose exposures up to 2641 mGy were observed with a preferential dose exposure for the majority of cases in the range between 50 mGy and 500 mGy. A radiation-associated alteration of the expression of hsa-miR-26b-5p and TRPS1 protein could be confirmed in breast cancer cases of both cohorts. The genomic copy number signature consisting of nine chromosomal regions predicted in both cohorts a comparable frequency of radiation-exposed cases than in the first validation cohort of the preceding project. In exposed normal tissues of the Mayak cohort an increased expression of the miRNA hsa-miR-26b-5p was determined, however, no reduced expression of the TRPS1 protein was noticed. This finding indicates that the altered miRNA expression represents an early event after radiation exposure whilst an altered TRPS1 expression occurs later during tumor development.

Epidemiological studies show a significant increase in ischemic heart disease incidence associated with total external gamma-ray dose among Mayak plutonium enrichment plant workers. Previous studies at the HMGU suggest that persistent alteration of cardiac metabolism due to the inhibition of peroxisome proliferator-activated receptor (PPAR) alpha accompanies heart damage after high doses of ionising radiation. The aim of the study “**Investigation of cardiovascular disease risk after low dose radiation using biopsy samples of Mayak workers (3617S32261)**” was to further validate these findings using a cellular model (cardiomyocytes) and additional autopsy heart samples from a new set of Mayak workers. Cardiomyocytes were cultured

and irradiated with doses of 0 and 2 Gy and the analysis was performed 2 and 7 days after the radiation exposure. The Mayak workers were stratified into four radiation dose groups (0 Gy, <100 mGy, 100 - 500 mGy, and > 500 mGy) and the left ventricle was analysed. Proteomics profiling of both cardiomyocytes and human heart samples revealed alterations in the level of proteins involved in the cardiac energy metabolism. Alterations in mitochondrial metabolism and sirtuin signalling were observed. The analysis showed decreased protein levels of myocardial lipid metabolism accompanied by a reduction in the level of active PPAR alpha, a key regulator of cardiac metabolism.

From 16th to 17th April 2018, the European Society of Skin Cancer Prevention (EUROSKIN) organised its 9th International Workshop in Brussels (Belgium). The **“9th EUROSKIN Workshop “Use of biomarkers in primary and secondary prevention of skin cancer”” (3617I02420)** was organised in collaboration with the Belgian Foundation against Cancer, the European Cancer Leagues (ECL) and with financial support from the Federal Office for Radiation Protection (BfS). Over 50 international experts participated in the workshop. Following 16 presentations by invited speakers covering the entire field of biomarker research and its potential benefits in primary and secondary prevention, the experts shared their knowledge and ideas. The presentations and subsequent discussions revealed that the characterisation of biomarkers, especially in liquid biopsies, has high potential for use in primary and secondary prevention as well as in the treatment of skin cancer. After classification of certain biomarkers, validation must be carried out in large validation cohorts. The recommendations developed during the workshop will be published after consultation on the EUROSKIN website (www.EUROSKIN.eu).

Subject area 04 - Medical radiation exposures / X-ray Ordinance

The majority of the in the project **“Preparation and revision of technical standards for radiation protection and quality assurance in medical radiology“ (3615S42320)** developed standards are directly from the subordinate regulations, in particular from the guideline for the technical examination of X-ray equipment and approval needles - Guideline for expert examinations according to the X-ray regulation (SV-RL), the guideline for the execution of the quality assurance with X-ray equipment for the investigation or treatment of People after the §§ 16 and 17 of the X-ray Ordinance - Quality Assurance Directiv (QS-RL) and the Directive on the Ordinance on the Protection against Damage by Ionizing Radiation (Radiation Protection Ordinance - StrlSchV). This will directly meet the goal of supporting radiation protection by the provisions of the AtG, the StrSchV and the RöV by means of standards, in order to ensure a targeted, nationwide implementation.

SUBJECT AREA 05 - RADIOECOLOGY

In the project **“Orphan sources and radioactive materials in steel scrap (experimental and theoretical studies)“ (3615S52320)** the equipment of scrap yards, melting plants, steel plants, medium-sized companies and transshipment centres in Germany for the detection of radioactive materials and sources has been identified by means of a survey. Scrap yards proved to be well equipped regarding technical and human resources. So far, the majority of discovered radioactive sources show only low dose rates. Based on data resulting from the survey a Monte-Carlo simulation for gamma-sources in containers containing steel scrap has been realized. The fill operation has been simulated by a physical model. The minimal detectable activities have been calculated for Co-60, Cs-137 and Am-241 for different geometric setups. The results have been verified by experimental research. Additionally the minimal detectable activities for the neutron sources Am-241/Be, Cf-252, and AmO₂ within steel scrap have been determined by Monte-Carlo simulations. Concluding information material has been designed to increase the awareness for the possibility of orphan radioactive sources and the resulting risks. Also suggestions for guidelines have been given to improve the possibilities to detect orphan radioactive sources and materials.

SUBJECT AREA 06 - EMERGENCY MANAGEMENT

Even a dense radioactive incident monitoring network can only be effective if the spatial distribution of the monitoring sites is carefully chosen, and an efficient mobile monitoring system is unavoidable in order to reduce the dose rate uncertainties further and take the appropriate decisions for the protection of the population. However, it may be a challenge to identify safe high priority zones for mobile monitoring. For this reason, in the research project **“Optimisation procedure for the selection of locations of spectroscopic probes and for the generation of measurement tasks for emergency exercises“ (3615S62540)** two software tools have been developed on behalf of the German radiation protection service. The first tool performs a spatial

optimisation for further stationary monitoring probes, using a linear combination of spatially dependent optimisation criteria. The second tool provides a post-incident contamination chart and a chart of the dose rate uncertainty, both based on already available dose rate measurements and on a collection of propagation simulations (RODOS simulations for the most recent weather forecast models and for several scenarios of radioactive material release). The contamination chart is reconstructed by inverse modelling and model deformations, resulting in a weighted combination of the simulation models.

In the frame of the research project **“Interaction between the dispersal of radioactive material after release in buildings and the free atmosphere in linked simulation models“ (4716R01651)** a computer code for the simulation of atmospheric radioactive material transport in urban buildings after the ignition of a dirty bomb has been implemented (computer code UrbITS – Urban Indoor Transport Simulator). Dependent on the dirty bomb parameters UrbITS estimates additional room openings due to explosion effects (e. g. due to destroyed windows or doors), then calculates the aerosol size distribution of the radioactive load and finally carries out an atmospheric transport calculation using a multi-compartment model where multi storey room ensembles with associated paths (room openings, windows, doors, HVAC-systems etc.) can be featured. UrbITS has been implemented in the programming environment JAVA. For a graphic based input and the graphical output of simulation results a further code (UrbITSPC - Urban Indoor Transport Simulator Project Creator) based on EXCEL VBA has been provided.

SUBJECT AREA 07 - PROJECTS OF GENERAL IMPORTANCE TO RADIATION PROTECTION

The results of the investigation and evaluation of the project **“Update and evaluation of task-related exposure in nuclear facilities and other radiation relevant installations under the aspect of optimisation” (3615S22301)** illustrate that the total occupational radiation exposure caused by work in nuclear facilities is decreasing, especially since the final shutdown of 8 NPPs in the year 2011. The decreasing trend appears in mean individual dose and in the distribution of individual dose. In work for dismantling, especially of nuclear power plants, the resulting exposure is low in comparison with NPPs in operation.

In nuclear fuel supply and waste management installations in Germany the occupational radiation dose is very low in comparison with NPPs in operation.

The project **“Model based estimation of I-131 input into the OSPAR regions due to the nuclear medicinal application of radioiodine in Germany” (3616S72570)** aimed according to the framework of the OSPAR Convention to improve the modelling basis for quantifying inputs of I-131 from the German river systems into the North-East Atlantic. For this purpose, the balance model OSBIMO, already developed in project 3611S70013 for the rivers Rhine (including Neckar and Main), Elbe, Weser, and Ems, was extended by detailed modelling of the tributaries Ruhr, Emscher, Lippe (Rhine), Leine/Aller (Weser), Saale and Havel (Elbe). OSBIMO balances I-131 by considering run-off processes, transport, sedimentation and erosion processes of suspended matter as well as the partitioning processes of I-131 (dissolved and particulate-bound I-131) in the water body. From the results of the simultaneous research project (3614S50013) a load from wastewater treatment plants of approx. 12 kBq I-131 per inhabitant per year was derived as an model input value. A comparison of the model results with the load derived from the measured values showed a good match for some water bodies, but also clear differences for others. Altogether, the modelling of the behavior of I-131 in the river systems could be clearly improved.

On 6-7 November 2018, an **“International Workshop ‘LED as an upcoming new light source - Safe protection against eye damage and glare’” (3618I02410)** was held. Questions regarding the technical characteristics of light emitting diodes (LEDs), relevant exposure scenarios, possible risks for the eyes, the suitability of standards and recommendations in relation to LEDs as well as further research needs were discussed with experts from the fields of standardisation, measurement technology, biology/medicine and radiation protection. The results of the workshop will be incorporated into information and recommendations of the BfS as well as into discussions in standardisation committees. The contractor Valentum GmbH was responsible for the technical organisation of the workshop.

SUBJECT AREA 08 - NON-IONISING RADIATION

The study “**Exposure and effects of electromagnetic fields of new technologies operating in the intermediate frequency range - a systematic review**“ (3616S82437) shows, that a comprehensive conclusion of possible health effects of field sources in the intermediate frequency range requires a solid set of data, which is currently not available to a satisfying extent. Especially for representative devices or device groups, for which individual findings have already provided indications of high immission or exposure values, or for which wide distribution can be assumed, systematic frequency selective measurements are recommended. For future studies regarding biological effects, bias related to design, execution and documentation should be minimised. Further research is needed for animal and human studies. Furthermore, field sources of everyday life in the intermediate frequency range might induce electromagnetic interference to patients with active implantable devices. Definition of limit values for patients with electronic implants is therefore highly recommended.

Within the project “**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) 40 different products were measured and assessed. Products were chosen which were promoted to have a high output intensity and which are available to the public. Most of the products with incoherent radiation were classified in risk group 2 according to DIN EN 62471. Just few of them were labeled correctly and had the right warning notice. Much of the laser systems were not labeled correctly and several of the products under study might be potentially harmful to the eyes without this being apparent to the user.

Home as well as studio based cosmetic, wellness and fitness therapies increasingly employ devices which use electromagnetic fields, cold plasma and ultrasound as sources for stimulating physiology. Electric stimulation is the most popular application followed by magnetic stimulation with pulsed fields. The analysis in the project “**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) did not elicit many cases of detrimental health impacts. However, some indications should be taken seriously and require further attention: First, many of the investigated devices expose users above general population limits. Second, in the scientific literature as well as in the social and print media we found reports and warnings related to selected applications. Recommendations: (i) Provide notified bodies with guidelines and recommendations concerning the approval of medical products for private cosmetic, wellness and fitness use. (ii) Allow only formally trained personnel for the commercial use of devices for specific applications. (iii) Think about the need of standards for devices employing plasma and ultrasound for cosmetic and wellness purposes. (iv) Examine whether ultrasound devices with power levels above 50 mW/cm² used by non-medical personnel should be prohibited. (v) Support health research (main areas: transcranial stimulations, ultrasound and infrasound stimulations, kpulsed magnetic field stimulation, and electromyostimulation).

ERGEBNISSE (ABSCHLUSSBERICHTE)

der vom BfS begleiteten Strahlenschutz-Forschungsvorhaben des BMU 2018

RESULTS (FINAL REPORTS)

of BfS supported BMU radiation protection research projects in 2018

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			
<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>			
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 / MB 3		verantwortlich für den Text Dr. B. Breustedt

1. ZIELSETZUNG

Ein wichtiger und immer aktueller Punkt im Strahlenschutz ist das Verständnis der Strahlenwirkungen und die Untersuchung von gesundheitlichen Risiken 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 geben und Untersuchungen der Zusammenhänge zwischen Organdosis und Tumorentstehung oder Mortalität ermöglichen. In den niedrigen Dosisbereichen ist die korrekte Bestimmung der Organdosen und der assoziierten Unsicherheiten wesentliche Voraussetzung für solche epidemiologische (aber auch biologische) 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 war es, die Unsicherheiten, die sich aus der Anwendung der Modelle und Ihrer Referenzannahmen ergeben, zu ermitteln und zu quantifizieren für die in epidemiologischen Studien in der WISMUT-Kohorte relevanten Zielorgane:

- rotes Knochenmark
- Dickdarm (Colon)
- Magen
- Leber
- Dünndarm
- Herz
- Nieren.

Es wurden vier Expositions-kategorien mit definierten Bedingungen betrachtet:

- Inhalation von Stäuben durch Bergbauarbeiter
- Inhalation von Stäuben durch Aufbereiter
- Inhalation von Radongas
- Inhalation von Radon-Folgeprodukten.

In den Rechnungen sollten die jeweils aktuellsten biokinetischen und dosimetrischen Modelle der Internationalen Strahlenschutzkommission (ICRP) angewandt werden.

2. EINZELZIELSETZUNG

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

- Inhalation von Uran und anderen im Uranerzstaub vorhandenen langlebigen Radionukliden (getrennt

- betrachtet für Bergbauarbeiter und Uranaufbereiter)
- Inhalation von Radongas
 - Inhalation von Radonfolgeprodukten.

Betrachtet wurden folgende biokinetische und dosimetrische Modelle:

- das überarbeitete Modell des menschlichen Atemtraktes (HRTM) aus der ICRP-Publikationsreihe über berufliche Inkorporationen (OIR Series)
- das Modell des menschlichen Verdauungstraktes (HATM) aus Publikation 100 der ICRP
- die systemischen Modelle für Uran, Thorium, Radium, Radon, Blei, Protactinium und Actinium und deren Folgeprodukte aus der ICRP-Publikationsreihe über berufliche Inkorporationen
- die dosimetrischen Modelle für den weiblichen und den männlichen Referenzmenschen (Adult Computational Phantoms) aus Publikation 110 der ICRP bzw. die damit berechneten spezifischen absorbierten Anteile aus Publikation 133 der ICRP.

Mit Hilfe der biokinetischen Modelle wurden die Retentionskurven der betrachteten Radionuklide in den jeweiligen Kompartimenten berechnet. Diese geben an, wieviel Aktivität sich jeweils im Kompartiment befindet. Über das Zeitintegral dieser Kurven kann die Zahl der stattfindenden Zerfälle berechnet werden. Die Veränderungen dieser Kurven, welche durch Variation der Modellparameter entstehen, wurden anschließend untersucht und bewertet, um Aussagen über die Unsicherheiten in der Dosis zu erhalten. Die Umrechnung der aus den Retentionskurven durch Integration ermittelten Zerfälle der Radionuklide (hier wie im beruflichen Strahlenschutz üblich für einen Zeitraum von 50 Jahren betrachtet) in Organdosiswerte erfolgte mit Hilfe der Referenzphantome der ICRP. Grundlage für die Berechnung der dafür notwendigen (strahlungsgewichteten) S-Koeffizienten bildete die ICRP Publikation 133.

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 Stoffwechselfade für den betrachteten Stoff.

Durch die Notation in Vektor- und Matrixform lassen sich biokinetische Modelle durch nur zwei Variablen vollständig beschreiben: einen Spaltenvektor der Kompartimentinhalte sowie eine Ratenmatrix. Der Spaltenvektor enthält die Kompartimentinhalte, die Matrix enthält die Transferkoeffizienten der Übergänge zwischen den Kompartimenten. Letztere definieren die „Geschwindigkeiten“ der durch die Übergänge dargestellten Prozesse. Die Lösung der biokinetischen Modelle sind die Retentionsfunktionen, die für die Zeiten nach der Zufuhr angeben, wieviel Aktivität sich im Kompartiment befindet. Durch Integration dieser Retentionsfunktionen über die Zeit kann die Zahl der Zerfälle im Kompartiment berechnet werden. Betrachtet wird im Projekt der im beruflichen Strahlenschutz übliche Zeitraum von 50 Jahren.

Die S-Koeffizienten geben an, wieviel Energie im betrachteten Zielorgan deponiert wird, wenn im Quellorgan ein Kern zerfällt. Das Produkt der Anzahl der Zerfälle im Quellorgan mit dem S-Koeffizienten ergibt den Dosisbeitrag im Zielorgan. Durch Summation über alle Quellorgane kann dann die Dosis im Zielorgan berechnet werden. Berechnet man so die Dosis für die Zufuhr von einem Becquerel des Mutternuklides, erhält man den sog. Dosiskoeffizienten. Dieser gibt die Dosis im Zielorgan pro aufgenommenem Becquerel an.

3.1 ERMITTLUNG DER UNSICHERHEITEN IN DOSISKOEFFIZIENTEN

Für die Ermittlung der Unsicherheiten aus den biokinetischen Modellen wurden Monte-Carlo Rechnungen durchgeführt. Dazu wurden die Transferkoeffizienten der einzelnen Modelle aus geeigneten Verteilungen gesampelt und so neue „individuelle“ Modelle erstellt. Die Lösung vieler Modelle ergibt eine Verteilung der Dosiswerte bzw. Dosiskoeffizienten, aus der Informationen über die Unsicherheiten, z. B. in Form von statistischen Kenngrößen, gewonnen werden können. Im hier dargestellten Forschungsvorhaben wurde eine globale Unsicherheitsanalyse durchgeführt, d. h. es wurde ein Rauschen in allen Parametern des Modells gleichzeitig betrachtet.

Die Wahl der Eingangsverteilungen, mit denen die Transferkoeffizienten verrauscht werden, erfolgte basierend auf eigenen Erfahrungen und Publikationen von ähnlichen Studien. Es wurden - wie für physiologische

Parameter üblich - Log-Normal-Verteilungen angenommen. Der geometrische Mittelwert der Verteilung entspricht dem Parameterwert aus dem Referenzmodell, die Breiten der Verteilungen wurden durch die geometrische Standardabweichung (GSD) definiert.

3.2 SOFTWARE ZUR LÖSUNG DER MODELLE

Für die Berechnungen der S-Koeffizienten wurde das Programm "SCoeffCalc" entwickelt. Dieses verwendet die von ICRP in Ihrer Publikation 133 zur Verfügung gestellten Daten aus den dosimetrischen Referenzmodellen (spezifisch absorbierte Anteile) und berechnet daraus für die beim Zerfall emittierten Strahlungen für alle Quellorgan-Zielorgan-Kombinationen die S-Koeffizienten für Energiedosis (in Gy/Zerfall) und Äquivalentdosis (in Sv/Zerfall). Zusätzlich zum S-Koeffizienten werden auch die Beiträge der Strahlungsarten (Alpha-Teilchen, Elektronen, Photonen) zum S-Koeffizienten berechnet. Dieses ermöglicht die Berechnung der Beiträge dieser Teilchenarten zum Dosiskoeffizienten.

Für die Berechnung der Dosiskoeffizienten wurde das C++-Programm "BioKinSolver" erstellt, mit dem die biokinetischen Referenzmodelle der ICRP umgesetzt, aneinander gekoppelt und gelöst werden können. Die Lösung der zu den Kompartimentmodellen gehörenden Differentialgleichungssysteme erfolgt dabei über Eigenwertanalyse der Systemmatrizen. Als Ergebnisse der Lösung eines biokinetischen Modells liefert das Programm die Kompartimentinhalte und die Zahl der Zerfälle in den Kompartimenten als Zeitreihen. Mit den S-Koeffizienten werden daraus die Dosiswerte (nach 50 Jahren oder als Zeitreihe) berechnet. Dabei werden auch die Beiträge der einzelnen Nuklide und der Strahlungsarten zur Dosis berechnet und ausgegeben.

Für die Transferkoeffizienten der Modelle kann ein Sampling aus angegebenen Parameterverteilungen erfolgen, um ein verrauschtes „individuelles“ Modell zu erzeugen. Dieses Modell kann dann gelöst werden. Die jeweils ermittelten Dosiswerte und die Beiträge der Strahlenarten werden zeilenweise in Dateien gespeichert. Für deren Auswertung wurde das Programm "HistoMaker" entwickelt. Dieses liest die mit "BioKinSolver" erstellten Dosisdateien ein, erstellt Histogramme für die Verteilungen und berechnet die statistischen Kenngrößen (Quantile, GSD, ...). Zusätzlich können die Verteilungen als Histogramme oder Boxplots dargestellt werden.

Die entwickelten Programme für die Dosisberechnung wurden durch Vergleich mit den Retentionskurven und Dosiskoeffizienten für Referenzannahmen zu den im Projekt betrachteten Nukliden erfolgreich validiert.

4. DURCHFÜHRUNG

4.1 BERECHNUNG DER DOSISKOEFFIZIENTEN

Für die beteiligten Radionuklide wurden mit Programm "SCoeffCalc" die S-Koeffizienten berechnet. Es wurde ein S-Koeffizient für die Quellregion "*other Tissues*", die in den biokinetischen Modellen durch das Kompartiment "*soft Tissues*" beschrieben wird, berechnet. Die Zusammensetzung der Quellregion ergibt sich aus der Modellstruktur (d. h. den explizit modellierten Organen). Da die Modelle beim Aneinanderkoppeln in der Zerfallsreihe teilweise modifiziert werden mussten, wurde für jede Situation (d. h. Nuklide als Eingangsnuklid, Nuklid als Folgeprodukt von ...) ein eigener Satz von S-Koeffizienten berechnet.

Für die betrachteten Szenarien wurden die benötigten Modelle mit den in der Projektdefinition vorgegebenen Parametern in "BioKinSolver" implementiert und gelöst. Die Dosiskoeffizienten und die Anteile der einzelnen Nuklide bzw. Zerfallsreihen sowie die Beiträge der Teilchenarten wurden mit den zuvor erstellten S-Koeffizienten berechnet. Dabei wurden nur die Nuklide, deren Beitrag zur Dosis größer als 0,5 % ist, betrachtet. Die Rechnungen wurden jeweils für die Zufuhr von 1 Bq der betrachteten Radionuklide durchgeführt. Somit entsprechen die Dosiswerte den jeweiligen Dosiskoeffizienten in Sv/Bq bzw. Gy/Bq. Für Nuklidmischungen wurden die Zufuhren normiert auf 1 Bq des Hauptnuklides für das betrachtete Szenario. Die Dosiswerte wurden für exponierte Männer, die den überwiegenden Anteil in der WISMUT-Kohorte darstellen, berechnet. Für die betrachteten Nuklide gibt es keine abweichenden Parameterwerte für eine weibliche Biokinetik, lediglich für die Keimdrüsen (Hoden bzw. Ovarien) gibt es Unterschiede zwischen den Modellen.

4.2 ERMITTLUNG DER UNSICHERHEITEN DER DOSISKOEFFIZIENTEN

Nach einer Literaturstudie wurden die bekannten Unsicherheiten und die zu erwartenden Beiträge der einzelnen Modelle und Ihrer Parameter zusammengestellt. Zur Berechnung der Unsicherheiten wurde die Berechnung der Dosiskoeffizienten als Monte-Carlo-Simulationen mit veränderten Parametern wiederholt durchgeführt. Dabei wurden für jede Rechnung die Parameter der Modelle aus geeigneten Eingangsverteilungen ge-

sampelt (verrauscht). In den beschriebenen Rechnungen wurden nur die Parameter der biokinetischen Modelle mit einem Rauschen versehen. Die S-Koeffizienten, welche als Parameter der dosimetrischen Modelle interpretiert werden können, bleiben in den Rechnungen unverrauscht, da die zu erwartenden Beiträge der Unsicherheiten klein sind. Aus der Verteilung der Werte von 10 000 Modelllösungen wurden mit dem Programm "HistoMaker" die statistischen Kennzahlen zur Beschreibung der Unsicherheiten berechnet und die Verteilungen als Boxplots dargestellt. In den Monte-Carlo-Rechnungen mussten die Ergebnisverteilungen durch Scheide- und Begrenzungsfaktoren limitiert werden um Artefakte zu eliminieren. Mit dem Schneidefaktor wird die nach oben unbegrenzte Verteilung, aus dem der Parameter im verrauschten Modell gesampelt wird, begrenzt. Dadurch wird verhindert, dass unrealistisch große Werte (z. B. 2 km Körpergröße) der Parameter verwendet werden. Mit dem gewählten Schneidefaktor 3 werden bei einem GSD von 1,73 die oberen 2 % der Verteilung verworfen. Durch den Begrenzungsfaktor werden die Ergebnisverteilungen selbst beschnitten. Standardmäßig werden Werte, die größer als der 1000-fache Wert des unverrauschten Modells sind, als Artefakte verworfen.

5. ERGEBNISSE

5.1 DOSISKOEFFIZIENTEN

Erwartungsgemäß entsteht in allen Szenarien der überwiegende Anteil der Dosis durch die Energiedepositionen der Alpha-Teilchen bzw. der Rückstoßkerne. Betrachtet man die Äquivalentdosis in Sievert, ist der Beitrag der dosimetrischen Modelle zur Unsicherheit verglichen mit den Beiträgen aus den Biokinetischen Modellen klein und konnte vernachlässigt werden. Für die Energiedosis in Gray werden die relativen Dosisanteile durch Elektronen und Photonen größer, hier können Beiträge zur Unsicherheiten aus den SAF-Werten entstehen.

Für Bergbauarbeiter erhält man durch die unterschiedliche initiale Deposition der Aerosole in der Lunge für das Szenario „Arbeiten Übertage“ (AMAD = 10 μm) im Mittel 68 % geringere Dosiskoeffizienten als für das Szenario „Untertage“, in dem mit einem AMAD von 7 μm gerechnet wird. Der Hauptanteil der Dosis in diesen Szenarien stammt von den Nukliden der U-238-Reihe, die Th-232-Reihe liefert für alle Organe einen Dosisbeitrag, die Beiträge aus der U-235-Reihe sind vernachlässigbar.

Für die Szenarien mit Uran-Aufbereitern wird der überwiegende Anteil (> 95 %) der Dosis erwartungsgemäß durch die Nuklide der U-238-Zerfallsreihe deponiert. Für die Szenarien im Umgang mit Erz sind die Abweichungen der Dosiskoeffizienten für die beiden betrachteten Aerosolgrößen 7 μm und 10 μm ebenfalls bei etwa 68 %. Im Gegensatz dazu sind die Unterschiede in den Dosiskoeffizienten für unterschiedliche Aerosolgrößen in den Szenarien im Umgang mit Konzentrat mit Abweichungen von ca. 10 % nicht so ausgeprägt.

Für die Szenarien mit Inhalation von Radongas bzw. Radon-Folgeprodukten liefert das Nuklid Po-214 für alle Organe den größten Beitrag zur Äquivalentdosis. Die Beiträge der anderen Radon-Folgeprodukte zum Dosiskoeffizienten sind je nach betrachtetem Organ unterschiedlich. Für die Energiedosis liefert neben dem hier ebenfalls relevanten Po-214 auch das Nuklid Bi-214 große Beiträge.

5.2 UNSICHERHEITEN DER DOSISKOEFFIZIENTEN

Die erhaltenen Verteilungen für die Dosiskoeffizienten sind sehr breit. Für die Inhalation von Radon und Folgeprodukten liegen die Werte für die geometrische Standardabweichung GSD der Dosisverteilungen bei ca. 1,6. Ausnahme ist die Niere, für die im Fall der Inhalation von Radongas ein GSD von 2 ermittelt wurde. Für die Szenarien mit Inhalation von Uran durch Aufbereiter (Abbildung 1) liegen die GSD-Werte mit 1,8 etwas höher. Auffallend sind hier die Werte für die Dosiskoeffizienten der Leber, die mit GSD von ca. 2,5 deutlich größer sind. Für die Szenarien der Inhalation von Stäuben durch Bergbauarbeiter (Abbildung 2) sind die Verteilungen mit GSD-Werten zwischen 2,4 und 3,4 am breitesten. In diesen Szenarien haben die Dosiskoeffizienten hohe Beiträge durch die Nuklide der Zerfallsreihe des Th-232. Für Th-232 müssen im Gegensatz zu den Uranisotopen und Radon bzw. Radon-Folgeprodukten viel mehr Nuklide der Kette betrachtet werden, so dass die Unsicherheiten sich durch mehrere Modellteile fortpflanzen und dabei verstärken. Die beobachteten Verteilungsbreiten sind vergleichbar mit den von anderen Autoren für ähnliche Szenarien ermittelten Werten. Beispielsweise gibt Puncher in seiner Studie zur Inhalation von U-238 für die Verteilung des Dosiskoeffizienten der effektiven Dosis einen GSD-Wert von 2,5.

Die Berechnungen sind nicht erwartungstreu, d. h. der Mittelwert der Verteilungen entspricht nicht dem Referenzwert. Der Median der Verteilungen ist eine bessere Näherung, auch wenn dieser in den meisten Fällen ebenfalls größer ist als die ungestörte Lösung. Dieses Phänomen ist aus vorherigen Studien bekannt und ist

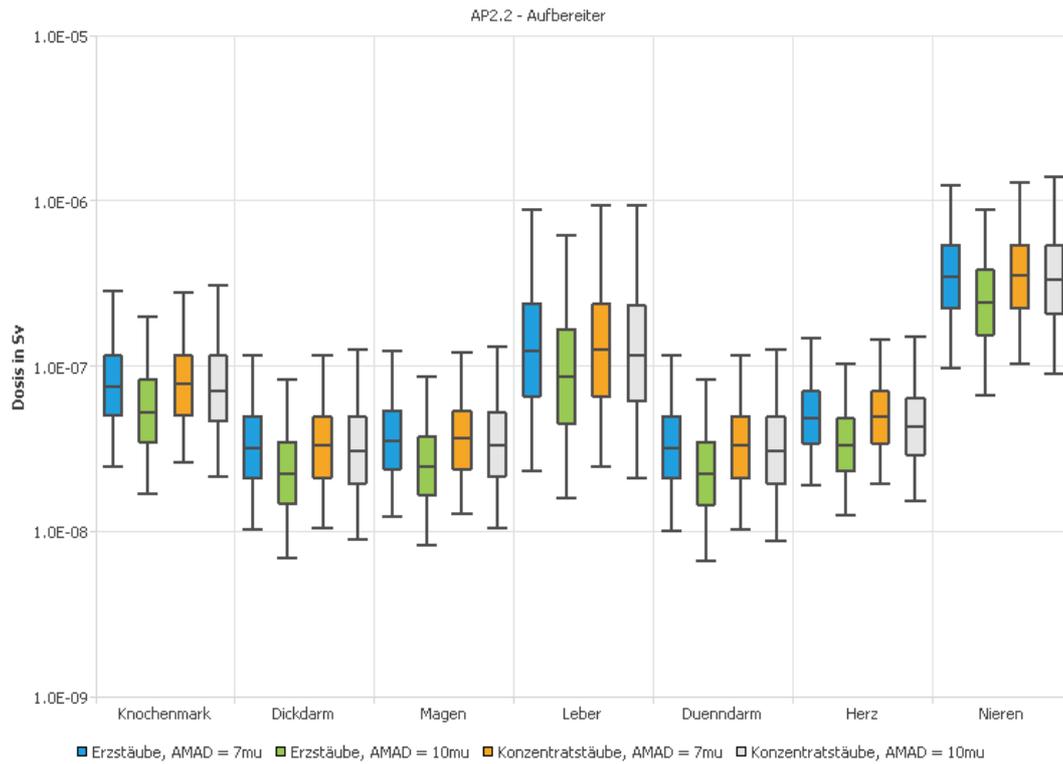


Abbildung 1: Inhalation von Uran durch Aufbereiter

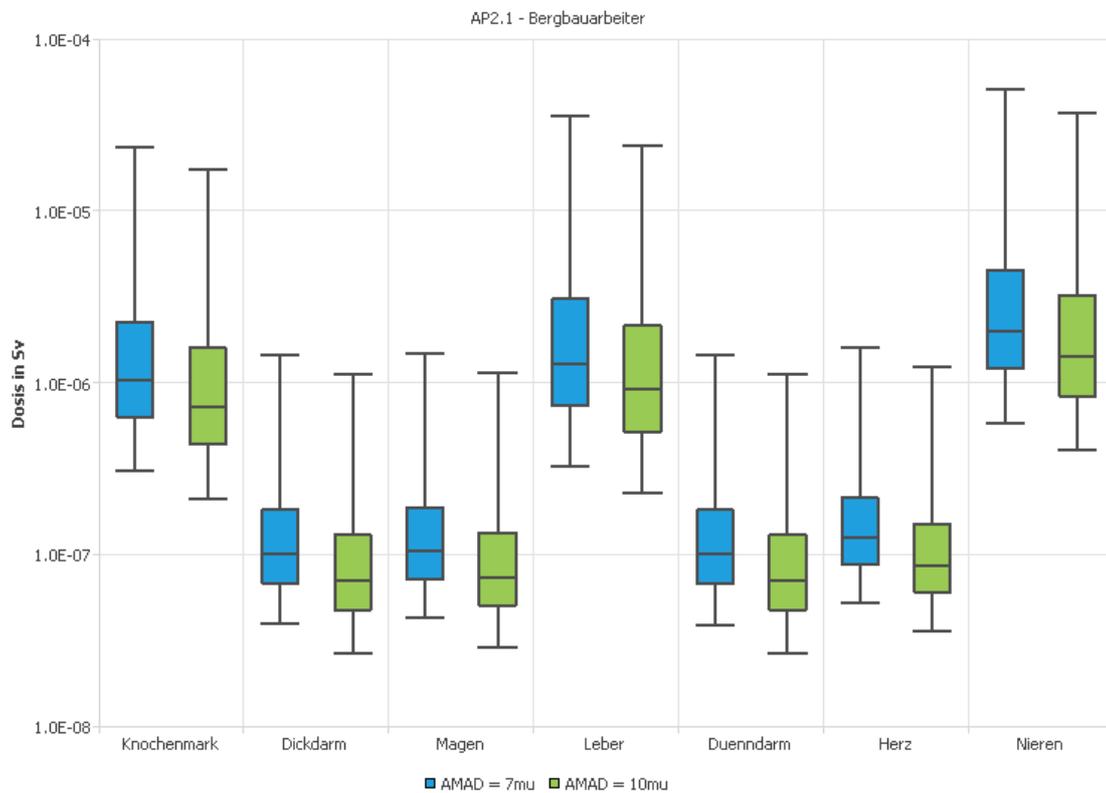


Abbildung 2: Inhalation von Stäuben durch Bergbauarbeiter

auch in den Publikationen anderer Autoren zu beobachten. Vermutlich ist die Verwendung der unsymmetrischen Log-Normal-Verteilungen Ursache hierfür. Die Verschiebungen werden umso größer, je mehr Nuklide der Kette betrachtet werden. Im hier dargestellten Projekt betrifft dieses vor allem die Inkorporation von Th-232 (Szenarien für Bergarbeiter). Hier liegen die Werte der nicht verrauschten Lösung in den unteren Quantilen und liegen teilweise außerhalb der von 25 %- und 75 %-Quantilen begrenzten Boxen der Boxplots. Tests, bei denen die Eingangsverteilungen, aus denen die Parameterwerte gesampelt werden, begrenzt wurden, zeigten keine großen Veränderungen. Durch die Kürzung der Ergebnisverteilungen mit Hilfe eines Beschneidefaktors werden erwartungsgemäß die Quantilswerte gesenkt. Bei all diesen Veränderungen der Verteilungen bleibt jedoch die Frage, wie die zugehörigen Faktoren gewählt werden sollten, damit sie noch realistisch sind und keine zu große Verzerrung (Bias) in die Ergebnisse einbringen. Diese Thematik sollte in weiteren Projekten genauer untersucht werden.

Eine weitere Frage, die durch die Rechnungen mit einem Rauschen aller Parameter nicht beantwortet werden kann, ist die Frage, wie groß der Beitrag der einzelnen Parameter zu den Unsicherheiten ist. Wenn sensitive Parameter identifiziert wurden, kann versucht werden, für diese genauere Informationen über deren Verteilung zu erhalten, um die Unsicherheitsbestimmung zu verbessern. Für die Rechnungen in diesem Projekt wurde beispielsweise für alle Parameter der systemischen Modelle vereinfachend die gleiche geometrische Standardabweichung GSD von 1,73 verwendet. Zur Identifikation der sensitiven Parameter müssten ähnliche Rechnungen wie in diesem Projekt durchgeführt werden, jedoch mit jeweils nur einem variierten Parameter. Das systemische Modell für Uran hat bereits 30 zu untersuchende Parameter. Es ist daher leicht abschätzbar, dass eine solche Studie sehr ressourcenintensiv ist. Eine Vorauswahl der Parameter kann getroffen werden, indem man Gruppen der Parameter verrauscht und so Modellteile identifiziert, die genauer untersucht werden.

Für die vom Auftraggeber definierten Zielorgane wurden die Verteilungen für Äquivalentdosis (Sv) und Energiedosis (Gy) in Boxplots dargestellt und die zugehörigen statistischen Kenngrößen in Tabellen zusammengestellt. Die Ergebnisse für weitere Organe und die Beiträge der einzelnen Teilchensorten wurden elektronisch übermittelt. Die für diese Unsicherheitsanalyse entwickelten Programme "SCoeffCalc", "BioKinSolver" und "HistoMaker" können für weitere Studien, z. B. für weitere Szenarien und andere Nuklide, eingesetzt werden.

6. UMSETZUNG DER ERGEBNISSE

Die Ergebnisse dieses Vorhabens liefern Unsicherheiten für die Dosiskoeffizienten für verschiedene, für WISMUT-Arbeiter typische Expositionsszenarien. Allgemein ist anzumerken, dass die Unsicherheiten, die den Parametern der biokinetischen Modelle assoziiert werden, schwer zu quantifizieren sind, da diesbezüglich keine ausreichenden Informationen vorliegen. Daher müssen Annahmen auf der Grundlage der typischen physiologischen Variabilität gemacht werden. Hier zeigt sich die Notwendigkeit weiterer theoretischer Studien, die eine bessere Charakterisierung dieser Unsicherheitsquellen ermöglichen.

Aus den Ergebnissen des Vorhabens ist weiterhin festzustellen, dass die Unsicherheiten bei den Dosiskoeffizienten für systemische Organe und Gewebe viel größer sind als die Unterschiede zwischen den Abschätzungen für die einzelnen Inkorporationsszenarien. Diese großen Unsicherheiten sind auf die Komplexität der für die dosimetrischen Schätzungen verwendeten biokinetischen Modelle zurückzuführen. Angesichts der beobachteten Unsicherheiten ist für die Durchführung von epidemiologischen Analysen der Daten der Wismut-Kohorten eine Unterscheidung der Inkorporationsszenarien nicht notwendig, wenn es um Dosis-Wirkung-Zusammenhänge für systemische Organe und Gewebe geht.

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			
IAF-Radioökologie GmbH, Radeberg			
Projektleitung	Fachbetreuung BfS	verantwortlich für den Text	
Dr. H. Schulz	Dr. W. Meyer / UR 2	Dr. H. Schulz, E. Hermann, R. Baumert	

1. ZIELSETZUNG

Ziel des Vorhabens „Qualifizierung der Luftdichtheitsmessung an Gebäuden zur Ableitung eines Prüfwertes im Hinblick auf die Unterschreitung des Referenzwertes der mittleren Radonkonzentration in Innenräumen“ war 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 sollte nur eine Entscheidung „radondicht“ oder „nicht radondicht“ liefern, wobei die Ursachenermittlung über die Radonundichtheit nicht Gegenstand des Tests war.

2. EINZELZIELSETZUNG

Im Vordergrund der Untersuchungen stand 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 konnte jedoch vom klassischen BDT zur Luftdichtigkeitsprüfung der Gebäudehülle abweichen. Es war 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 sollte nur eine Entscheidung „radondicht“ oder „nicht radondicht“ liefern. Die Bewertung „radondicht“ sollte implizieren, dass die daraus resultierenden Radonkonzentrationen als Langzeitmittelwert den Wert von 300 Bq/m^3 für Aufenthaltsräume bei einer Mindestluftwechselrate von $0,5 \text{ h}^{-1}$ nicht überschreiten.

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 bereits fertiggestellt, aber noch nicht bezogen. Es wird auch noch nicht genutzt. Für die Auswertung der Prüfergebnisse und die Hochrechnung auf einen jährlichen Mittelwert der Radonkonzentration in einzelnen Räumen des Hauses sind Mindestluftwechselraten, die als eingeführte technische Regel vorliegen, zu nutzen und für den Vergleich von Langzeitmessungen reale Luftwechselraten zu berücksichtigen.

3. METHODIK

Im Vorfeld der Untersuchungen und zur Auswahl der Häuser wurden 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, wurden 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 wurde anschließend die Unterdruckmethode (Blower Door Test, BDT) mit dem Ziel angewendet, ob und unter welchen Randbedingungen eine schnellere und gleichzeitig auch belastbare Prognose über die Radondichtheit des Hauses gewonnen werden kann (Szenario 2).

Abgesaugt wurde vorwiegend an der Haustür, wobei der Hausflur als Mischkessel der aus allen Räumen des Hauses stammenden Volumenströme fungiert. Während dieser Absaugperiode wurden 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 wurden auch an einzelnen Räumen, die als potenzielle Radoneintrittspfade fungieren, entsprechende Unterdrücke angelegt.

4. DURCHFÜHRUNG

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

Zur Bewertung der Radondichtheit eines Hauses wurde gemäß Szenario 1 (Anstiegsmethode) auf eine Unterdruckanlage völlig verzichtet. Vor einer Bauabnahme wird somit die Radonkonzentrationsentwicklung in allen Räumen des Hauses aufgezeichnet, so dass eine Visualisierung des gesamten Radontransports im Haus ermöglicht wird. Die Visualisierung des Radontransports bzw. der Umverteilung des Radons, beginnend bei der Quelle, in die einzelnen Räume ist 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 je nach Höhe der Quellstärke bereits nach 2 bis 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 und anhand der Messwerte gleichzeitig eine Bestimmung der Luftwechselrate in jedem einzelnen Raum erfolgen kann.

4.2 SZENARIO 2: PRÜFUNG DER RADONDICHTHEIT DURCH ANLEGEN EINES UNTERDRUCKS

Zur Prüfung der Radondichtheit eines Hauses wurde 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 Intrusionsrate von radonhaltiger Luft aus dem Baugrund zur Intrusionsrate 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 sofortiger Prozess ist. In jedem Fall liefert diese Methode bestenfalls 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. Der Referenzwert von 300 Bq/m^3 ist jedoch nicht im Mittel auf das gesamte Haus sondern auf die Aufenthaltsräume anzuwenden.

Die Untersuchungsergebnisse belegen zudem, dass die vom Mischkessel Flur abgesaugten Radonfrachten keinen belastbaren Mittelwert darstellen, der für das gesamte Haus zu veranschlagen wäre. Wegen der unterschiedlich hohen Luftvolumenströme 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 entfällt.

Alles in allem war es schwierig bzw. gar nicht möglich, ein stringentes Urteil darüber zu fällen, ob man bei Kenntnis der einzigen verfügbaren Messgröße „Radonquellstärke im Abstrom“, d. h. des Produkts von Ra-

donkonzentration 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 des Weiteren gezeigt, dass in einer als Normalzustand des Hauses zu definierenden Situation die Unterdrücke zwischen dem Hausinneren und der das Haus umgebenden Atmosphäre ca. 2 bis 4 Pa beträgt. Dies gilt auch für Häuser, die über eine nahezu drucklos arbeitende technische Lüftung verfügen. Die Einflüsse des Windes 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. Im Unterschied zum gewöhnlichen Blower Door Test (BDT), bei dem nur sofortige Reaktionen von Systemvariablen (z. B. Volumenströme) auf eine Druckänderung registriert werden, wobei die Luftvolumina aller Räume des Hauses involviert sind, laufen die zeitlichen Änderungen der Radoncharakteristiken in den einzelnen Räumen eines Hauses deutlich langsamer ab. Sie werden 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 mehr oder minder stark beeinflusst.

Radondichtheitsprüfungen können nach einer Unterdruckanlegung nicht bereits über einen kurzen Zeitraum 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 wird dabei geprüft. Beim gewöhnlichen BDT spielt die Radonintrusion überhaupt keine Rolle, da die damit verknüpfte Radonintrusionsrate um mehrere Größenordnungen geringer als die Luftwechselrate durch die Gebäudehülle ist.

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 bis 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 Häusern 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 eingestellt 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 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 Nutzung des Hauses (z. B. geschlossene Innenraumtüren) 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 ineinander verschachtelten 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.

Wichtig für die Bewertung der Radondichtheit eines Hauses ist die Kenntnis der Radonkonzentrationsentwicklungen in den ausgewählten Aufenthaltsräumen unter realistischen Bedingungen. Es verbleibt jedoch die Frage, ob generell akzeptiert wird, dass das Haus zwar nicht völlig „radondicht“ ist, aber die Unterschreitung des Referenzwertes von 300 Bq/m^3 bei einer Luftwechselrate von $0,5 \text{ h}^{-1}$ als alleiniges Gütemerkmal der Radondichtheit akzeptiert wird. Die Arbeit in der Praxis zeigt, dass ein Test zur Radondichtheit eines Hauses erst im Rahmen der Gebäudeübergabe weder vom Bauherrn noch von der Baufirma angestrebt wird. Zielführender ist es, eine Radondichtheitsprüfung in einer Phase des Rohbaus nach Fertigstellung der Gebäudehülle (Fenster, Türen, Medieneinbindung) durchzuführen, um gleichzeitig auch eine effektive Leckagesuche zu ermöglichen.

6. UMSETZUNG DER ERGEBNISSE

Mit diesem Vorhaben konnten die Möglichkeiten und Grenzen der Abschätzung der Radoneintrittsrates klar definiert werden. Sie stellen damit ein wichtiges Hilfsmittel für die Abschätzung der Zweckmäßigkeit des Einsatzes der Methode und die sachgerechte Bewertung der damit erzielten Ergebnisse dar. Erwartungsgemäß sind prinzipiell deutlich längere Messzeiten erforderlich als bei der Untersuchung der Luftdichtheit des Gebäudes gegen die Atmosphäre. Es wurde gezeigt, dass für neue Gebäude auf Grund der hohen Dichtigkeit zur Atmosphäre Messzeiten für jede Druckstufe erforderlich sind, mit denen die Untersuchung nicht immer an einem Tag abgeschlossen werden kann. In Gebäuden mit guter Abdichtung gegen den Baugrund führen nur Untersuchungen von Teilbereichen zu verwertbaren Ergebnissen. Große Undichtigkeiten an erdberührenden Bauteilen (bei Neubauten bedeutet das gravierende Bäumängel beim Feuchteschutz) können mit dieser Methode erkannt werden. Bei sehr hoher Dichtigkeit kann die Einhaltung der geforderten Radonkonzentration in allen Aufenthaltsräumen mit einer konservativen Abschätzung nachgewiesen werden. Liegt die Radoneintrittsrates dazwischen, kann eine modifizierte, allerdings deutlich aufwändigere Methode zum Erfolg führen. Ein Einsatz der Untersuchung der Radondichtheit des Gebäudes mittels Unterdruck als Prüfmethode vor der Bauabnahme neu errichteter Gebäude ist damit nur bedingt möglich. Aus den Ergebnissen lässt sich jedoch ableiten, dass ein Einsatz zur Diagnose der Ursachen erhöhter Radonkonzentrationen im Gebäudebestand sinnvoll sein kann.

Thema Erarbeitung von DIN-Normen bez. baulicher Maßnahmen für den Radonschutz, Los 1 „Radon“			
Subject Development of DIN standards regarding building measures for radon protection, part 1 "Radon"			
Kennzeichen 3617S12250	Beginn 01.12.2017	Ende 30.11.2018	Fördermittel EUR 49.813,-
Forschungs- / Auftragnehmer Sachverständigenbüro Dr. Joachim Kemski			
Projektleitung Dr. J. Kemski	Fachbetreuung BfS Dr. W. Meyer / UR 2		verantwortlich für den Text Dr. J. Kemski

1. ZIELSETZUNG

Zur Zeit existieren in Deutschland keine Normen zum Radonschutz bei Neubauten bzw. bei baulichen Veränderungen im Bestand. Beim Deutschen Institut für Normung (DIN) wurde aus diesem Grund ein Ausschuss gegründet, der sich mit der Erarbeitung einer solchen Norm befasst.

In zahlreichen anderen Ländern existieren bereits derartige Regelwerke (z. B.: Normen, Bauvorschriften) und kommen in der Praxis zur Anwendung.

Das Forschungsvorhaben beinhaltet im Wesentlichen umfassende Recherchen zum Themenkomplex Normung im baulichen Radonschutz bzw. der Radonsanierung.

2. EINZELZIELSETZUNG

Die oben genannten Recherchen sollten eine Sichtung beinhalten und klären, ob deren Inhalte für die Erarbeitung der deutschen Norm relevant sein können. Die Recherche sollte sich schwerpunktmäßig auf Europa und Nordamerika beziehen.

2.1 NORMEN i.e.S.

Es sollte recherchiert werden, in welchen Ländern diesbezügliche Normen, Regelwerke oder ähnliches existieren. Vorhandene Normen sollten beschrieben und auf die oben genannte Relevanz für die Erstellung einer deutschen Norm geprüft werden.

2.2 NICHT-NORMATIVE PUBLIKATIONEN

Daneben sollten auch nicht-normative Publikationen dieses Inhaltes gesichtet und in derselben Weise bewertet werden.

2.3 SONSTIGES

Des Weiteren sollten Fragen nach der Dauerhaftigkeit („Langzeitstabilität“) bereits eingesetzter bautechnischer Maßnahmen und des häufig in diesem Zusammenhang verwendeten Begriffes der „Radondichtheit“ diskutiert werden.

3. METHODIK

Im Vorhaben sollte ausschließlich eine Literaturrecherche mit anschließender Bewertung durchgeführt werden. Es waren keine eigenständigen Untersuchungen, Messungen oder ähnliches vorgesehen.

4. DURCHFÜHRUNG

Die Literaturrecherche wurde durchgeführt. Ergänzend wurden Fachkollegen im Ausland befragt, die sich mit diesem Themenkomplex beschäftigen und den jeweils aktuellen nationalen Kenntnisstand beisteuerten.

5. ERGEBNISSE

5.1 NORMEN i.e.S.

Die Situation bezüglich Radonnormen oder vergleichbarer Regelwerke ist im internationalen Vergleich sehr unterschiedlich. Nur in sehr wenigen Ländern existieren spezielle Normen zum radongeschützten Bauen bzw. zur Radonsanierung.

In Europa existieren Normen i.e.S. zum Thema Radonprävention/-sanierung nur in Österreich und Tschechien. In Nordamerika sind in Kanada entsprechende Normen publiziert.

Die einzelnen Normen werden detailliert beschrieben. Inhalte und Form werden bezüglich möglicher Vorschläge für die zu erstellende deutsche Norm bewertet.

5.2 NICHT-NORMATIVE PUBLIKATIONEN

In „Allgemeinen Bauvorschriften“ haben einige Länder Hinweise bzw. Verweise auf Radon aufgenommen. Allerdings sind diese in den meisten Fällen wenig konkret. In zahlreichen Ländern, in denen es keine Normen zum radongeschützten Bauen gibt, existieren „Handbücher“ oder ähnliche Dokumentationen, die von Behörden, Institutionen oder ähnlichen erarbeitet und herausgegeben wurden. Daneben findet sich Fachliteratur in Zeitschriften usw.

Die Inhalte unterscheiden sich deutlich voneinander. „Handbücher“ enthalten zumeist umfangreiche Beschreibungen der Maßnahmen, z. T. mit detaillierten Anleitungen, Skizzen, Zeichnungen und ähnlichem für die praktische Umsetzung. Oftmals werden auch allgemeine Grundlagen der Radonproblematik (z. B. gesundheitliche Gefährdung, Herkunft und Quellen) behandelt. In der Fachliteratur werden häufig Einzelfälle beschrieben, wie die Sanierung konkreter Gebäude, die sich auf Grund der speziellen Fragestellungen nicht für allgemeingültige Aussagen nutzen lassen.

Der Kreis der Adressaten ist sehr unterschiedlich und beinhaltet u. a. Bauherren und Hauseigentümer, aber auch Architekten und Planer sowie Firmen und Handwerker. Auf Grund der unterschiedlichen Komplexität der beschriebenen Maßnahmen reichen die Anforderungen an den Ausführenden von Heimwerkerkenntnissen bis zu speziellen Fachkenntnissen aus dem Abdichtungs- und/oder Lüftungswesen.

Einzelne Publikationen werden eingehender beschrieben. Hierbei wurde sich auf Arbeiten aus Ländern konzentriert, die bereits seit vielen Jahren Erfahrungen auf dem Gebiet der Radonprävention und -sanierung besitzen (Schweiz, England, Tschechien).

5.3 SONSTIGES

Radonschutzmaßnahmen beim Bauen ist ein vergleichsweise neues Thema. Aussagen über die Langzeitwirkung bzw. Dauerhaftigkeit von Maßnahmen sind daher schwierig zu machen. In nur wenigen Ländern (z. B. Schweden, England) liegen hierzu entsprechend langjährige und umfangreiche Erfahrungen vor, um systematische Bewertungen zu erlauben. Diese werden im Einzelnen beschrieben.

In Zusammenhang mit Bauprodukten wird oftmals der Begriff „Radondichtheit“ verwendet. Basiert er auf Labormessungen, ist zumeist der Radondiffusionskoeffizient die Messgröße. Das Ergebnis solcher Messungen wird aber in verschiedenen Ländern unterschiedlich ausgelegt, woraus auch eine unterschiedliche Interpretation des Begriffes „Radondichtheit“ resultiert. Die verschiedenen Herangehensweisen werden beschrieben.

6. UMSETZUNG DER ERGEBNISSE

Die in den Zwischenberichten zu den einzelnen Arbeitspaketen zusammengestellten Ergebnisse fanden bereits Eingang in die Erarbeitung eines Entwurfes des Teil 1 der DIN SPEC 18117. Der Abschlussbericht wird eine wichtige Hilfe für die öffentliche Diskussion des Teil 1 und insbesondere für die Erarbeitung des Teil 2 sein, in dem die detaillierten Einzelmaßnahmen zum Radonschutz dargestellt werden sollen.

Themenbereich 02
Strahlenschutztechnik

Subject area 02
Radiation protection techniques

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	Beginn	Ende	Fördermittel
3617S22252	01.01.2018	31.12.2018	EUR 72.553,-
Forschungs- / Auftragnehmer			
Helmholtz Zentrum München - Deutsches Forschungszentrum für Gesundheit und Umwelt (GmbH), Institut für Strahlenschutz (ISS)			
Projektleitung	Fachbetreuung BfS	verantwortlich für den Text	
M. Zankl	Dr. A. Giussani / MB 3	N. Petoussi-Henss, V. Spielman, M. Zankl	

1. ZIELSETZUNG

Ziel des Forschungsvorhabens war die Berechnung von Dosiskoeffizienten zur Qualitätssicherung eines internationalen Forschungsvorhabens (betreut vom Committee on Radiation Protection and Public Health der Nuclear Energy Agency - NEA/CRPPH) unter Verwendung derselben Bestrahlungsfelder und zehn realistischer Voxelphantome, die aus medizinischen Bildern von Personen unterschiedlichen Alters und unterschiedlicher Statur erstellt wurden. 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.

Die betrachteten Bestrahlungsgometrien entsprechen äußerer Strahlenexposition durch Umgebungsstrahlung aus der Luft bzw. vom Boden.

2. EINZELZIELSETZUNG

Dosiskoeffizienten für Erwachsene und Kinder beider Geschlechter mit unterschiedlichen Körperproportionen auf Basis von bereits verfügbaren digitalen Voxel-Phantomen für zwei verschiedene externe Bestrahlungsszenarien wurden berechnet. Die externen Bestrahlungssituationen waren hierbei:

- Bodenstrahlung: Die Bodenkontaminationen wird als unendliche Flächenquelle mit Kontamination an der Oberfläche bzw. in einer Schichttiefe von $0,5 \text{ g/cm}^2$ (entspricht ca. 3 mm in gewöhnlichen Böden) simuliert.
- Submersion aus der Luft: Die Luftkontamination wird als eine halb-unendliche gleichmäßig verteilte radioaktive Wolke simuliert.

Für die Bodenstrahlung wurde dieselbe Quelle benutzt wie für die Berechnungen im Rahmen des NEA/CRPPH-Vorhabens.

2.1 BERECHNUNG DER DOSISKOEFFIZIENTEN FÜR ERWACHSENE (WEIBLICH/MÄNNLICH) (AP 1)

Die Berechnung von Organdosis-Konversionsfaktoren erfolgte für Voxelphantome von Erwachsenen unterschiedlicher Statur bei externer Strahlenexposition für monoenergetische Photonen für Bodenstrahlung und Strahlung aus der Wolke. Die verwendeten sechs Phantome decken den Altersbereich von Erwachsenen für beide Geschlechter ab.

2.2 BERECHNUNG DER DOSISKOEFFIZIENTEN FÜR KINDER UND JUGENDLICHE (AP 2)

Die Berechnung von Organdosis-Konversionsfaktoren erfolgte für Voxelphantome von Kindern unterschiedlichen Alters bei externer Strahlenexposition für dieselben Expositionsgeometrien wie bei AP 1, d. h. Bodenstrahlung und Strahlung aus der Wolke.

2.3 DOSISBERECHNUNGEN FÜR EINE SCHWANGERE FRAU UND DEREN FOETUS (AP 3)

In diesem Arbeitspaket wurden die Dosiskoeffizienten für die in AP 1 und AP 2 verwendeten Bestrahlungsszenarien, d. h. Bodenstrahlung und Strahlung aus der Wolke, auf Grundlage eines Voxel-Phantoms für eine Schwangere, einschließlich der Dosiskoeffizienten für den Foetus, berechnet.

3. METHODIK

Voxelmodelle unterschiedlichen Alters, unterschiedlicher Statur und beiderlei Geschlechts wurden für die Berechnungen eingesetzt. Tabelle 1 listet die Eigenschaften der verwendeten Phantome auf. Zusätzliche Informationen über die Phantome sind in Zankl (2010)¹⁾ zu finden.

Tabelle 1: Für das Projekt verwendete Phantome und ihre Eigenschaften

Name	Geschlecht	Alter	Gewicht (kg)	Größe	Voxel-dimensionen (mm ³)	Anzahl der Organe
Baby	♀	8 Wochen	4,2	57	0,85 x 0,85 x 4	67
Child	♀	7 Jahre	21,7	115	1,54 x 1,54 x 8	125
Jo	♀	8 Jahre	34	130	1,87 x 1,87 x 10	136
Irene	♀	32 Jahre	51	163	1,87x 1,87 x 5	62
Donna	♀	40 Jahre	79	170	1,85 x 1,85 x 10	62
Golem	♂	38 Jahre	69	176	2,08 x 2,08 x 8	121
Frank	♂	48 Jahre	95	174	0,74 x 0,74 x 5	62
Visible Human	♂	38 Jahre	103,2	180	0,91 x 0,94 x 5	133
Katja + Foetus	♀	43 Jahre 24. Schwangerschaftswoche	62,3	163	1,77 x 1,77 x 4,84	136 + 19

4. DURCHFÜHRUNG

Die Dosisberechnungen für die in der Projektbeschreibung spezifizierten Geometrien externer Umgebungsstrahlenexposition wurden mit dem Monte-Carlo-Programm EGSnrc Version v4-2-3-0 zur Simulation des Strahlentransports im menschlichen Körper durchgeführt. Zusätzliche Informationen über das verwendete Simulationsprogramm sind in Schlattl et al (2007)²⁾ zu finden. Für Bodenkontamination mit Photonen wurde dasselbe Photonenstrahlungsfeld wie im internationalen Vorhaben verwendet. Dieses wurde von Daiki Satoh (Japan Atomic Energy Agency) für Zwecke der ICRP bereitgestellt. Für Submersion aus der Luft durch Photonen wurde eine beim HMGU bereits vorhandene Quelle verwendet, für Elektronen wurde eine isotrope Quelle (oberer Halbraum) simuliert.

5. ERGEBNISSE

Dosiskoeffizienten wurden für alle Organe, die zur Effektivdosis beitragen, berechnet und in den Einheiten $\text{Sv}\cdot\text{s}^{-1}$ pro $\text{Bq}\cdot\text{m}^{-2}$ bzw. $\text{Sv}\cdot\text{s}^{-1}$ pro $\text{Bq}\cdot\text{m}^{-3}$ kontaminierter Erde/Luft angegeben. Als Beispiel für die Ergebnisse sind in Tabelle 2 Konversionsfaktoren für Photonen für das erwachsene weibliche Phantom Donna für die Bodenflächenquelle dargestellt. Diese monoenergetischen Werte dienen als Vergleichsdaten für die Ergebnisse des NEA/CRPPH-Vorhabens. Weiterhin bilden sie die Basis für entsprechende Dosisberechnungen für Radionuklide.

Abbildung 1 zeigt die Gonadendosisraten für eine Bodenquelle in einer Tiefe von $0,5 \text{ g cm}^{-2}$ als Funktion der Photonenenergie für die erwachsenen Phantome. In Abbildung 2 sind die Magendosisraten für die Kinder-

¹⁾Zankl M (2010). "The GSF voxel computational phantom family. Handbook of anatomical models for radiation dosimetry". Handbook of anatomical models for radiation dosimetry: 65–85.

²⁾Schlattl H, Zankl M, Petoussi-Henss N (2007). „Organ dose conversion coefficients for voxel models of the reference male and female from idealized photon exposures.“ Phys Med Biol. 2007 Apr 21;52(8):2123-45.

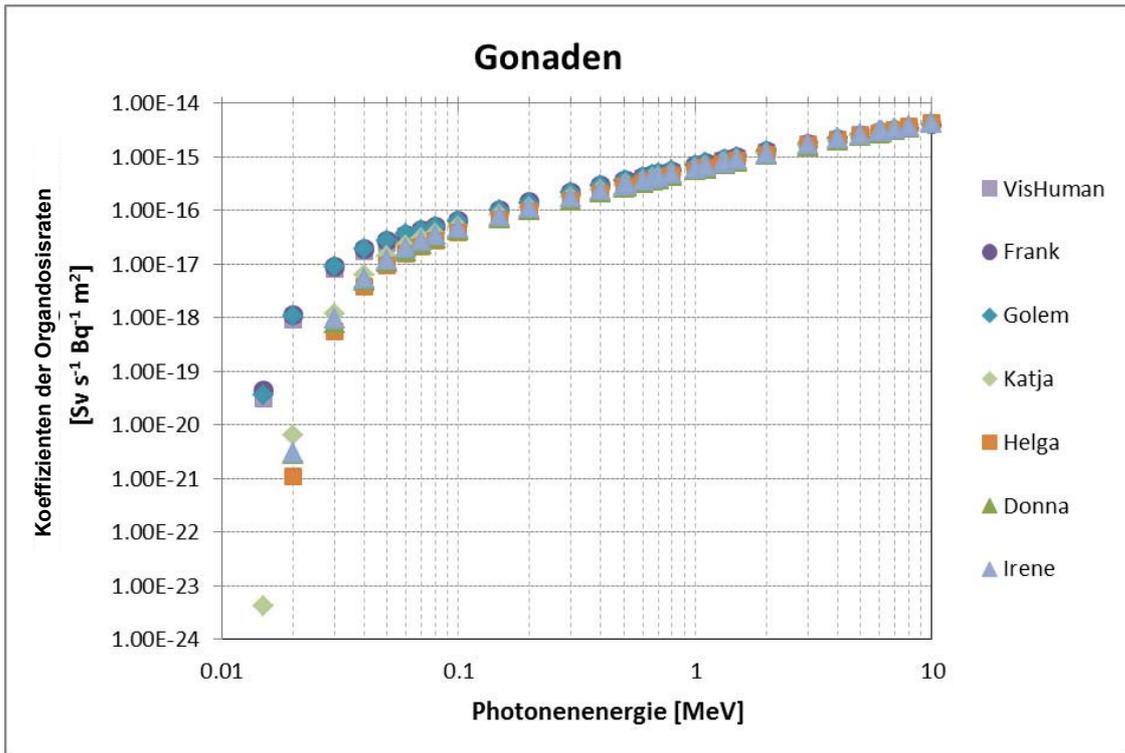


Abbildung 1: Dosisraten für die Gonaden (Ovarien bzw. Hoden) für die erwachsenen Phantome für eine Bodenquelle in der Tiefe 0,5 g cm⁻²

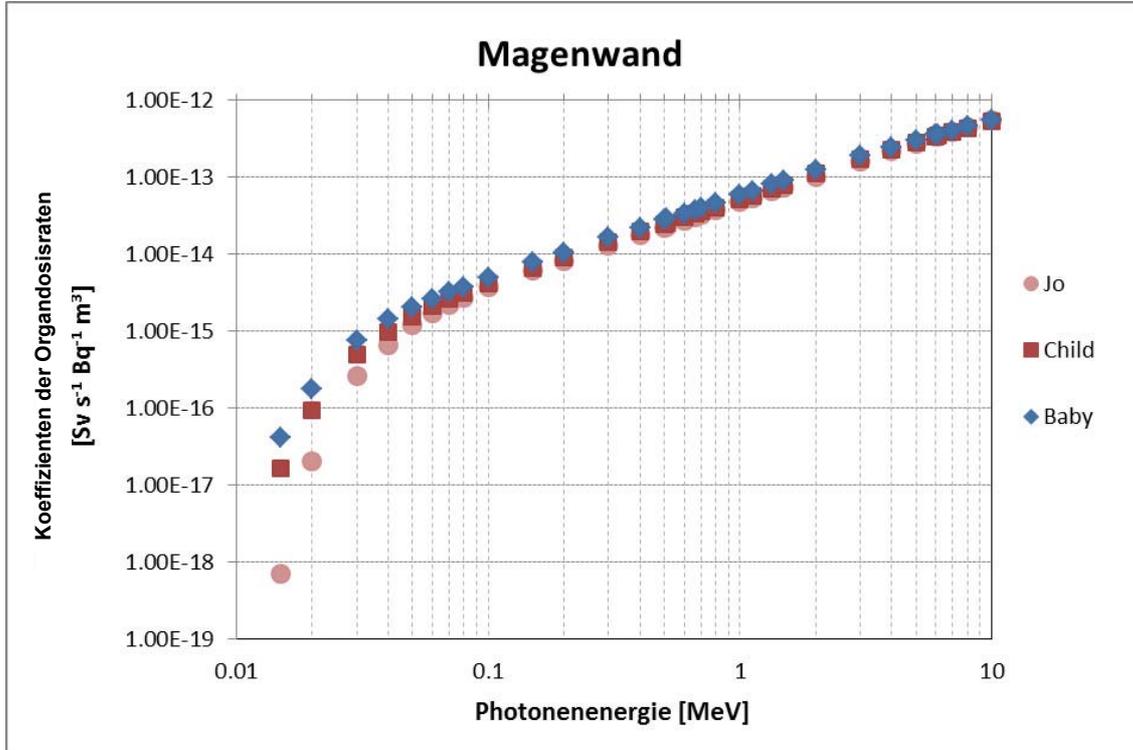


Abbildung 2: Koeffizienten der Organdosisrate der Magenwand für die drei Kinderphantome für Luftsubmersion

phantome dargestellt. Tabelle 3 zeigt die Organdosisraten des Fötus für Bodenkontamination durch Photonen.

Zusammenfassend zeigen die Ergebnisse des Vorhabens, dass die Konversionsfaktoren für Photonen im Energiebereich von 20 bis 100 keV eine ausgeprägte Energieabhängigkeit aufweisen. Außerdem ist zu erkennen, dass für die meisten Organe das Körpergewicht den größten Einfluss auf die Dosiskonversionsfaktoren hat, d. h. je kleiner das Körpergewicht, umso größer sind die Dosen. Für die erwachsenen Phantome sind die individuellen Unterschiede erwartungsgemäß moderat, da Umgebungsgeometrien zu einer homogenen Dosisverteilung im Körper führen und die exakte Lage des Organs nur einen begrenzten Einfluss hat. Die Unterschiede sind größtenteils auf die unterschiedliche Abschirmung zurückzuführen: Ein dünnerer Körper hat einen geringeren Selbstabschirmungseffekt, was zu höheren Dosiskonversionsfaktoren in denjenigen Organen und Geweben führt, die unterhalb des subkutanen Fettgewebes liegen.

Veränderung der Konversionsfaktoren individueller Phantome gegenüber denen der erwachsenen Referenzphantome

Für die individuellen Phantome ist eine Berechnung der „effektiven Dosis“ nach den Definitionen von ICRP Publikation 60 (ICRP, 1991) und Publikation 103 (ICRP, 2007) streng genommen nicht möglich, da sich diese Größe auf den Referenzmenschen sowie alters- und geschlechtsgemittelte Gewebewichtungsfaktoren, w_T , bezieht und daher über beide Geschlechter gemittelte Konversionsfaktoren erfordert, die für ein weibliches und ein männliches Referenzphantom separat berechnet wurden. Für Vergleichszwecke wurde jedoch eine ähnliche Größe als gewichteter Mittelwert der einzelnen Organdosisumwandlungskoeffizienten berechnet, die im Folgenden als „detriment-gewichtete Dosis“ bezeichnet wird. Das heißt, jeder Organdosisumwandlungskoeffizient wurde mit dem zugehörigen Gewebewichtungsfaktor, w_T , nach ICRP Publikation 103 (ICRP, 2007) multipliziert und diese Produkte aufsummiert. Für die Kinderphantome Baby, Child und Jo (alle weiblich), wurden auch Hodendosen bestimmt, da diese Organe den Phantomen hinzugefügt worden waren, und die Gonadendosis wurde als Mittelwert der Ovarien- und der Hodendosis berechnet. Für alle anderen individuellen Phantome wurde entweder die Ovarien- oder die Hodendosis als Gonadendosis verwendet. Die Restkörperdosis wurde als arithmetischer Mittelwert der einzelnen Organdosen berechnet. Da nicht alle zur effektiven Dosis beitragenden Organe in allen Phantomen segmentiert worden waren, wurden außerdem teilweise Ersatzorgane verwendet. Es wird außerdem darauf hingewiesen, dass die einzelnen Phantome von den Referenzmenschen abweichen und diejenigen Individuen darstellen, aus deren medizinischen Daten sie generiert wurden.

Abbildungen 3 und 4 zeigen die Abweichungen der detriment-gewichteten Dosen der Individuen von der effektiven Dosis. Die Unterschiede der effektiven Dosis eines Erwachsenen und eines Kleinkindes betragen 80-90 % bei 50 keV und weniger als 45 % für Energien oberhalb 100 keV. Der Unterschied zwischen einem Erwachsenen und einem Kind beträgt ungefähr 27 % bei 50 keV und weniger als 20 % oberhalb 100 keV. Wie bereits erwähnt, sind die Unterschiede größtenteils auf unterschiedliche Abschirmung der Organe zurückzuführen. Die Abweichungen unterhalb 50 keV können bis zu 300 % betragen und sind in den Abbildungen nicht dargestellt.

Tabelle 2: Organdosisratenkoeffizienten für das weibliche erwachsene Phantom Donna für monoenergetische Photonenquellen in einer Tiefe von 0,5 g cm⁻² im Boden, für ausgewählte Energien*

Organdosisrate pro Aktivitätskonzentration (Sv s ⁻¹ Bq-1 m ²)								
Energie (MeV)	0,015	0,03	0,05	0,08	0,1	0,5	1	3
rotes Knochenmark	4,21E-22	1,11E-18	1,11E-17	3,18E-17	4,50E-17	2,93E-16	5,88E-16	1,60E-15
Dickdarm	2,41E-23	1,65E-18	1,45E-17	3,54E-17	4,81E-17	2,79E-16	5,62E-16	1,55E-15
Lunge	3,94E-23	2,05E-18	1,65E-17	3,86E-17	5,12E-17	3,01E-16	5,99E-16	1,65E-15
Magen	3,29E-23	1,59E-18	1,45E-17	3,56E-17	4,81E-17	2,77E-16	5,56E-16	1,56E-15
Brust	2,78E-20	6,76E-18	2,02E-17	4,01E-17	5,37E-17	3,36E-16	6,55E-16	1,65E-15
Ovarien	0,00E+00	7,76E-19	1,07E-17	3,06E-17	4,24E-17	2,64E-16	5,49E-16	1,55E-15
Harnblase	8,31E-23	1,77E-18	1,39E-17	3,38E-17	4,63E-17	2,82E-16	5,69E-16	1,57E-15
Leber	1,62E-23	1,45E-18	1,45E-17	3,62E-17	4,87E-17	2,80E-16	5,62E-16	1,55E-15
Schilddrüse	1,14E-20	6,40E-18	2,24E-17	4,42E-17	5,78E-17	3,37E-16	6,25E-16	1,63E-15
Knochen	3,32E-21	8,60E-18	5,82E-17	1,08E-16	1,26E-16	3,65E-16	6,57E-16	1,67E-15
Gehirn	2,93E-23	1,15E-18	1,53E-17	3,95E-17	5,40E-17	3,32E-16	6,60E-16	1,71E-15
Haut	1,62E-19	1,36E-17	3,07E-17	5,21E-17	6,70E-17	3,72E-16	6,52E-16	1,28E-15
Nebennieren	0,00E+00	4,39E-19	1,01E-17	3,00E-17	4,21E-17	2,62E-16	5,32E-16	1,56E-15
obere Atemwege	2,35E-21	3,54E-18	1,85E-17	4,24E-17	5,69E-17	3,54E-16	6,83E-16	1,79E-15
Gallenblase	0,00E+00	9,77E-19	1,30E-17	3,46E-17	4,59E-17	2,75E-16	5,42E-16	1,51E-15
Herz	5,93E-24	1,12E-18	1,35E-17	3,49E-17	4,68E-17	2,77E-16	5,60E-16	1,57E-15
Nieren	2,94E-25	8,29E-19	1,17E-17	3,21E-17	4,44E-17	2,70E-16	5,44E-16	1,53E-15
Muskel	4,65E-21	4,44E-18	2,12E-17	4,38E-17	5,75E-17	3,30E-16	6,43E-16	1,70E-15
Pankreas	0,00E+00	5,21E-19	1,04E-17	3,09E-17	4,28E-17	2,63E-16	5,31E-16	1,50E-15
Dünndarm	4,20E-23	1,88E-18	1,45E-17	3,48E-17	4,74E-17	2,78E-16	5,54E-16	1,54E-15
Milz	2,32E-24	1,20E-18	1,41E-17	3,59E-17	4,85E-17	2,81E-16	5,63E-16	1,56E-15
Thymus	2,53E-23	1,16E-18	1,38E-17	3,57E-17	4,72E-17	2,85E-16	5,67E-16	1,58E-15
Uterus	2,31E-25	7,30E-19	1,12E-17	3,11E-17	4,35E-17	2,73E-16	5,51E-16	1,53E-15

* Die Berechnungen wurden für 32 Energien zwischen 0,015 und 10 MeV durchgeführt.

Tabelle 3: Konversionskoeffizienten der Organdosisraten für einen Fötus (24. Schwangerschaftswoche) für monoenergetische Photonen in einer Tiefe von 0,5 g cm⁻² im Boden

Koeffizienten der Organdosisraten (Sv s⁻¹ Bq⁻¹ m²)

Energie (MeV)	0.015	0.020	0.030	0.040	0.050	0.060	0.070	0.080	0.100	0.150	0.200	0.300
Haut	7.00E-23	2.98E-20	1.87E-18	8.19E-18	1.58E-17	2.37E-17	3.09E-17	3.79E-17	5.11E-17	8.16E-17	1.12E-16	1.72E-16
Augen	0.00E+00	2.76E-21	1.04E-18	5.69E-18	1.26E-17	1.96E-17	2.66E-17	3.34E-17	4.63E-17	7.96E-17	1.04E-16	1.62E-16
Lunge	4.37E-24	1.17E-20	1.62E-18	7.98E-18	1.58E-17	2.38E-17	3.10E-17	3.78E-17	5.11E-17	8.22E-17	1.13E-16	1.72E-16
Herz	0.00E+00	3.89E-21	1.18E-18	6.82E-18	1.50E-17	2.27E-17	2.92E-17	3.62E-17	4.94E-17	8.10E-17	1.08E-16	1.66E-16
Nieren	7.84E-24	1.58E-20	1.72E-18	8.32E-18	1.66E-17	2.47E-17	3.24E-17	3.92E-17	5.33E-17	8.34E-17	1.14E-16	1.73E-16
Leber	4.48E-24	1.33E-20	1.67E-18	8.22E-18	1.61E-17	2.41E-17	3.17E-17	3.85E-17	5.20E-17	8.33E-17	1.13E-16	1.72E-16
Magen	0.00E+00	1.61E-21	8.11E-19	5.56E-18	1.24E-17	2.06E-17	2.78E-17	3.22E-17	4.66E-17	7.58E-17	1.09E-16	1.69E-16
Gehirn gesamt	2.77E-23	2.35E-20	1.73E-18	7.56E-18	1.51E-17	2.31E-17	3.01E-17	3.74E-17	5.01E-17	8.15E-17	1.12E-16	1.70E-16
Skelett	5.12E-23	3.67E-20	2.92E-18	1.31E-17	2.56E-17	3.71E-17	4.69E-17	5.61E-17	7.08E-17	1.03E-16	1.31E-16	1.90E-16
Körper gesamt	2.61E-23	1.79E-20	1.63E-18	7.77E-18	1.56E-17	2.36E-17	3.09E-17	3.79E-17	5.12E-17	8.22E-17	1.12E-16	1.71E-16

Energie (MeV)	0.400	0.500	0.511	0.600	0.662	0.700	0.800	1.000	1.100	1.117	1.300
Haut	2.32E-16	2.92E-16	2.99E-16	3.53E-16	3.89E-16	4.11E-16	4.70E-16	5.87E-16	6.36E-16	6.46E-16	7.53E-16
Augen	2.29E-16	2.86E-16	2.91E-16	3.30E-16	3.67E-16	3.89E-16	4.48E-16	5.74E-16	6.05E-16	6.20E-16	7.86E-16
Lunge	2.33E-16	2.93E-16	2.99E-16	3.51E-16	3.86E-16	4.08E-16	4.65E-16	5.90E-16	6.29E-16	6.40E-16	7.52E-16
Herz	2.30E-16	2.84E-16	2.91E-16	3.47E-16	3.85E-16	4.08E-16	4.69E-16	5.73E-16	6.07E-16	6.20E-16	7.60E-16
Nieren	2.38E-16	2.98E-16	3.05E-16	3.59E-16	3.95E-16	4.17E-16	4.75E-16	5.85E-16	6.30E-16	6.41E-16	7.50E-16
Leber	2.32E-16	2.95E-16	3.01E-16	3.54E-16	3.91E-16	4.14E-16	4.73E-16	5.79E-16	6.31E-16	6.42E-16	7.59E-16
Magen	2.17E-16	2.80E-16	2.87E-16	3.42E-16	3.79E-16	4.02E-16	4.62E-16	5.60E-16	6.21E-16	6.28E-16	7.04E-16
Gehirn gesamt	2.27E-16	2.89E-16	2.96E-16	3.45E-16	3.80E-16	4.01E-16	4.58E-16	5.78E-16	6.25E-16	6.35E-16	7.40E-16
Skelett	2.44E-16	3.03E-16	3.10E-16	3.62E-16	3.96E-16	4.17E-16	4.72E-16	5.96E-16	6.35E-16	6.45E-16	7.57E-16
Körper gesamt	2.30E-16	2.91E-16	2.98E-16	3.49E-16	3.85E-16	4.07E-16	4.64E-16	5.83E-16	6.30E-16	6.40E-16	7.48E-16

Energie (MeV)	1.332	1.500	2.000	3.000	4.000	5.000	6.000	6.129	7.000	8.000	10.000
Haut	7.69E-16	8.54E-16	1.11E-15	1.60E-15	2.06E-15	2.48E-15	2.90E-15	2.95E-15	3.23E-15	3.56E-15	4.34E-15
Augen	7.92E-16	8.23E-16	1.04E-15	1.59E-15	2.04E-15	2.44E-15	2.88E-15	2.94E-15	3.33E-15	3.78E-15	4.27E-15
Lunge	7.67E-16	8.48E-16	1.09E-15	1.61E-15	2.09E-15	2.50E-15	2.89E-15	2.94E-15	3.27E-15	3.64E-15	4.30E-15
Herz	7.71E-16	8.26E-16	1.09E-15	1.60E-15	2.07E-15	2.48E-15	2.82E-15	2.87E-15	3.18E-15	3.54E-15	4.17E-15
Nieren	7.67E-16	8.55E-16	1.12E-15	1.61E-15	2.10E-15	2.43E-15	2.83E-15	2.88E-15	3.21E-15	3.59E-15	4.37E-15
Leber	7.73E-16	8.46E-16	1.13E-15	1.59E-15	2.10E-15	2.48E-15	2.86E-15	2.90E-15	3.20E-15	3.54E-15	4.32E-15
Magen	7.27E-16	8.49E-16	1.09E-15	1.51E-15	2.10E-15	2.44E-15	2.96E-15	2.98E-15	3.16E-15	3.36E-15	4.40E-15
Gehirn gesamt	7.56E-16	8.40E-16	1.10E-15	1.61E-15	2.05E-15	2.45E-15	2.95E-15	2.99E-15	3.29E-15	3.62E-15	4.29E-15
Skelett	7.71E-16	8.42E-16	1.09E-15	1.58E-15	2.05E-15	2.44E-15	2.90E-15	2.95E-15	3.25E-15	3.60E-15	4.23E-15
Körper gesamt	7.64E-16	8.47E-16	1.11E-15	1.60E-15	2.07E-15	2.47E-15	2.90E-15	2.94E-15	3.23E-15	3.57E-15	4.32E-15

TB 02 Ergebnisse

6. UMSETZUNG DER ERGEBNISSE

Zur Berechnung von Strahlendosen werden von ICRP Dosiskoeffizienten auf Basis von Referenzphantomen verwendet. Diese digitalen Phantome bilden allerdings die individuellen Körperproportionen (Statur, Größe und Gewicht) nicht ab. So werden im Rahmen eines internationalen Forschungsvorhabens, welches vom NEA/CRPPH betreut wird, Dosiskoeffizienten für Personen beiderlei Geschlechts, unterschiedlichen Alters und unterschiedlicher Körperbildung ermittelt. Während im internationalen Vorhaben sogenannte digitale Hybridphantome eingesetzt werden, sind in diesem Projekt die Berechnungen mit Voxelphantomen durchgeführt worden, die mit der gleichen Methodik wie die ICRP-Referenzphantome erstellt worden sind.

Die im Rahmen dieses Forschungsvorhabens erzielten Ergebnisse ermöglichen eine Abschätzung der Dosiskoeffizienten für externe Umgebungsstrahlung in Abhängigkeit von Alter, Geschlecht, Körpergröße und/oder Gewicht und damit die Ermittlung der mit den ICRP-Referenz-Dosiskoeffizienten verbundenen Unsicherheiten. Darüber hinaus werden die Ergebnisse genutzt, um eventuelle Unterschiede zu identifizieren, die durch inter- und extrapolierte Hybridphantome im Vergleich zu den aktuell als Referenz von ICRP angenommenen bildgebungsbasierten Voxel-Phantomen entstehen.

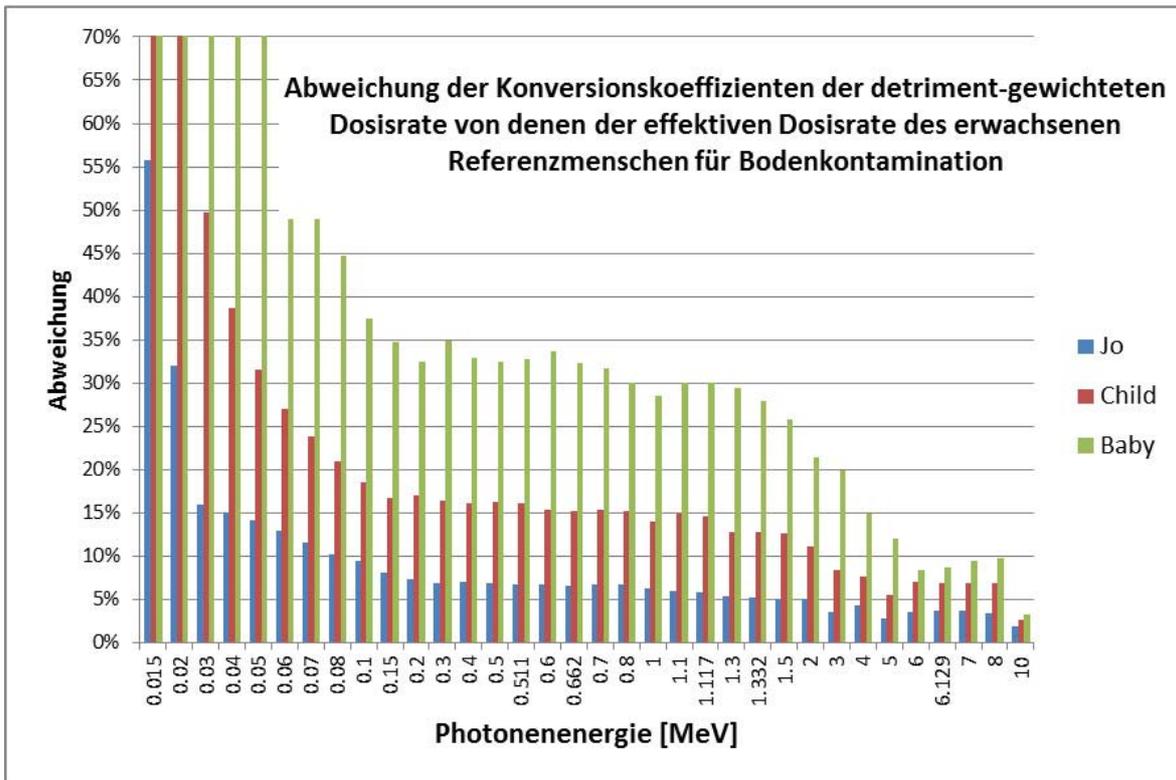
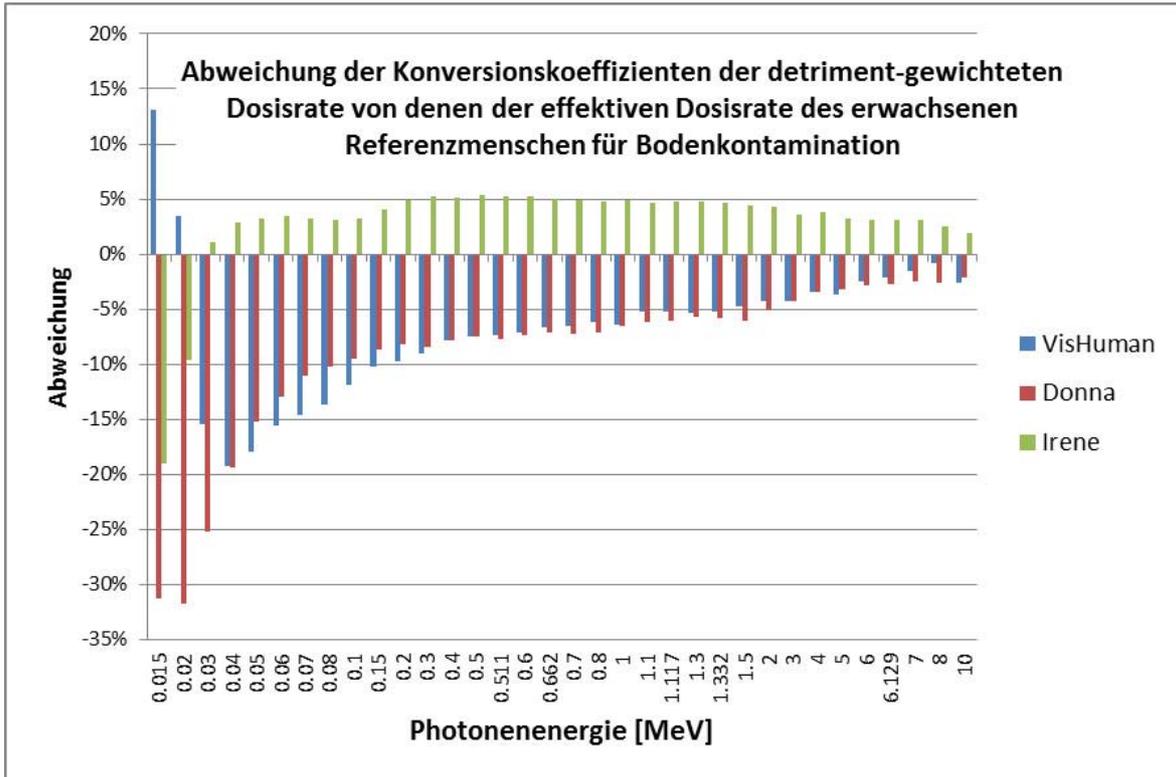


Abbildung 3: Abweichung der Konversionskoeffizienten der detriment-gewichteten Dosisrate der Nicht-Referenz-Phantome von den effektiven Dosisraten der ICRP-Erwachsenenphantome für Bodenkontamination. Oben: erwachsene Phantome; unten: Kinderphantome

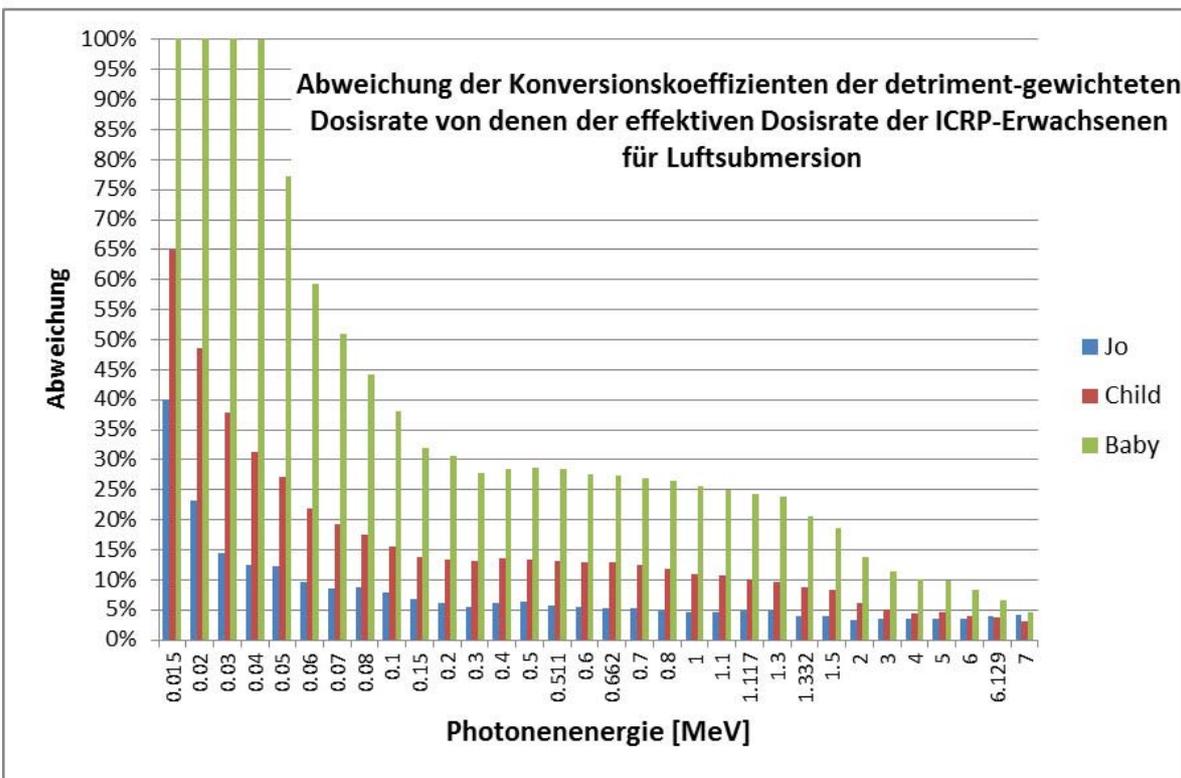
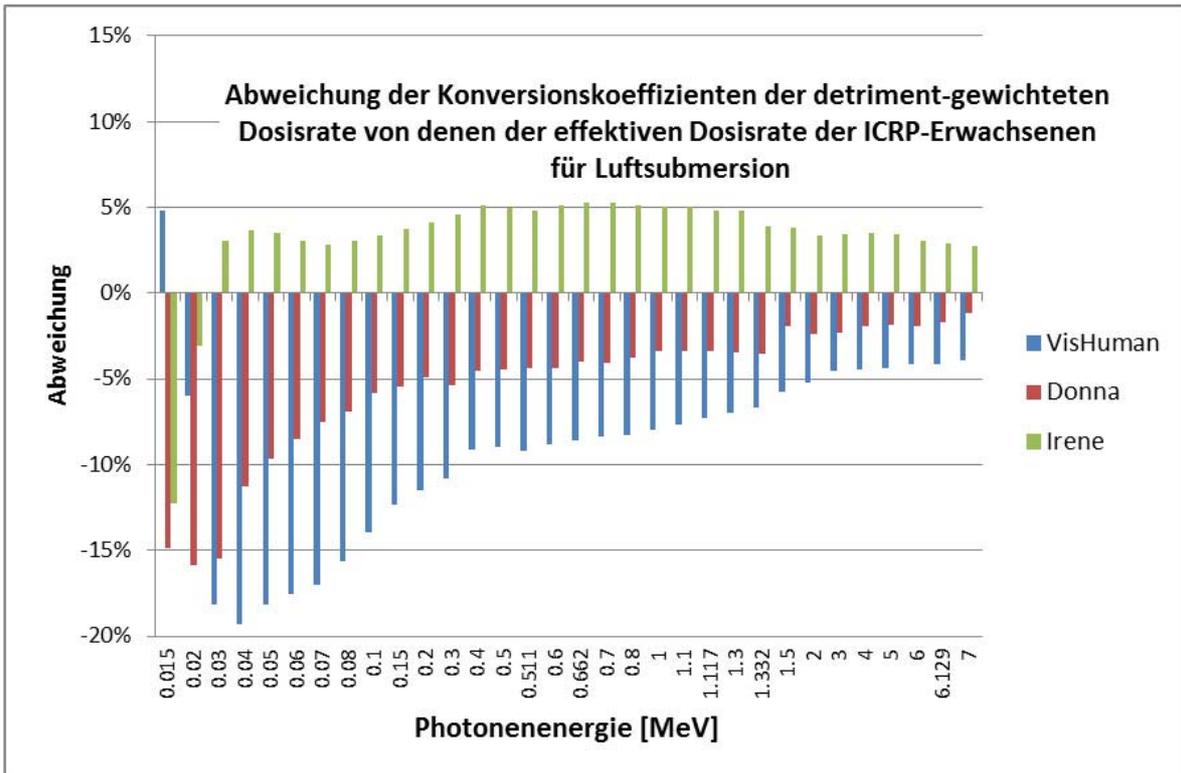


Abbildung 4: Abweichung der Konversionskoeffizienten der detriment-gewichteten Dosisrate der Nicht-Referenz-Phantome von den effektiven Dosisraten der ICRP-Erwachsenenphantome für Luftsubmersion. Oben: erwachsene Phantome; unten: Kinderphantome

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 / WR 2

verantwortlich für den Text
Prof. Dr. H. Zitzelsberger

1. ZIELSETZUNG

Das Ziel des Vorhabens bestand darin, strahlenspezifische Biomarker in Tumorzellen von Brustkrebspatientinnen mit Hilfe molekularzytogenetischer Verfahren in unabhängigen Brustkrebskollektiven zu validieren. Hierzu sollte ein bestehendes Patientenkollektiv aus Tschernobyl-Liquidatorinnen erweitert bzw. ein neues Patientenkollektiv von Brustkrebspatientinnen aus der Mayak-Kohorte etabliert werden. Bisher wurden in zwei aufeinander abgestimmten Studien (3608S30004 „Nachweis von strahleninduzierten Genveränderungen in Brusttumoren für eine verbesserte Abschätzung des durch ionisierende Strahlung verursachten Brustkrebsrisikos“ und 3611S30019 „Bestimmung und Validierung strahleninduzierter Genveränderungen in Brusttumoren zur verbesserten Brustkrebsrisikoabschätzung nach Exposition mit ionisierender Strahlung“) zu dieser Thematik entscheidende Grundlagen geschaffen und mögliche strahlenspezifische Marker auf Genom-, Chromosomen- und Expressionsebene in Tumorgewebe identifiziert. Darüber hinaus sollte die Rolle dieser Marker bei der Strahlenkarzinogenese der Brust mechanistisch untersucht werden, um eine verbesserte Einschätzung des Brustkrebsrisikos durch Strahlung zu ermöglichen.

2. EINZELZIELSETZUNG

Folgende Einzelziele wurden verfolgt:

2.1 ETABLIERUNG EINES NEUEN PATIENTENKOLLEKTIVS (MAYAK-KOHORTE)

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

2.2 ERWEITERUNG DES BESTEHENDEN BRUSTKREBSKOLLEKTIVS (TSCHERNOBYL-KOHORTE)

Das ukrainische Patientenkollektiv (Aufräumarbeiterinnen des Tschernobyl-Unfalls) sollte erweitert werden. Hierzu sollten Patientinnen > 60 Jahre bei OP (n = 50) einbezogen werden.

2.3 DOSISREKONSTRUKTION

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

2.4 VALIDIERUNG VON STRAHLENMARKERN AUS DER VORLÄUFERSTUDIE

Es sollten die in der Vorläuferstudie entdeckten Strahlenmarker in den Kollektiven (s. 2.1 und 2.2) validiert werden. Hierfür sollten immunhistochemische Analysen (TRPS-1), qRT¹⁾-PCR Analysen (miRNA-Marker)

¹⁾ quantitative Real-Time

und Array-basierte Verfahren für die globale Untersuchung von genomischen Kopienzahlveränderungen angewendet werden.

2.5 UNTERSUCHUNG VON NORMALGEWEBEN/BLUTPROBEN

Es sollten die validierten miRNA-Marker in Normalgewebe- oder Blutproben der Kollektive (s. 2.1 und 2.2) analysiert werden.

3. METHODIK

3.1 ZUSAMMENSTELLUNG DER TUMORKOLLEKTIVE

Im Rahmen dieses Projekts und der zwei vorangegangenen Projekte (s. 1) wurden verschiedene Tumor- und Kontrollkollektive etabliert, die molekulargenetisch untersucht wurden, um strahlenassoziierte Marker und strahlenspezifische Mechanismen bei Brustkrebs zu identifizieren. Das zweite Validierungskollektiv bestand aus jeweils 50 Brustkrebsfällen von Liquidatorinnen und Mayak-Arbeiterinnen, die zum Zeitpunkt der Operation älter als 60 Jahre waren und zudem eine unterschiedliche Expositionssituation (Mayak-Arbeiterinnen) hatten. Mit diesem zweiten Validierungskollektiv sollten wiederum die ursprünglichen Hypothesen bezüglich strahlenspezifischer Veränderungen überprüft werden und gleichzeitig ein möglicher Einfluss des Alters und der Bestrahlungsbedingungen untersucht werden. Zur Erweiterung des bestehenden Tschernobyl-Kollektivs wurden das nationale Krebsregister der Ukraine, das staatliche Tschernobyl-Register in Kiew und die Patientenregister verschiedener Kliniken, in dem die Liquidatoren des Reaktorunfalls erfasst sind, abgeglichen und geeignete Brustkrebsfälle aus dem Zeitraum 1992-2016 (älter als 60 Jahre) für diese Studie identifiziert.

Parallel wurde ein weiteres Validierungskollektiv aus Brustkrebsfällen von Mayak-Arbeiterinnen etabliert. Dazu wurden aus dem Kollektiv der Mayak-Arbeiterinnen Brustkrebspatientinnen identifiziert und die Mayak-Biobank nach verfügbaren Gewebeproben abgefragt. Parallel wurden die verfügbaren klinischen Daten für die vorliegenden Fälle mit Gewebeproben zusammengestellt. Von den Gewebeproben wurden Serienschnitte angefertigt, mikrodissiziert und für die nachfolgenden Untersuchungen vorbereitet. Alle Fälle wurden histopathologisch begutachtet und klassifiziert. Zusätzlich wurde für Vergleichszwecke ein zusätzliches Kollektiv von Patientinnen der Universitätsklinik Tübingen (n = 22, Tumor- und Normalgewebe) etabliert, das vom Alter und den klinischen Parametern dem Mayak-Kollektiv sehr ähnlich war.

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. Die Dosisrekonstruktion der Patientinnen des Mayak-Kollektivs wurde nach dem "Mayak Worker Dosimetry System-2013" durchgeführt.

3.3 ANALYSE VON GENOMISCHEN KOPIENZAHVERÄNDERUNGEN

Mit Hilfe von Array-CGH¹⁾ wurden die Tumorproben aus Mayak und Tumoren von Liquidatorinnen analysiert. Die bereits vorliegenden Kopienzahldaten vom Untersuchungs- und Validierungskollektiv des Vorgängerprojekts wurden im Hinblick auf eine strahlenspezifische Signatur (Kombination von Kopienzahlveränderungen) ausgewertet. Für die Erstellung einer Signatur aus Kopienzahlveränderungen mit mathematischen Methoden wurden die vorliegenden Daten von 136 angeglichenen Fällen von exponierten und nicht-exponierten Fällen verwendet. Diese Fälle wurden in zwei gleichgroße Kollektive von je 68 Fällen unterteilt, wobei auf paarweise Anpassung der Fälle nach klinischen Kriterien geachtet wurde. Die Signatur wurde in einem der beiden Kollektive bestimmt, das andere Kollektiv diente als Validierungskollektiv.

3.4 IMMUNHISTOCHEMISCHE FÄRBUNG - BESTIMMUNG DER TRPS-1-EXPRESSION

Um die Kollektive unter 3.1 hinsichtlich der TRPS-1-Expression zu untersuchen, wurden Gewebeschnitte der einzelnen Fälle mit einem TRPS-1-spezifischen Antikörper in einer automatisierten Färbepattform (Ventana) angefärbt und hinsichtlich der Färbintensität mit Hilfe der Definiens Software ausgewertet.

¹⁾ Array-based Comparative Genomic Hybridisation

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 Oligonukleotid-Primers durchgeführt.

4. DURCHFÜHRUNG

4.1 ETABLIERUNG EINES MAMMAKARZINOM-KOLLEKTIVS UND DOSISREKONSTRUKTION

Das Validierungskollektiv wurde aus Brustkrebspatientinnen von Liquidatorinnen und Mayak-Arbeiterinnen wie unter 3.1 beschrieben zusammengestellt. Es wurden insgesamt 104 Brustkrebsfälle in die Studie eingeschlossen (50 Liquidatorinnen, 54 Mayak-Arbeiterinnen). Von 50 Patientinnen aus der Gruppe der Liquidatorinnen wurden Interviews für die Dosisabschätzung durchgeführt. Von den Patientinnen der Mayakgruppe lagen Dosisabschätzungen bereits vor. Von den paraffineingebetteten Gewebeproben aller Patientinnen wurden Mikrotom-Schnitte hergestellt. Von allen Patientinnen wurden die bekannten Brustkrebsmarker analysiert.

4.2 UNTERSUCHUNGEN AN PARAFFINSCHNITTEN

Bei beiden Validierungskollektiven wurden anhand der paraffineingebetteten Mikrotom-Schnitte Array-CGH (genomische Kopienzahl), qRT-PCR (miRNA) und immunhistochemische Untersuchungen durchgeführt.

4.3 GENOMISCHE KOPIENZAHLSIGNATUR

Zur Generierung einer strahlenspezifischen Signatur aus genomischen Kopienzahlveränderungen wurde die logistische Regression verwendet. Hierbei wird eine Kombination von Kopienzahlveränderungen ermittelt, die die molekulare Zugehörigkeit eines Falles zur exponierten Patientengruppe vorhersagt. 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

Es wurden Normalgewebeschnitte von verfügbaren Paraffinblöcken der Mayak-Arbeiterinnen ausgewählt, um die Strahlenmarker (hsa-miR-26b-5p, TRPS-1) in diesen Proben zu untersuchen. Von den Patientinnen aus der Gruppe der Liquidatorinnen standen hierfür leider keine Normalgewebe zur Verfügung.

5. ERGEBNISSE

Während der Projektlaufzeit wurden folgende Ergebnisse erzielt:

5.1 ETABLIERUNG DER VALIDIERUNGSKOLLEKTIVE

Es wurden im Verlauf des Projekts insgesamt 104 Fälle aus den Datenbanken identifiziert, von denen auch Paraffingewebe verfügbar war. Von den verfügbaren Fällen wurden Serienschnitte angefertigt und durch Entfernung von Normalgewebe für Tumorzellen angereichert.

5.2 DOSISABSCHÄTZUNG EXPONIERTER FÄLLE

Für das Validierungskollektiv der Liquidatorinnen war eine mediane Dosis von 8 mGy zu beobachten. Neun Fälle (18 %) wiesen eine Dosis von mehr als 100 mGy auf mit einer Maximaldosis von mehr als 1 Gy in einem Fall. Im Vergleich zum ursprünglichen Liquidatorinnen-Kollektiv, in dem die Patientinnen jünger als 60 Jahre waren, zeigte sich eine höhere mediane Dosis (5,8 mGy vs. 8 mGy) sowie eine größere Anzahl von Patientinnen mit mehr als 100 mGy (drei vs. neun Fälle). In allen untersuchten Kollektiven war allerdings eine sehr große interindividuelle Variabilität der Dosen zu beobachten.

Hingegen war für das Validierungskollektiv der Mayak-Arbeiterinnen eine mediane Dosis von 113 mGy zu beobachten. Acht Fälle (15 %) wiesen eine Dosis von mehr als 2000 mGy auf mit einer Maximaldosis von 2 641 mGy in einem Fall. Im Vergleich zum Liquidatorinnen Kollektiv lag demnach eine deutlich höhere mediane Dosis sowie eine größere Anzahl von Patientinnen mit mehr als 500 mGy (zwei vs. 17 Fälle) vor. In beiden Kollektiven war allerdings eine ähnlich große interindividuelle Variabilität der Dosen zu beobachten.

5.3 GENOMISCHE KOPIENZAHLSIGNATUR

Es wurde eine Kopienzahl-Signatur, die den Expositionsstatus der Fälle anzeigt, identifiziert, die aus 9 verschiedenen Kopienzahlveränderungen besteht. 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).

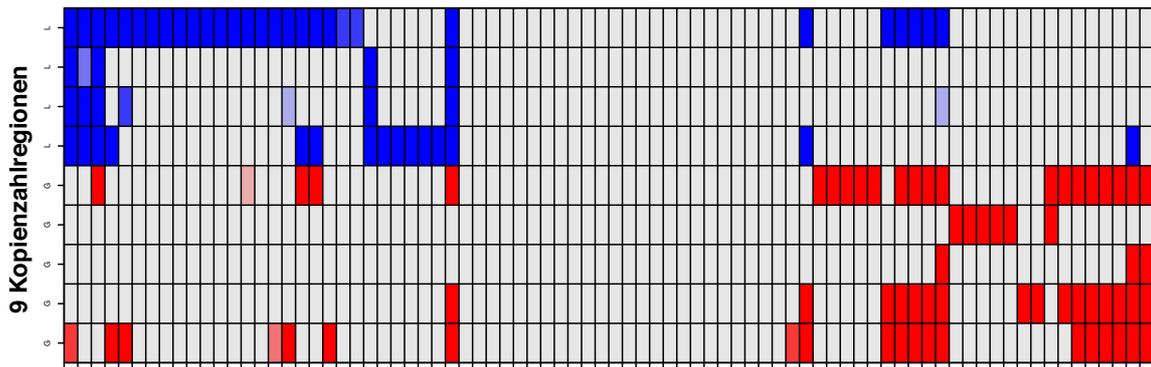
Die Ergebnisse der Validierung der strahlenassoziierten Kopienzahl-Signatur in beiden Validierungskollektiven sind in Abbildung 1 dargestellt. Im oberen Teil der Abbildung ist ein Diagramm für die Kopienzahl-Veränderungen der neun Komponenten der Kopienzahl-Signatur (rot = DNA-Zugewinne, blau = DNA-Verluste, pro Signaturkomponente eine Zeile) für alle Fälle der beiden Validierungskollektive (Liquidatorinnen und Mayak-Arbeiterinnen, pro Fall eine Spalte) gezeigt. Die exponiert klassifizierten Fälle zeigen ein bestimmtes Muster für diese neun Kopienzahlregionen. Entweder sind hier keine Veränderungen oder überwiegend DNA-Zugewinne zu beobachten, während in den negativ klassifizierten Fällen überwiegend DNA-Verluste in dieser Signatur zu beobachten waren (Abbildung 1A). Der mittlere Teil der Abbildung gibt die vorhergesagte Klassifizierung der Einzelfälle des kombinierten Validierungskollektivs anhand des Wahrscheinlichkeitswerts P wieder. Dabei wurden alle Fälle mit einem Wahrscheinlichkeitswert größer 0,5 als exponiert und mit einem Wert kleiner 0,5 als nicht exponiert klassifiziert. Hierbei ergab sich für das kombinierte Kollektiv eine Sensitivität (Anteil exponiert klassifizierter Fälle) von 65 % (Abbildung 1B). Im unteren Teil der Abbildung ist rechts die Sensitivität im ursprünglichen Untersuchungskollektiv gezeigt, in dem die Kopienzahl-Signatur entwickelt wurde. Diese Signatur ergab im 1. Validierungskollektiv (Liquidatorinnen mit ähnlichen Charakteristika) das bereits publizierte Ergebnis von 79 % Sensitivität und 47,1 % Spezifität. Flankierend dazu sind die Ergebnisse in den 2. Validierungskollektiven (Liquidatorinnen und Mayak-Arbeiterinnen) getrennt dargestellt (Abbildung 1C). Diese beiden neuen Validierungskollektive unterschieden sich zum 1. Validierungskollektiv in erster Linie hinsichtlich des Alters der Patientinnen (älter als 60 Jahre bei Operation), während die beiden neuen Validierungskollektive im Vergleich zueinander unterschiedliche Bestrahlungsbedingungen und unterschiedliche Dosisbereiche aufwiesen. In den neuen Validierungskollektiven waren die beobachteten Sensitivitäten sowohl in der Mayak-Gruppe als auch in der Liquidatorinnen-Gruppe geringer als im publizierten Validierungskollektiv. Allerdings waren die Unterschiede jeweils nicht signifikant (Fisher's exakter Test, Mayak-Gruppe $p = 0,42$, Liquidatorinnen-Gruppe $p = 0,056$). Daraus ergibt sich die Schlussfolgerung, dass in den beiden neuen Validierungskollektiven ähnliche Ergebnisse zu beobachten sind wie im 1. Validierungskollektiv. Die etwas schlechtere Sensitivität bei der Vorhersage strahlenassoziiertter Fälle in beiden neuen Validierungskollektiven lässt sich durch die unterschiedliche Altersstruktur der Kollektive erklären. Der Vergleich der Ergebnisse zwischen dem Mayak- und dem Liquidatorinnen-Validierungskollektiv legt nahe, dass die unterschiedliche Strahlenexposition (v. a. höhere Dosen im Kollektiv der Mayak-Arbeiterinnen) zu einem etwas höheren Anteil strahlenassoziiertter Brustkrebsfälle im Mayak-Kollektiv geführt hat.

5.4 STRAHLENASSOZIIERTE HSA-miR-26b-5p- UND TRPS-1-EXPRESSION

Die Expression von hsa-miR-26b-5p wurde in beiden Validierungskollektiven (Mayak und Liquidatorinnen) untersucht und mit dem Expositionsstatus korreliert. Für die Liquidatorinnen ergab der Vergleich zwischen den Expressionswerten von hsa-miR-26b-5p für Tumore nicht-exponierter Personen mit den Tumoren exponierter Personen aus dem Validierungskollektiv einen signifikanten Unterschied (Test für partielle differenzielle Genexpression, $p = 10^{-5}$). Bei den Mayak-Arbeiterinnen wurde beim Vergleich von Tumoren nicht-exponierter Personen mit Tumoren exponierter Personen aus dem Validierungskollektiv ebenfalls ein signifikanter Unterschied festgestellt (Test für partielle differenzielle Genexpression, $p = 0,018$). Somit konnte für die miRNA hsa-miR-26b-5p eine differenzielle Expression zwischen den Tumoren exponierter und nicht-exponierter Probanden auch im Validierungskollektiv bestätigt werden.

Die Expression des von hsa-miR-26b-5p regulierten TRPS1-Proteins wurde an beiden Validierungskollektiven untersucht. Abbildung 2 zeigt beispielhaft die TRPS1-Immunfärbung eines Falles mit erhöhter TRPS1-Expression und eines Falles mit geringer TRPS1-Expression in Tumorzellen. Außerdem ist die experimentelle Vorgehensweise bei der Auswahl der gefärbten Tumorzellen und der nachfolgenden Quantifizierung der Färbintensität beschrieben. Zum Vergleich sind im mittleren Teil der Abbildung auch die Ergebnisse des Untersuchungskollektivs (3608S30004) und des 1. Validierungskollektivs (3611S30019) gezeigt, die jeweils eine signifikant verminderte Expression von TRPS1 in den exponierten Fällen ergeben haben. Der Vergleich mit nicht exponierten Fällen ergab für das Gesamtkollektiv (Liquidatorinnen und Mayak-Arbeiterinnen), für Ma-

A



B



C

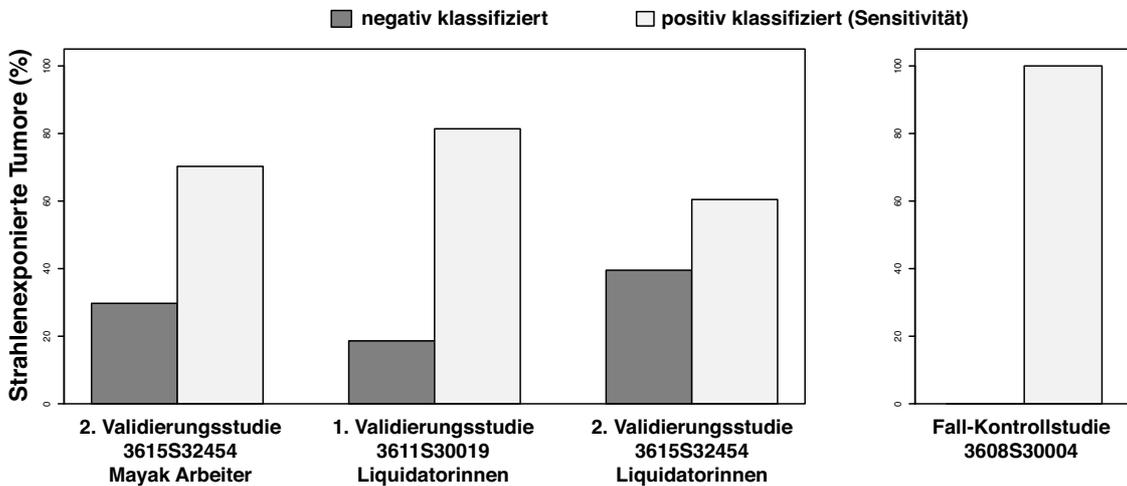
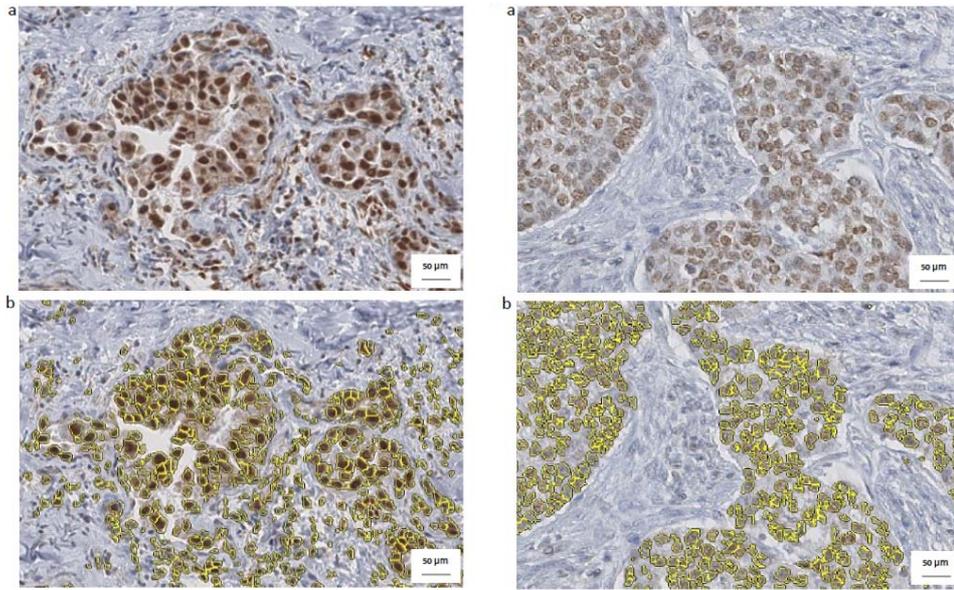


Abbildung 1: Genomische Kopienzahl-Signatur

Diagramm für die Kopienzahl-Veränderungen der neun Komponenten der Kopienzahl-Signatur (rot = DNA-Zugewinne, blau = DNA-Verluste, pro Signaturkomponente eine Zeile) für alle Fälle der beiden Validierungskollektive. Jede Spalte im Diagramm repräsentiert einen Fall, jede Zeile einen chromosomalen Bereich der Kopienzahl-Signatur (A). Basierend auf dem Muster der Kopienzahl-Veränderungen wurden die Einzelfälle des kombinierten Validierungskollektivs in exponierte und nicht exponierte Fälle klassifiziert (B). Der Anteil der exponiert klassifizierten Fälle (Sensitivität) ist in allen untersuchten Kollektiven und im Vergleich zum ursprünglichen Untersuchungskollektiv gezeigt, in dem die Kopienzahl-Signatur entwickelt wurde (C).



Algorithmus basierte Analyse der Farbintensitäten von TRPS1-positiven Zellkernen (markiert mit gelben Kreisen) mit der digitalen Bild-Software DefiniensTissueStudio 3.5

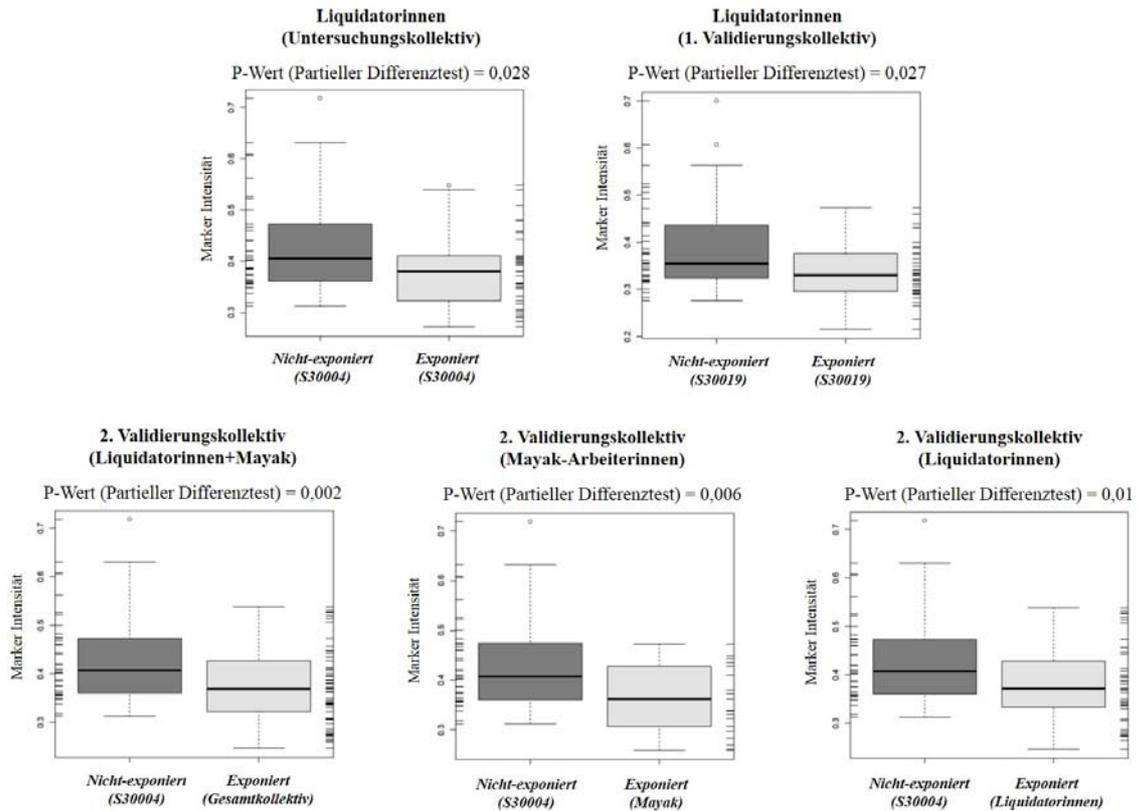


Abbildung 2: TRPS-1-Analyse (Proteinexpression in Tumorgewebe)

Es ist exemplarisch ein TRPS-1-positiver (links oben) und ein TRPS-1-negativer (rechts oben) Fall gezeigt. a) immunhistochemische Färbungen, b) markierte Zellkerne (gelbe Kreise), die mittels der Definiens-Software hinsichtlich der Färbintensität gemessen werden. Im unteren Teil der Abbildung sind jeweils die Färbintensitäten von TRPS-1 in exponierten und nicht-exponierten Tumorkollektiven aufgetragen (Boxplots).

yak-Arbeiterinnen und für Liquidatorinnen jeweils eine signifikant verminderte Expression in den exponierten Tumoren (Test für partiell differenzielle Genexpression, $P = 0,002$, $P = 0,006$, $P = 0,01$). Somit konnte bei diesem Vergleich eine spezifisch verminderte TRPS1-Expression in exponierten Fällen bestätigt werden. Sie steht auch im Einklang mit der erhöhten Expression der hsa-miR26b-5p, die die Expression von TRPS1 negativ reguliert.

5.5 ANALYSE VON HSA-miR-26b-5p- UND TRPS1-EXPRESSION IN NORMALGEWEBE

Es konnten nur Mayak-Fälle, bei denen das verfügbare Normalgewebe histologisch frei von Tumorzell-Infiltrationen war, auf eine veränderte Expression von hsa-miR-26b-5p- und TRPS1-Protein untersucht werden. Die gemessenen Expressionswerte in den Normalgeweben der Mayak-Arbeiterinnen wurden sowohl für hsa-miR-26b-5p als auch für TRPS1 mit Expressionswerten nicht-exponierter Normalgewebe verglichen. Dabei ergab sich für hsa-miR-26b-5p eine signifikant erhöhte Expression in den exponierten Normalgeweben des Mayak-Kollektivs (Test für partiell differenzielle Genexpression, $P = 10^{-5}$), während für die TRPS1-Expression kein signifikanter Unterschied zu beobachten war. Dies könnte so interpretiert werden, dass die veränderte Regulation der microRNA eine sehr frühe strahleninduzierte Veränderung darstellt, während die veränderte Proteinexpression von TRPS1 erst im Zuge der Tumorentstehung auftritt.

6. UMSETZUNG DER ERGEBNISSE

Es ist Aufgabe des BMU/BfS, das strahlenbedingte Risiko zu ermitteln, zu bewerten und daraufhin den Strahlenschutz zu optimieren. Die Bewertung von biologischen Wirkungsmechanismen ist auch ein Bestandteil dieser Aufgaben.

Das Erkennen möglicher strahlenspezifischer Marker kann zu einer verbesserten Einschätzung des Brustkrebsrisikos durch Strahlung beitragen. Diese Erkenntnisse können sowohl bei der Durchführung von Mammographie-Screenings einbezogen werden, aber auch die Aussagekraft von Biomarkern klären und zum Verständnis der Tumorentstehung bei niedrigen Dosen beitragen.

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 / ŠT-RK

verantwortlich für den Text
Dr. S. Tapio

1. ZIELSETZUNG

Das Hauptziel war es, strahlenbedingte Schäden an Zellen des kardiovaskulären Systems anhand von Analysen des Proteoms von Gewebeproben der Majak-Arbeiter und entsprechender Kontrollpersonen (Institut für Strahlenbiologie/ISB, HMGU und Southern Urals Biophysics Institute/SUBI) zu untersuchen.

2. EINZELZIELSETZUNG

2.1 PROBENNAHME AM SOUTHERN URALS BIOPHYSICS INSTITUTE

Die Hauptaufgabe bestand in der Entnahme von Proben des menschlichen Herzens und deren Übersendung ans ISB. 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.

2.2 GEWEBEPROBENANALYSE AM ISB

Die Proteomuntersuchung wurde an allen Proben der Probanden individuell durchgeführt mit dem Ziel, signifikante Signalwege und Marker für die strahleninduzierte Herz-Kreislaufkrankung zu finden.

2.3 ANALYSE VON ZELLULÄREN (KARDIOMYOZYTEN) PROBEN

Das Ziel der zellulären Studie war es, die Veränderungen von Schlüsselproteinen wie PPAR¹ alpha (wichtiges Regulatorprotein des Fettstoffwechsels) und Nrf2 (wichtiges Regulatorprotein der oxidativen Stressantwort) unter dem Einfluss ionisierender Strahlung besser zu verstehen.

3. METHODIK

Die strahlenspezifischen Proteomänderungen der Gewebeproben und Kardiomyozyten wurden mit Hilfe der markierungsfreien massenspektrometrischen Quantifizierung analysiert, was die Erstellung eines individuellen und unabhängigen Proteomprofils jeder einzelnen Probe ermöglichte.

3.1 ENTNAHME DER GEWEBEPROBEN (SUBI)

Die Entnahme der Gewebeproben aus den Herzen erfolgte nach der SOP aus dem Jahr 2011.

3.2 ZELLKULTUR, BESTRAHLUNG UND IMMUNBLOTTING (HMGU)

Um die durch die Bestrahlung veränderten zellulären Signalwege zu verifizieren, wurde eine komplementäre zelluläre Studie durchgeführt. Hauptsächlich wurden hierfür humane Kardiomyozyten (Human Cardiac

¹) Peroxisom-Proliferator-aktivierter Rezeptor

Myocytes - HCM, PromoCell) verwendet, für die auch die Zellkulturbedingungen optimiert wurden. Da HCMs aus den Ventrikeln des adulten Herzens isoliert werden, eignen sie sich für die In-vitro-Erforschung von Herz-erkrankungen sowie für pharmakologische Studien und Langzeitversuche.

3.3 PROTEOMANALYSE DER ZELLEN (HMGU)

Um die Proteomantwort der Kardiomyozyten auf die Strahlenexposition zu untersuchen, wurden 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 (detailliert in 4.4 „Proteomanalyse der Gewebeproben“ beschrieben).

3.4 PROTEOMANALYSE DER GEWEBEPROBEN (HMGU)

Die vom SUBI erhaltenen Proben repräsentierten die vier Dosisgruppen 0 mGy, <50 mGy, 50 mGy-500 mGy und >500 mGy. Pro Person wurden vier Ampullen versendet: zwei mit Proben des linken Ventrikels und zwei mit Proben der Koronararterie.

4. DURCHFÜHRUNG

4.1 ENTNAHME DER GEWEBEPROBEN (SUBI)

Von 28 an IHK¹⁾ verstorbenen Personen (Majakarbeitern und Einwohnern von Osjorsk, bezeichnet als „Kontrolle“) wurden Herzproben entnommen (Tabelle 1). Bei der Entnahme des Herzgewebes und der Einfrierprozedur wurde bei der Wahl der möglichen Spender auf die zuvor vereinbarten Ein- und Ausschlusskriterien geachtet.

4.2 ZELLKULTUR, BESTRAHLUNG UND IMMUNBLOTTING (HMGU)

Die HCMs wurden 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, wurde ihre metabolische Aktivität eine Woche nach der Exposition gegenüber 0, 2, 8 und 16 Gy unter Verwendung von ELISA²⁾ gemessen. Darüber hinaus wurden strahleninduzierte Veränderungen in PPAR alpha und deren Zielenzymen und verwandten Proteinen (Sirtuine, PGC1) sowie in oxidativen Stressantwort-Proteinen [Nuclear Factor (erythroid-Derived 2)-Like 2 (NRF2), Glutathion-S-Transferase Kappa 1, Katalase] mittels Immunblotting analysiert.

4.3 PROTEOMANALYSE DER ZELLEN (HMGU)

Die Proteomanalyse wurde wie in 4.4 „Proteomanalyse der Gewebeproben“ beschrieben durchgeführt.

4.4 PROTEOMANALYSE DER GEWEBEPROBEN (HMGU)

Auf der Grundlage einer bovinen Serumalbumin-(BSA)-Standardkurve wurde die Proteinkonzentration jeder Probe mittels der Bradford-Methode bestimmt. Die Proben wurden mit Trypsin verdaut. Mit Hilfe eines Verfahrens zur filtergestützten Probenvorbereitung, mit dem die Effizienz der Proteinextraktion in der Proteomik verbessert werden kann, wurden die Proben verarbeitet und gereinigt. Dann wurden sie einer ESI-LC-MS/MS³⁾-Analyse unterzogen und das Proteomprofil unter Verwendung der Progenesis-Software quantifiziert. Schließlich wurden alle Daten in einer Bioinformatik-Analyse mit Software-Tools miteinander kombiniert.

5. ERGEBNISSE

5.1 ANALYSE MÄNNLICHER MAJAK-ARBEITER

Die Proteomik-Analyse von männlichen Herzen identifizierte 1 912 Proteine in allen vier Gruppen, von denen 924 Proteine durch mindestens zwei einzigartige Peptide identifiziert wurden. Unter den quantifizierten Pro-

¹⁾ ischämische Herzkrankheit

²⁾ enzyme-linked immunosorbent assay

³⁾ Elektrospray-Ionisation-Flüssigchromatographie mit Massenspektrometrie-Kopplung

teinen waren 75, 102 und 127 Proteine nach < 100 mGy, 100 - 500 mGy und > 500 mGy Exposition signifikant verändert ($\pm 1,3$ -fach; $p < 0,05$), was auf eine dosisabhängige Zunahme der Anzahl von veränderten Proteinen schließen lässt. Nur 4 Proteine waren in allen exponierten Gruppen als dereguliert vorhanden (Abbildung 1A). Eine detaillierte Analyse der funktionalen Interaktionen und biologischen Signalwege wurde mit IPA¹⁾-Software (<http://www.INGENUITY.com>) durchgeführt.

Tabelle 1: Detaillierte Informationen zu den Probanden

Nº	Probe ID	„Klinik“ ID	Arbeiter oder Kontrolle	Geschlecht	Geburtsdatum	Todesdatum	Ganzkörperdosis mGy
1	52	88546	Kontrolle	weiblich	25/03/1929	28/09/2014	0
2	54	14011	Arbeiter	männlich	10/04/1935	15/04/2015	1 226,5
3	55	89110	Arbeiter	männlich	01/08/1950	17/04/2015	0
4	56	36995	Arbeiter	männlich	07/11/1958	19/04/2015	0
5	57	78590	Kontrolle	weiblich	16/12/1945	19/05/2015	0
6	58	61028	Kontrolle	weiblich	20/10/1936	21/05/2015	0
7	59	3390	Arbeiter	männlich	20/09/1935	31/05/2015	1 154,3
8	61	15213	Arbeiter	männlich	15/07/1929	03/06/2015	1 426,0
9	63	37671	Arbeiter	männlich	16/12/1942	23/10/2015	103,4
10	65	35491	Arbeiter	männlich	10/07/1938	22/11/2015	9,8
11	66	27766	Arbeiter	männlich	17/05/1957	23/11/2015	0,3
12	67	4660	Arbeiter	männlich	26/05/1968	23/01/2016	0
13	68	63173	Kontrolle	männlich	31/03/1960	26/03/2016	0
14	69	34521	Arbeiter	weiblich	16/12/1948	28/03/2016	0,5
15	70	38551	Arbeiter	männlich	05/05/1966	10/05/2016	0
16	71	22206	Arbeiter	männlich	04/02/1938	13/05/2016	21,6
17	73	38591	Arbeiter	weiblich	29/05/1955	15/05/2016	0
18	74	90293	Kontrolle	weiblich	25/09/1928	04/06/2016	0
19	76	90413	Kontrolle	weiblich	07/12/1948	03/08/2016	0
20	78	90669	Kontrolle	weiblich	06/12/1948	15/11/2016	0
21	79	37325	Arbeiter	männlich	19/06/1935	10/04/2017	92,8
22	80	49574	Kontrolle	weiblich	30/01/1930	10/04/2017	0
23	81	26731	Arbeiter	männlich	09/05/1945	14/04/2017	196,7
24	82	91398	Kontrolle	weiblich	23/07/1934	05/06/2017	0
25	84	61295	Kontrolle	weiblich	24/07/1947	16/06/2017	0
26	85	19606	Arbeiter	männlich	15/10/1941	20/06/2017	409,9
27	86	81113	Arbeiter	männlich	25/09/1954	12/08/2017	0
28	87	16366	Arbeiter	weiblich	30/11/1929	25/09/2017	1 304,8

Die mitochondriale Funktion und Stoffwechselwege wie der Sirtuin-Signalweg und der Krebszyklus (TCA-Zyklus) waren im Vergleich zu den Kontrollen in allen bestrahlten Gruppen am stärksten betroffen (Abbildung 1B).

Laut IPA beteiligte sich die Mehrzahl der deregulierten Proteine am Sirtuin-Signalweg. Um zu untersuchen, welche Sirtuin-Isoform in bestrahlten Herzen betroffen war, wurde die Proteinexpression von Sirtuinen durch Immunoblotting analysiert. Die Analyse zeigte eine signifikante Herunterregulierung von Sirtuinen in den Mitochondrien (SIRT3, SIRT4 und SIRT5) in der Dosisgruppe > 500 mGy (Abbildung 2).

Basierend auf der IPA-Analyse wurde prognostiziert, dass PPAR alpha in bestrahlten Gruppen (100 - 500 mGy und > 500 mGy) inhibiert wird. Die Aktivität von PPAR alpha im Herzgewebe hängt von der Phosphorylierung von Serine 12 (Ser-12) ab, erhöhte Phosphorylierung bedeutet Deaktivierung dieses Transkriptionsfaktors. Das Verhältnis von phosphoryliertem (inaktivem) zu Gesamtprotein war in bestrahlten Proben im

¹⁾ Ingenuity Pathway Analysis

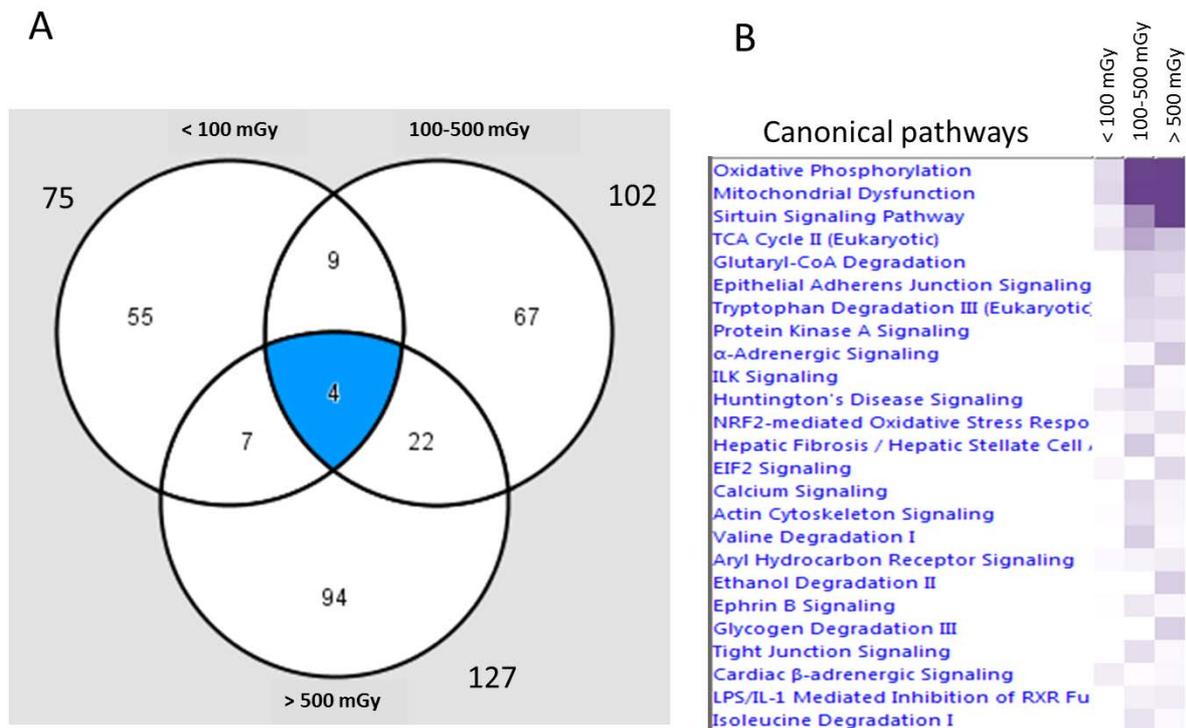


Abbildung 1: Darstellung der strahleninduzierten Veränderungen im kardialen Proteom
Das Venn-Diagramm zeigt die Anzahl der gesamten und gemeinsam deregulierten Proteine in den Dosisgruppen <100 mGy, 100-500 mGy und > 500 mGy im Vergleich zur Kontrolle (0 Gy).

Vergleich zur Kontrollgruppe signifikant erhöht, was auf eine strahlungsbedingte Verringerung der PPAR-alpha-Transkriptionsaktivität in bestrahlten Gruppen schließen lässt (Abbildung 3). Da PPAR alpha der Transkriptionsfaktor für viele im Fettsäuremetabolismus wichtige Enzyme ist, stimmt dies gut mit der in der Proteomik-Analyse beobachteten Herunterregulierung dieser PPAR-alpha-Zielproteine überein.

PGC1, ein zentraler Regulator der mitochondrialen Biogenese und ein für die Aktivierung von PPAR alpha erforderlicher Kofaktor, wurde auf Grund der Proteomik-Analyse als inaktiv prognostiziert. Da PGC1 durch Acetylierung/Deacetylierung durch SIRT1 reguliert wird, wurde das Expressionsniveau von PGC1 und seiner acetylierten (inaktiven) Form in bestrahlten und Kontrollproben untersucht. Die Ergebnisse bestätigten den signifikant erhöhten Spiegel von acetyliertem PGC1 in allen bestrahlten Gruppen.

Das Immunblotting der Proteine der Reaktion mit oxidativem Stress zeigte eine Herabregulierung von GSTK1 und Katalase in den beiden höchsten Strahlendosisgruppen, jedoch keine Veränderung des NFR2-Proteins.

5.2 ANALYSE WEIBLICHER MAJAK-ARBEITER

Die geringe Anzahl von Proben machte die Analyse schwierig. Insgesamt wurden 15 Kontrollproben, 4 Proben der niedrigsten Dosisgruppe und eine Probe der höchsten Dosisgruppe erhalten. Die Proteomik-Analyse identifizierte 1 941 Proteine in den drei Gruppen, von denen 1 135 Proteine durch mindestens zwei einzigartige Peptide identifiziert wurden. Unter den quantifizierten Proteinen waren 49 Proteine nach < 100 mGy-Exposition signifikant verändert (\pm 1,3-fach; $p < 0,05$). Eine detaillierte Analyse der funktionellen Interaktionen und biologischen Signalwege zeigte, dass mitochondriale Dysfunktion, Sirtuin-Signalwege und EIF2-Signalgebung, im Vergleich zu den Kontrollen, die am stärksten betroffenen Funktionen in der bestrahlten Gruppe waren. Dies könnte bedeuten, dass der biologische Mechanismus strahleninduzierter Herz-Kreislauf-Erkrankungen bei weiblichen und männlichen Arbeitern ähnlich ist, es sind jedoch mehr Proben erforderlich, um dies zu bestätigen.

5.3 ANALYSE MENSCHLICHER KARDIOMYOZYTEN

Die Proteomics-Analyse von Kardiomyozyten identifizierte insgesamt 3 286 Proteine. Mehr als 67 % dieser Proteine wurden durch mindestens zwei einzigartige Peptide quantifiziert. Proteine, die durch ein Minimum

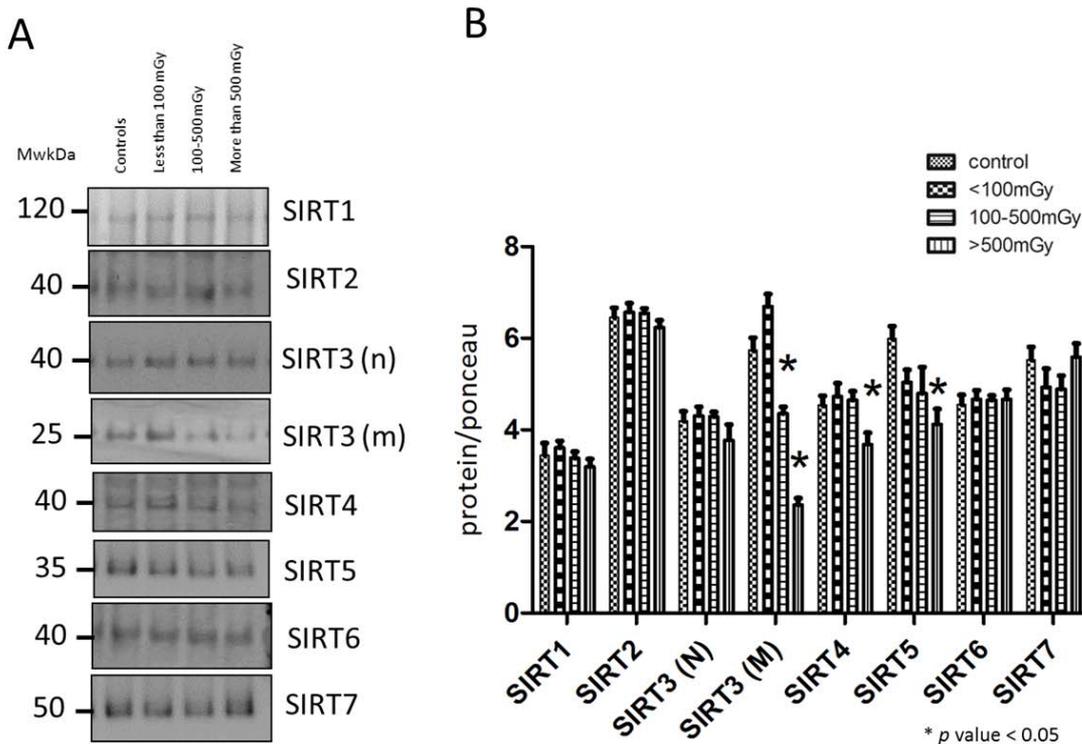


Abbildung 2: Darstellung der Sirtuin-Expression

Eine Immunblot-Analyse von SIRT1, SIRT2, SIRT3 (nuklear = N), SIRT3 (mitochondrial = M), SIRT4, SIRT5, SIRT6 und SIRT7 wurde durchgeführt (A). Die Säulen repräsentieren die durchschnittlichen Verhältnisse der relativen Proteinexpression in Kontroll- und bestrahlten Proben nach der Hintergrundkorrektur (B). Die Menge des Gesamtproteins wurde durch Ponceau-S-Färbung zum genauen Vergleich zwischen den Gruppen gemessen. Die Fehlerbalken repräsentieren den Standardfehler des Mittelwerts (+ SEM) (t-Test; * $p < 0,05$; $n = 3$).

von 2 einzigartigen Peptiden identifiziert wurden und Faltänderungen aufweisen, die mehr als das 1,3-fache oder weniger als das 0,77-fache (p -Werte $< 0,05$) sind, wurden signifikant differentiell exprimiert. Die Analyse zeigte, dass 19 Proteine nach 2 Tagen in den bestrahlten Zellen (2 Gy) signifikant verändert waren. Die Anzahl der veränderten Proteine stieg nach 7 Tagen auf 225 an. Dies legt eine zeitabhängige Zunahme der Anzahl der veränderten Proteine nahe. Die Immunblot-Analyse zeigte, dass der Anstieg des Verhältnisses von Gesamt zu Phospho-PPAR-alpha, in der höchsten Dosisgruppe nahe an der statistischen Signifikanz lag ($p = 0,06$), was auf eine Inaktivierung von PPAR-alpha hinweist. Dies deutet darauf hin, dass ein ähnlicher Mechanismus wie bei den humanen Proben auch bei den Kardiomyozyten zutreffen könnte.

6. UMSETZUNG DER ERGEBNISSE

In epidemiologischen Studien zeigte sich ein Zusammenhang zwischen ionisierender Strahlung und dem Auftreten von Herz-Kreislauf-erkrankungen. Durch Proteom-Analysen von Proben des Herzgewebes von verstorbenen Majak-Arbeitern konnten bereits in einem Vorläufervorhaben biologische Mechanismen gefunden werden, die diese Wirkungen erklären können. Die strahleninduzierten Veränderungen zeigen eine Beeinträchtigung der Funktion der Mitochondrien und der Energieproduktion. Derartige Veränderungen spielen bei der Entstehung kardiovaskulärer Erkrankungen eine wichtige Rolle. Sie waren bereits bei Dosen unterhalb von 100 mGy festzustellen und die Ausprägung steigerte sich mit der Dosis.

In dem vorliegenden Vorhaben konnten die Ergebnisse anhand weiterer Proben verstorbener Majak-Arbeiter bestätigt werden. Außerdem wurden erstmals auch weibliche Majak-Beschäftigte untersucht, mit vergleichbaren Ergebnissen. Bei den Untersuchungen an menschlichen Kardiomyozyten zeigten sich im Wesentlichen die gleichen Veränderungen wie bei den Gewebeproben.

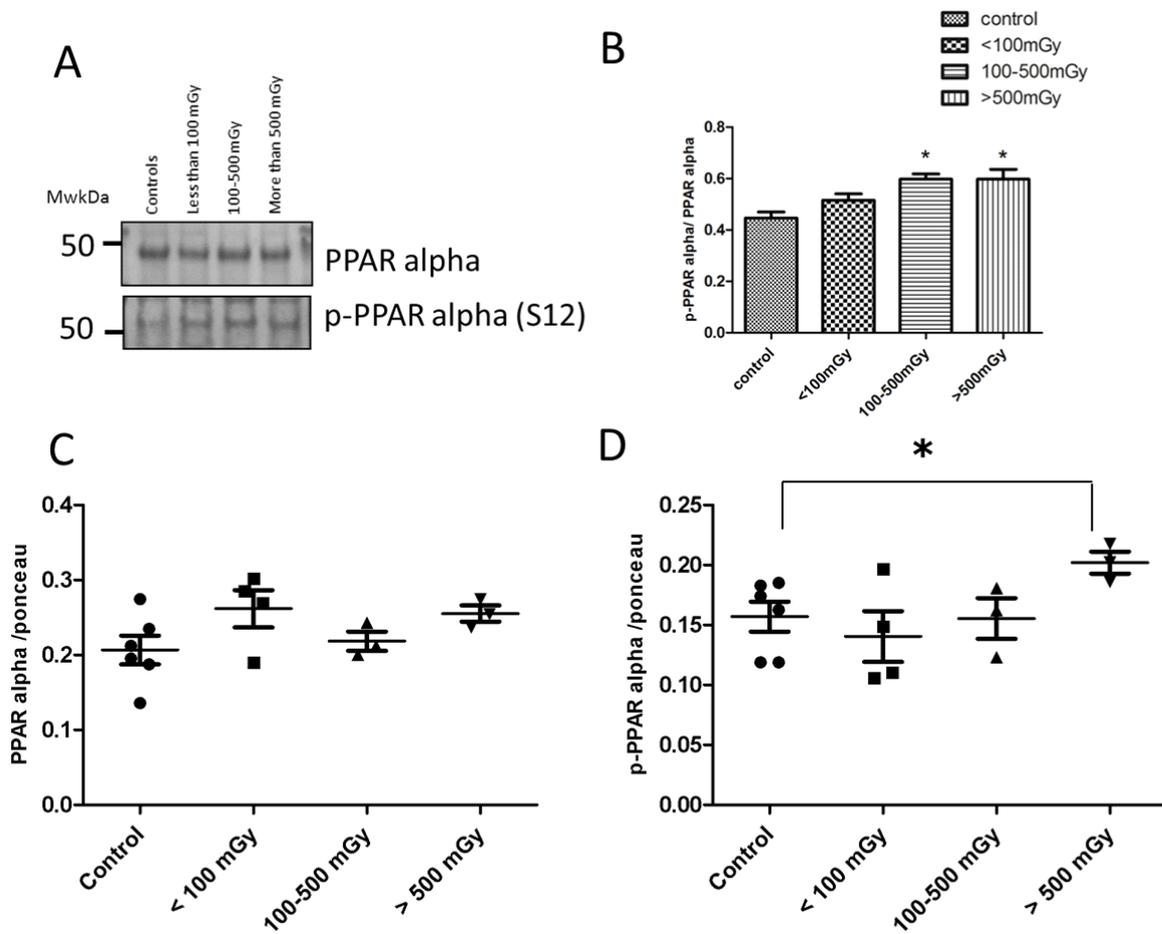


Abbildung 3: Analyse des Aktivierungsstatus von PPAR alpha

Das Immunblotting der Gesamtmenge an PPAR-alpha und phosphoryliertem PPAR alpha (Ser-12) in den gepoolten Proben ist dargestellt (A). Abb. 3 (B) zeigt die Quantifizierung des Immunblots von Gesamt- und Phospho-PPAR-alpha (Ser-12) in gepoolten Proben. Die Säulen repräsentieren die durchschnittliche Proteinexpression in Kontroll- und bestrahlten Proben. Das Immunblotting der Gesamtmenge an PPAR alpha (C) und phosphoryliertem PPAR alpha (Ser-12) (D) in den einzelnen Proben ist dargestellt. Die Menge des Gesamtproteins wurde durch Ponceau-S-Färbung gemessen, um einen genauen Vergleich zwischen den Gruppen zu ermöglichen. Die Fehlerbalken repräsentieren den Standardfehler des Mittelwerts (+ SEM) (t-Test; * $p < 0,05$; $n = 3$).

Um die Höhe des Risikos für Herz-Kreislaufkrankungen unter dem Einfluss ionisierender Strahlung beim Menschen bestimmen zu können, sind weitere Untersuchungen dringend erforderlich. Da Gewebeproben verstorbener Majak-Beschäftigter nur noch für eine sehr begrenzte Zeit zur Verfügung stehen, sollte baldmöglichst ein entsprechendes Vorhaben durchgeführt werden.

Thema

9. EUROSKIN Konferenz „Bedeutung und Nutzen von Biomarkern in der primären und sekundären Prävention von Hautkrebs“

Subject

9th EUOSKIN workshop „Use of biomarkers in primary and secondary prevention of skin cancer“

Kennzeichen
3617102420

Beginn
01.09.2017

Ende
31.05.2018

Fördermittel
EUR 15.926,-

Forschungs- / Auftragnehmer

European Society of Skin Cancer Prevention e. V. EUOSKIN

Projektleitung
Dr. R. Greinert

Fachbetreuung BfS
Dr. C. Baldermann / WR 4

verantwortlich für den Text
Dr. R. Greinert, Dr. B. Volkmer

1. ZIELSETZUNG

Das Ziel des Workshops war es, eine Übersicht über das wissenschaftliche Knowhow zum Thema Biomarker und deren Einsatz in Prävention und Früherkennung von Hautkrebs zu erhalten.

2. EINZELZIELSETZUNG

Im Rahmen des Workshops sollte erörtert werden, ob die Nutzung von Biomarkern in einer „molekularen Epidemiologie“ herkömmliche epidemiologische Herangehensweisen erweitern oder sogar ersetzen kann. Neben dem Nutzen sollten auch mögliche Risiken für untersuchte Bevölkerungsgruppen diskutiert werden.

3. METHODIK

Der Workshop konzentrierte sich auf das Potenzial von bestimmten Biomarker-Kategorien, wie:

- Risiko-Biomarker (z. B. für die Unterscheidung von gesunden Personen und Personen mit einem bestimmten Risiko für Hautkrebs)
- diagnostische Biomarker (z. B. für die Unterscheidung von gesunden Personen und Personen, die unter Hautkrebs leiden)
- Progressions-Biomarker (z. B. zur Beobachtung der Progression eines bestimmten Hautkrebses in ein Stadium mit schlechter Prognose)
- prognostische Biomarker (z. B. zur Abgabe einer Überlebensprognose bei einem bestimmten Typ von Hautkrebs)
- prädiktive Biomarker (z. B. zur Unterscheidung zwischen Patienten, die auf eine bestimmte (Hautkrebs-) Therapie ansprechen oder nicht ansprechen).

Insbesondere standen Biomarker in Flüssig-Biopsien („liquid biopsies“), welche in Körperflüssigkeiten wie Blut, Plasma, Urin, Liquor, etc. nachgewiesen werden können, im Mittelpunkt der Diskussionen.

Für den Workshop wurde im Vorfeld ein wissenschaftliches Programm konzipiert und ein Flyer entworfen, der über den Workshop informiert. Weltweit wurden wissenschaftliche Organisationen und einzelne Experten per E-mail und Flyer sowie über Informationen auf der Webseite von EUOSKIN über den Workshop informiert und zur Teilnahme eingeladen.

4. DURCHFÜHRUNG

Der Brüsseler Workshop war in 5 Themenschwerpunkte unterteilt:

- *Introduction to biomarkers*
- *Different types of biomarkers in skin cancer*
- *Validation and epidemiology*

- *How to communicate results of biomarker use*
- *Examples of biomarker use in skin cancer.*

Zu diesen Themenschwerpunkten hielten eingeladene Sprecher (s. Tabelle 1) aus Belgien, Dänemark, Großbritannien, Italien, den Niederlanden, Norwegen, Spanien und Deutschland Übersichtsvorträge oder Vorträge, welche die Arbeit in ihren einzelnen Instituten, Kliniken oder Organisationen zusammenfassten.

Tabelle 1: Eingeladene Sprecher und Vortragsthemen

Session I	Introduction to biomarkers
Davalos, V. (E)	<i>Use of (epigenetic) biomarkers</i>
Babayan, A. (G)	<i>Liquid biopsies</i>
Session II	Different types of biomarkers in skin cancer
Hemminki, K. (G)	<i>Risk-biomarkers</i>
Gebhardt, Ch. (G)	<i>Diagnostic, predictive and progression-biomarkers</i>
Neyns, B. (B)	<i>Therapy-(resistance-) biomarkers</i>
Session III	Validation and epidemiology
West, C. (UK)	<i>Validation of biomarkers</i>
Gandini, S. (I)	<i>Use of biomarkers in molecular epidemiology</i>
Session IV	How to communicate results of biomarker use
van Brabandt, H. (B)	<i>Use of biomarkers in primary and secondary prevention of skin cancer</i>
Dupuis, M. (B)	<i>Ethical aspects of communication of (asked and) expected (bad?) medical results</i>
Session V	Examples of biomarker use in skin cancer
Jung, A. (G)	<i>Liquid biopsies vs. histology</i>
Lerche, C. (D)	<i>Pheo- and eumelanin distribution in skin biopsies from malignant melanoma patients and healthy volunteers</i>
Philipsen, P. (D)	<i>RNA on tape samples from skin</i>
Babayan, A. (G)	<i>Circulating tumor cells</i>
Page, Ch. (No)	<i>Methylation analysis as biomarker</i>
Greinert, R.	<i>Circulating miRNA^a</i>
Leucci, E. (B)	<i>CirRNA^b and lncRNA^c</i>

- a. microRNA
- b. circular RNA
- c. long non coding RNA

5. ERGEBNISSE

Die Vorträge und die anschließenden Diskussionen ergaben, dass sich für die Anwendung von Biomarkern, speziell in Flüssig-Biopsien, ein hohes Potenzial für den Einsatz in primärer und sekundärer Prävention, aber auch für die Therapie von Hautkrebs verdeutlicht. Es wird wichtig sein, sich nicht nur auf einzelne Biomarker (oder sogar nur einen speziellen einzigen) zu konzentrieren, sondern Biomarker-Muster - auch in Kombination unterschiedlicher Biomarker (z. B. miRNAs in Kombination mit zirkulierenden Tumorzellen) - zu nutzen. Besonders wichtig wird es sein, dass nach der Klassifikation bestimmter Biomarker eine Phase der Validierung in großen Validierungs-Kohorten (und in international akzeptierter Vorgehensweise) folgen muss, bevor ein Biomarker im Rahmen von Prävention und Klinik eingesetzt werden kann. Es erschien den Teilnehmern des Workshops wichtig, besonders zu betonen, dass bei Kommunikation eines Biomarkers für ein gewisses Risiko oder für ein frühes Auftreten eines Hautkrebses sowie für Therapieverläufe in der Hautkrebsbehandlung immer schon Möglichkeiten angeben werden müssen, wie in der durch die Biomarker charakterisierten Situation im Falle betroffener Personen/Patienten reagiert werden kann. Diese Einsichten zeichnen sich auch schon in den Empfehlungen, die am Ende des Workshops formuliert wurden, ab. Die Empfehlungen werden nach Konsultierung mit den Workshop-Teilnehmern, zusammen mit Kurzzusammenfassungen der Vorträge, auf der Webseite von EUROSKIN veröffentlicht und können dann eingesehen werden.

Es ist wichtig festzuhalten, dass der Workshop und die anschließenden Diskussionen schon zu einer Zahl von nationalen und internationalen Kooperationen einzelner Arbeitsgruppen, die mit ihren Vertretern am Workshop teilgenommen haben, geführt haben. Diese Kooperationen werden zu mehr Daten führen, die den Einsatz von Biomarkern für die Risikobewertung und primäre und sekundäre Prävention von Hautkrebs weiterhin wissenschaftlich untermauern.

6. UMSETZUNG DER ERGEBNISSE

Die Ergebnisse des Workshops zeigen, dass der Einsatz von Biomarkern zur primären und sekundären Prävention von Hautkrebs erst nach vollständiger Validierung und Ausarbeitung von Anwendungskonzepten erfolgen wird. Sobald die Anwendung von Biomarkern eine etablierte Methode in primärer und sekundärer Prävention von Hautkrebs ist, werden die Aktivitäten zur Hautkrebsprävention des BfS zur Unterstützung und Optimierung der zielgerichteten Bearbeitung der Aufgaben im Bereich „nichtionisierende Strahlung“ des BMU - Schutz der Bevölkerung vor ultravioletter Strahlung und deren gesundheitlicher Folgen - um diesen Aspekt ergänzt.

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			
<i>Preparation and revision of technical standards for radiation protection and quality assurance in medical radiology</i>			
Kennzeichen	Beginn	Ende	Fördermittel
3615S42320	01.08.2015	30.06.2018	EUR 164.234,-
Forschungs- / Auftragnehmer			
VDE Verband der Elektrotechnik Elektronik Informationstechnik e.V.			
Projektleitung	Fachbetreuung BfS	verantwortlich für den Text	
J. Dehm	Dr. A. Schegerer, U. Lechel / MB 3	J. Dehm	

1. ZIELSETZUNG

Aufgabe des Vorhabens war die Erstellung von Normen für die Qualitätssicherung von diagnostischen Röntgeneinrichtungen im Rahmen der Abnahme- und Konstanzprüfung, die Festlegung von Eigenschaften strahlentherapeutischer Einrichtungen und den Strahlenschutz von Patienten und Personal.

2. EINZELZIELSETZUNG

Das Vorhaben beinhaltete Normungsarbeit zur Ausfüllung des Medizinproduktegesetzes und der nationalen Röntgen-/Strahlenschutzverordnung sowie deren untergeordneten Richtlinien.

Der Schwerpunkt der Normungsarbeit lag auf den Teilgebieten:

- Aufarbeitung des relevanten Standes von Wissenschaft und Technik (AP 1)
- Überarbeitung und Erstellung neuer Normen aus dem Fachgebiet (AP 2)
 - der Strahlentherapie
 - der Nuklearmedizin
 - der Röntgendiagnostik

2.1 NORMEN AUS DEM FACHGEBIET DES DOSISMANAGEMENTS

2.1.1 Norm-Vorhaben DIN 6800-7

Dosismessverfahren nach der Sondenmethode für Photonen- und Elektronenstrahlung - Teil 7: Zweidimensionale Dosimetrie.

2.1.2 Norm-Vorhaben DIN 6809-6

Klinische Dosimetrie -

Teil 6: Anwendung hochenergetischer Photonen- und Elektronenstrahlung in der Teletherapie.

2.1.3 DIN EN 60601-2-1; VDE 0750-2-1

Medizinische elektrische Geräte -

Teil 2-1: Besondere Festlegungen für die Sicherheit einschließlich der wesentlichen Leistungsmerkmale von Elektronenbeschleunigern im Bereich von 1 MeV bis 50 MeV (IEC 60601-2-1:2009 + A1:2014); Deutsche Fassung EN 60601-2-1:2015.

2.1.4 Norm-Vorhaben IEC TR 62962

IEC TR 62926 ED1: *Medical electrical system - Recommendations for safe integration and operation of adaptive external-beam radiotherapy system for intra-fractionally moving target volumes.*

2.2 NORMEN AUS DEM FACHGEBIET DER NUKLEARMEDIZIN

- Norm DIN 6844-3: 2017-02

- Nuklearmedizinische Betriebe - Teil 3: Strahlenschutzberechnungen
- Norm-Vorhaben DIN 6855-1
Konstanzprüfung nuklearmedizinischer Messsysteme -
Teil 1: In-vivo- und In-vitro-Messplätze (IEC/TR 61948-1:2001, modifiziert)
 - Norm-Entwurf DIN 6858-2: 2016-09
Dosimetrie bei der Radionuklidtherapie -
Teil 1: Anwendung von I-131 bei benignen Schilddrüsenerkrankungen
 - Norm-Vorhaben DIN 6861-2
Dosimetrie bei der Radionuklidtherapie -
Teil 2: Anwendung von I-131 bei Schilddrüsenkarzinom
 - Norm-Vorhaben DIN 6861-3
Dosimetrie bei der Radionuklidtherapie -
Teil 3: Anwendung von Lu-177- PSMA bei Prostatakarzinom.

2.3 NORMEN AUS DEM FACHGEBIET DER RÖNTGENDIAGNOSTIK

- Norm-Entwurf DIN 6868-163
Sicherung der Bildqualität in röntgendiagnostischen Betrieben -
Teil 16: Konstanzprüfung nach RöV an Röntgeneinrichtungen für die mammographische Stereotaxie
- Norm-Vorhaben DIN 6868-165
Norm zu DXA¹⁾-Geräten (z. B. Abnahme und Konstanzprüfungen)
- Norm-Vorhaben DIN 6865-1
Qualitätssicherung von Prüfkörpern nach RöV
- Norm-Vorhaben DIN 6868-xxx
Austauschformate von operationellen QS-Parametern
- Norm-Entwurf DIN EN 62985:2018-06
Verfahren für die Berechnung größen-spezifischer Dosisschätzungen (SSDE) für die Computertomographie (IEC 62B/1072/CDV:2017)
- DIN EN 60601-2-64;VDE 0750-2-64:2018-01
Medizinische elektrische Geräte - Teil 2-64: Besondere Festlegungen für die Sicherheit einschließlich der wesentlichen Leistungsmerkmale von Leichtionen-Bestrahlungseinrichtungen (IEC 60601 2 64:2014);
Deutsche Fassung EN 60601-2-64:2015
- DIN EN 60601-2-68:2018-XX
Medizinische elektrische Geräte -
Teil 2-68: Besondere Festlegungen für die Sicherheit einschließlich der wesentlichen Leistungsmerkmale von röntgenstrahlungsbasierten Geräten für die bildgesteuerte Strahlentherapie zur Verwendung mit Elektronenbeschleunigern, Leichtionen-Strahlentherapiesystemen und Radionuklid-Strahlentherapiesystemen
- Norm-Entwurf DIN EN 62667:2016-08
Medizinische elektrische Geräte - Medizinische Leichtionen-Bestrahlungseinrichtungen - Leistungsmerkmale (IEC 62C/640/CDV:2016); Deutsche und Englische Fassung FprEN 62667:2016
- Norm-Vorhaben DIN 6868-4
Sicherung der Bildqualität in röntgendiagnostischen Betrieben -
Teil 4: Konstanzprüfung nach RöV an medizinischen Röntgeneinrichtungen zur Durchleuchtung
- Norm DIN 6868-14:2015-03
Sicherung der Bildqualität in röntgendiagnostischen Betrieben -
Teil 14: Konstanzprüfung nach RöV an Röntgeneinrichtungen für digitale Mammographie
- Norm DIN 6875-20:2016-08
Spezielle Bestrahlungseinrichtungen -
Teil 20: Protonentherapie - Regeln für die Auslegung des baulichen Strahlenschutzes.

¹⁾Dualenergie-Röntgen-Absorptiometrie

3. METHODIK

Nach der Richtlinie für Normenausschüsse des DIN vom September 2013 und der Geschäftsordnung des Normenausschusses Radiologie vom 16.11.2000, insbesondere DIN 820-4 „Geschäftsgang“, ist der NAR zur Einhaltung eines festgelegten Arbeitsablaufes für Normungsprojekte verpflichtet.

4. DURCHFÜHRUNG

Die Normungsprojekte (s. Tabelle 1, 2 und 3) wurden nach den Grundsätzen der Normungsarbeit, die in den unter 3 „Methodik“ genannten Dokumenten niedergelegt sind, durchgeführt.

Tabelle 1: Stand der Vorhaben aus dem Fachgebiet der Dosimetrie

Norm	Stand der Durchführung
Norm-Vorhaben DIN 6800-7	Das vorliegende Manuskript wurde in acht Arbeitskreissitzungen bearbeitet. Das fehlende Kapitel zu den Begriffen ist noch in Bearbeitung. Ziel ist es, dass der Entwurf dieser Norm 2019 veröffentlicht werden soll.
Norm-Vorhaben DIN 6809-6	Zur Erarbeitung der Vorlage fanden im Berichtszeitraum drei Arbeitskreissitzungen statt.
DIN EN 60601-2-1; VDE 0750-2-1	Die Kommentierung der IEC-Entwürfe und die Übersetzung der Publikation IEC 60601-2-1 wurden im Berichtszeitraum erstellt. Die internationale Schlussfassung wurde im Ausschuss kommentiert und verabschiedet. Sie wurde im August 2018 veröffentlicht. Parallel zu dieser harmonisierten Norm wurden schon die Änderungen für eine neue Edition beraten. Die entsprechenden Kommentare und Stellungnahmen, die in nationalen Sitzungen erarbeitet wurden, konnten international zum Konsens geführt werden und wurden übernommen.
Norm-Vorhaben IEC TR 62926	Dieses Projekt wurde als „Technical Report“ eingestuft, weil der Entwurf keine normativen Festlegungen beschreibt. Der zuständige Ausschuss hat das Projekt inhaltlich kommentiert.

Tabelle 2: Stand der Vorhaben aus dem Fachgebiet der Nuklearmedizin

Norm	Stand der Durchführung
Norm DIN 6844-3	Zu diesem Normvorhaben wurde ein Arbeitskreis gegründet. In fünf Arbeitskreissitzungen wurde ein Normmanuskript erarbeitet und dem zuständigen Ausschuss zur Kommentierung vorgelegt. Die Kommentare wurden beraten und eingearbeitet.
Norm-Vorhaben DIN 6855-1	Im Berichtszeitraum fanden drei Arbeitskreissitzungen statt. Die Inhalte sind entsprechend der Leistungsbeschreibung des BMU zu einer neuen Fassung der DIN 6855-1, mit Akzeptanz- und Konstanzprüfung, bearbeitet worden. Auf der eingeladenen, abschließenden Arbeitskreissitzung im Herbst 2017 konnte kein Konsens für die Weitergabe als Norm-Entwurf an den Ausschuss erreicht werden. In der Diskussion zur inhaltlichen Freigabe sind <ul style="list-style-type: none"> • ein neuer Titel „Prüfung nuklearmedizinischer Messsysteme“ • die Trennung der Festlegungen in einem separaten Teil 1 Abnahmeprüfung und Teil 2 Konstanzprüfung • die festgelegten Grenzwerte aus dem Ausschuss Bildgebende Systeme.
Norm-Entwurf DIN 6858-2	Der Norm-Entwurf wurde von 9 Experten aus den Ausschüssen Nuklearmedizin und Bildgebende Systeme in mehreren Arbeitskreissitzungen erarbeitet und vom zuständigen Ausschuss zur Veröffentlichung als Norm Entwurf verabschiedet. Es ist eine Stellungnahme eingegangen, die in das Manuskript zur Norm eingearbeitet wurde.
Norm-Vorhaben DIN 6861-1	Das Manuskript zum Norm-Entwurf wurde von 12 Experten aus dem Bereich Nuklearmedizin in mehreren Arbeitskreissitzungen erarbeitet. Die Prüfung auf Normkonformität ist im Auftrag.
Norm-Vorhaben DIN 6861-2	Für dieses Vorhaben ist ein neuer Arbeitskreis erforderlich.
Norm-Vorhaben DIN 6861-3	Für dieses Vorhaben ist ein neuer Arbeitskreis erforderlich.

Tabelle 3: Stand der Vorhaben aus dem Fachgebiet der Röntgendiagnostik

Norm	Stand der Durchführung
Norm-Entwurf DIN 6868-163	Während der Projektdauer haben neun Experten in sieben Arbeitskreissitzungen den Inhalt bis Veröffentlichung des Norm-Entwurfs bearbeitet. Nach der Verabschiedung im zuständigen Ausschuss wurde der Entwurf im Mai 2016 veröffentlicht. In der darauf folgenden Einspruchsberatung wurden über 80 Kommentare diskutiert.
Norm-Vorhaben DIN 6868-165	In vier Arbeitskreissitzungen wurden die wesentlichen Anforderungen zur Abnahme- und Konstanzprüfung formuliert.
Norm-Vorhaben DIN 6865-1	Sieben Experten tagten in vier Arbeitskreissitzungen, um die wesentlichen Merkmale der Anforderungen und Prüfungen zur Qualitätssicherung festzulegen. Dazu ist das Kapitel zur „Erstellung eines Unsicherheitsbudgets“ einschließlich des „Protokollieren der Messunsicherheiten“ festgelegt worden.
Norm-Vorhaben DIN 6868-2xx	<p>Die Analyse der zum Einsatz kommenden Software-Systeme, deren erhobenen und für einen eventuellen Datenaustausch zur Verfügung stehenden Daten, inklusive deren aktuelles Datenformat, wurde ermittelt. Primäres Ziel war hierbei die Anforderungen der Ärztlichen-Stellen und dem BfS bez. der kontinuierlichen Dosiserhebung unter Berücksichtigung der aktuell am Markt zur Verfügung stehenden Dosismanagementsysteme abzubilden. Ebenso soll ein Datenaustausch für ein Benchmarking zwischen verschiedenen Einrichtungen berücksichtigt werden. Das Ergebnis der Bestandsaufnahme zeigt, dass administrative Daten (Strahlenschutzverantwortliche, Strahlenschutzbeauftragte) und technische Daten (Ergebnisse von Abnahme-, Konstanz-, Sachverständigenprüfungen) selten in „Standard“-IT-Systemen abgelegt sind. Daten aus den medizinischen Anwendungen sind in der Regel digital vorhanden, aber in der Regel nicht innerhalb eines Softwaresystems gespeichert.</p> <p>Als zentraler Datenspeicher könnte ein Dosismanagementsystem dienen. Allerdings müssen dann alle notwendigen Schnittstellen zu den beteiligten IT-Systemen zur Verfügung stehen. Ebenso sind Definitionen der benötigten Dosisaustauschdaten festzulegen.</p> <p>Der DICOM-Standard ist nicht ausreichend, um alle benötigten Daten zur Verfügung zu stellen. In der Praxis zeigt sich auch, dass ein großer Teil der Möglichkeiten von einzelnen Herstellern nicht zur Verfügung gestellt oder nicht strukturiert verwendet wird. Aktuell können Daten in der Regel per Export in eine csv-Datei abgelegt werden. Das Format ist leicht lesbar, hat aber keine festgelegte inhaltliche Struktur. Weder der Inhalt noch die Ablage ist definiert. Eine Zusammenführung ist nur mit großem Aufwand möglich. Die notwendige Automatisierung der Datenzusammenführung ist aktuell nicht möglich, insbesondere wenn unterschiedliche Daten aus verschiedenen Softwaresystemen zusammengefasst werden müssen (Beispiel: Konstanz-Prüfungswerte, Bilddaten, Sachverständige).</p> <p>Eine Regelung bezüglich notwendiger Inhalte und deren Ablagestruktur ist notwendig.</p>
Norm-Entwurf DIN EN 62985	Das Projekt wurde national erarbeitet und als neues Normvorhaben in IEC SC 62B eingereicht.
DIN EN 60601-2-64	<p>Die vorliegende Internationale Norm gilt für die Basissicherheit von medizinischen Leichtionen-Bestrahlungseinrichtungen, die für die Kompensation oder Linderung einer Krankheit, Verletzung oder Behinderung verwendet werden. Diese besonderen Festlegungen, einschließlich der Typprüfungen und Abnahmeprüfungen, gelten für die Herstellung und für einige Installationsaspekte von medizinischen Leichtionen-Bestrahlungseinrichtungen, die:</p> <ul style="list-style-type: none"> - vorgesehen sind für die Strahlentherapie in der humanmedizinischen Praxis, einschließlich derjenigen, bei denen die Wahl und Anzeige der Betriebsparameter durch programmierbare elektronische Subsysteme (PESS) automatisch geregelt werden können - unter Normalbedingungen (NC) und beim bestimmungsgemäßen Gebrauch ein Nutzstrahlenbündel von Leichtionen mit einer Energie je Nukleon im Bereich von 10 MeV/n bis 500 MeV/n emittieren <p>und die für Folgendes vorgesehen sind:</p> <ul style="list-style-type: none"> - für den bestimmungsgemäßen Gebrauch unter der Aufsicht von angemessen lizenzierten oder qualifizierten Personen und bei Betrieb durch Bediener mit den erforderlichen Fähigkeiten für eine bestimmte medizinische Anwendung für besondere festgelegte klinische Zwecke, zum Beispiel Stehfeldbestrahlung oder Bewegungsbestrahlung - Instandhaltung entsprechend den Empfehlungen in der Gebrauchsanweisung - Durchführung regelmäßiger Qualitätssicherungsprüfungen bezüglich Leistung und Kalibrierung durch eine qualifizierte Person.

Norm	Stand der Durchführung
DIN EN 60601-2-68	Der Anwendungsbereich behandelt Sicherheitsaspekte von Kilovolt-(kV-) und Megavolt-(MV-) Systemen für die Bildgebung, die in bekanntem Zusammenhang mit einem externen Strahlsystem, einem Elektronenbeschleuniger, Leichtionen-Strahlentherapie-System oder Radionuklid-Strahlentherapie-System stehen. Die im Ausschuss erarbeiteten Anforderungen gelten für die Typprüfungen und Abnahmeprüfungen. Ergänzend werden Installationsaspekte von IGRT-Einrichtungen mit externer Bildgebung festgelegt.
Norm-Entwurf DIN EN 62667	Die vorliegende Norm spezifiziert Prüfverfahren und Verfahren für die Offenlegung der Leistungsmerkmale von medizinischen Leichtionen-Bestrahlungseinrichtungen. Sie erlauben einen direkten Vergleich zwischen den Leistungsdaten von Geräten verschiedener Hersteller. Die Norm gilt für Leichtionenstrahlungsfelder mit einer Energie je Nukleon im Bereich von 10 MeV/n bis 500 MeV/n. Da diese Norm keine Sicherheitsanforderungen enthält, wurde sie nicht in die Normenreihe IEC 60601 eingeführt. Sie beschreibt Leistungsaspekte medizinischer elektrischer Geräte mit Leichtionenstrahlung sowie die Art, wie sie präsentiert werden sollten. Sie umfasst ebenfalls Prüfverfahren und -bedingungen, die sich für Typprüfungen eignen.
Norm-Vorhaben DIN 6868-4	Das Manuskript ist vom zuständigen Ausschuss erarbeitet zur Eingabe in den Geschäftsgang nach DIN 820-4.
Norm DIN 6868-14	Die Norm enthält bildqualitätssichernde Festlegungen im Sinne der Röntgenverordnung (RöV) vom 8. Januar 1987 in der Fassung der Bekanntmachung vom 30. April 2003, Anforderungen nach § 16 und dient im Zusammenhang mit der Sachverständigen-Prüfrichtlinie (SV-RL) und der Qualitätssicherungsrichtlinie (QS-RL) der Erfüllung nationaler Anforderungen im Strahlenschutz. Empfehlungen der "European Guidelines for Quality Assurance in Breast Cancer Screening and Diagnosis, 4th Edition, 2006" wurden übernommen, soweit nach den Grundsätzen der Normung möglich, nach dem Anwendungsbereich und Zweck dieser Norm angemessen und hinsichtlich des Prüfaufwandes vertretbar.
Norm DIN 6875-20	Die Festlegung von Regeln für eine einheitliche rechnerische Ermittlung der Abschirmdicken für verschiedene bautechnisch verwendbare Materialien nach vorgegebenen Gleichungen, Tabellen und Diagrammen ist Inhalt dieser Norm.

5. ERGEBNISSE

Die im Projektzeitraum zu bearbeiteten Projekte wurden in der Mehrzahl abgeschlossen und die Normen mindestens als Entwurf veröffentlicht. Verzögerungen sind in der Spezifik der Normungsarbeit begründet. Insbesondere lässt sich bei schwierigen fachlichen Fragestellungen der Verlauf einer konsensbasierten Entscheidungsfindung, auf der die Normung basiert, nicht vorhersagen. Die nähere fachliche Prüfung von Normvorhaben führt unter Umständen auch zur Einstellung von Projekten entsprechend DIN 820-4.

Insgesamt wurden 21 Einzelprojekte (s. Tabelle 4, 5 und 6) auf nationaler Ebene bearbeitet, fünf davon konnten als Norm-Entwurf und fünf als Norm veröffentlicht werden. Von den auf internationaler Ebene bearbeiteten Normprojekten wurden zwei als deutsche Norm und eine als Normentwurf veröffentlicht.

Siebzehn Projekte befinden sich auf Grund der Entwicklung zum Stand der Technik in Bearbeitung, wobei in den meisten Fällen eine Vorlage oder ein fertiges Manuskript zur Veröffentlichung als Norm-Entwurf oder als Norm vorhanden ist.

Tabelle 4: Ergebnisse aus dem Fachgebiet der Dosimetrie

Norm	Stand der Durchführung
Norm-Vorhaben DIN 6800-7	Das Ziel, die Festlegungen für eine Veröffentlichung als Entwurf wurde im Konsenzverfahren erreicht. Das Manuskript ist vom zuständigen Ausschuss zur Veröffentlichung verabschiedet.
Norm-Vorhaben DIN 6809-6	Die Diskussion der Vorlage zur Verabschiedung als Norm-Entwurf im Arbeitskreis ist beendet. Das Manuskript ist vom zuständigen Ausschuss zur Veröffentlichung verabschiedet.
DIN EN 60601-2-1; VDE 0750-2-1:2018-04	Der entsprechende Norm-Entwurf wurde im Berichtszeitraum übersetzt und veröffentlicht.
Norm-Vorhaben IEC TR 62926	In IEC findet die Verabschiedung als IEC TR 62926 in 2018 statt. Das zuständige Gremium wird nach Veröffentlichung die entsprechende Transformation in das VDE-Normenwerk übernehmen.

Tabelle 5: Ergebnisse aus dem Fachgebiet der Nuklearmedizin

Norm	Stand der Durchführung
Norm DIN 6844-3:2017-02	Es sind keine Einsprüche zum Norm-Entwurf eingegangen. Somit konnte die Normveröffentlichung zeitnah im Februar 2017 umgesetzt werden.
Norm-Vorhaben DIN 6855-1	Auf der eingeladenen, abschließenden Arbeitskreissitzung im Herbst 2017 konnte kein Konsens für die Weitergabe als Norm-Entwurf an den Ausschuss erreicht werden.
Norm-Entwurf DIN 6858-2	Das Manuskript ist vom zuständigen Ausschuss zur Veröffentlichung verabschiedet.
Norm-Vorhaben DIN 6861-1	Das Manuskript zum Norm-Entwurf wurde von 12 Experten aus dem Bereich Nuklearmedizin in mehreren Arbeitskreissitzungen erarbeitet. Die Prüfung auf Normkonformität ist beauftragt. Danach erfolgt die Veröffentlichung als Norm-Entwurf.
Norm-Vorhaben DIN 6861-2	Ein Arbeitskreis mit Arbeitskreismitgliedern (auch außerhalb des NAR) wurde gegründet.
Norm-Vorhaben DIN 6861-3	Ein Arbeitskreis mit Arbeitskreismitgliedern (auch außerhalb des NAR) wurde gegründet.

Tabelle 6: Ergebnisse aus dem Fachgebiet der Röntgendiagnostik

Norm	Stand der Durchführung
Norm-Entwurf DIN 6868-163	Der Entwurf wurde erarbeitet und veröffentlicht als DIN 6868-163 - 2016-05. Die Präzisierung der 80 Einspruchsergebnisse für die Veröffentlichung als Norm ist noch nicht zur Veröffentlichung freigegeben. Ziel ist die Veröffentlichung als Norm innerhalb des 1. Quartals 2019.
Norm-Vorhaben DIN 6868-165	Anforderung an eine Dosismessung in einem festgelegten Untersuchungsprotokoll, bei der das Dosimeter ohne Phantom auf dem Tisch positioniert wird. Die Messkammer wird dabei direkt im Strahlengang positioniert. Der Dosiswert wird bei der Abnahmeprüfung festgelegt. Die Dosismessung soll nur jährlich stattfinden. Das Arbeitskreis-Ergebnis soll 2019 als Norm-Entwurf dem AA ^a zur Abstimmung verteilt werden.
Norm-Vorhaben DIN 6865-1	Ein Arbeitspapier zur Veröffentlichung als Norm-Entwurf ist erstellt und in der Abschlusskommentierung bis Ende 2018.
Norm-Vorhaben DIN 6868-2xx	Spezifische Anforderungen für ein Export-Schnittstellenformat wurden gelistet mit dem Ziel, diese als DIN Spec zu veröffentlichen.
Norm-Entwurf DIN EN 62985	Zum Norm-Entwurf E DIN EN 62985:2018-06 sind international 81 Kommentare eingegangen. Davon kamen 14 aus dem zuständigen NAR-Ausschuss.
DIN EN 60601-2-64	Die Norm, die für die Basissicherheit von medizinischen Leichtionen-Bestrahlungseinrichtungen für die Kompensation oder Linderung einer Krankheit, Verletzung oder Behinderung verwendet werden soll, wurde fertiggestellt und zur Norm verabschiedet.
DIN EN 60601-2-68	Die im Ausschuss erarbeiteten Anforderungen gelten für die Typprüfungen; Abnahmeprüfungen wurden in das VDE Normenwerk eingearbeitet. Die Veröffentlichung ist für 2019 vorgesehen.
Norm-Entwurf DIN EN 62667	Ergänzend zur englischen Fassung wurde die deutsche Fassung erarbeitet. Diese liegt dem AA zur Verabschiedung als Norm vor.
Norm-Vorhaben DIN 6868-4	Das Manuskript wurde vom zuständigen Ausschuss zur Veröffentlichung als Norm-Entwurf verabschiedet.
Norm DIN 6868-14: 2015-03	Abweichungen von den "European Guidelines" in Form zusätzlicher Anforderungen und messtechnischer Vereinfachungen wurden mit dem Ziel der Beibehaltung des Qualitätsniveaus festgelegt.
Norm DIN 6875-20: 2016-08	Die Festlegung von Regeln für eine einheitliche rechnerische Ermittlung der Abschirmdicken für verschiedene bautechnisch verwendbare Materialien nach vorgegebenen Gleichungen, Tabellen und Diagrammen ist Inhalt dieser Norm.

a) Arbeitsausschuss

5.1 AUSFÜLLUNG DES UNTERGESETZLICHEN REGELWERKS

Die Mehrzahl der erarbeiteten Normen werden direkt vom untergesetzlichen Regelwerk, insbesondere von der Richtlinie für die technische Prüfung von Röntgeneinrichtungen und genehmigungspflichtigen Störstrahlern - Richtlinie für Sachverständigenprüfungen nach der Röntgenverordnung (SV-RL), der Richtlinie zur Durchführung der Qualitätssicherung bei Röntgeneinrichtungen zur Untersuchung oder Behandlung von Menschen nach den §§ 16 und 17 der Röntgenverordnung - Qualitätssicherungs-Richtlinie (QS-RL) und der Richtlinie zur Verordnung über den Schutz vor Schäden durch ionisierende Strahlen (Strahlenschutzverordnung - StrlSchV) in Bezug genommen. Damit wird dem Ziel, im Strahlenschutz die Vorschriften des AtG, der StrSchV und der RöV durch Normen zu untermauern, um eine zielgerichtete, bundeseinheitliche Umsetzung zu gewährleisten, direkt Rechnung getragen.

6. UMSETZUNG DER ERGEBNISSE

Alle erarbeiteten Normen nehmen Einfluss auf die europäische und internationale Normung, um auch die praktische Umsetzung der Richtlinie 2013/59/EURATOM im Bereich des medizinischen Strahlenschutzes erheblich zu verbessern. Mit der Erarbeitung des NAR-Normenwerks werden wesentliche nationale Vorgaben frühzeitig in die überregionalen Spiegelgremien eingebracht und - wo möglich - mit der Beteiligung von NAR-Experten aus den NAR-Ausschüssen durchgesetzt werden. Dies ist wegen der bindenden Wirkung von europäischen Normen (ISO¹, IEC², CEN³, CENELEC⁴) von erheblicher nationaler Bedeutung und auch erforderlich, um die Ziele neuerer europäischer Vorgaben für den Strahlenschutz einheitlich umsetzen zu können.

Die im Forschungsvorhaben erarbeiteten Normen für die Qualitätssicherung in strahlentherapeutischen, nuklearmedizinischen und röntgendiagnostischen Einrichtungen werden im Rahmen des untergesetzlichen Regelwerks für den Vollzug der Strahlenschutzverordnung bezüglich Strahlenschutz und Qualitätssicherung benötigt.

Da sich einige der Normen noch in Bearbeitung befinden oder erst als Entwurf vorhanden sind, ist weitere Normungsarbeit erforderlich.

Im Jahr 2019 sollen die Norm-Entwürfe DIN 6858-2, DIN 6868-163, DIN EN 62985, DIN EN 60601-2-64, 60601-2-68 und DIN EN 62667 als Norm erscheinen.

Als Norm-Entwürfe sollen die Norm-Vorhaben DIN 6800-7, DIN 6809-6, DIN 6855-1, DIN 6861-1, DIN 6861-2, DIN 6861-3, DIN 6868-165, DIN 6865-1 und DIN 6868-4 veröffentlicht werden.

Daneben sollen das internationale Norm-Vorhaben IEC TR 62926 nach der Veröffentlichung in IEC in das VDE-Normenwerk transformiert und das Norm-Vorhaben DIN 6868-2xx 2019 in DIN Spec veröffentlicht werden.

1) International Organization for Standards

2) International Electrotechnical Commission

3) Comité Européen de Normalisation

4) Comité Européen de Normalisation Électrotechnique

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, 52080 Aachen			
Projektleitung Dr. J. de Groot	Fachbetreuung BfS Dr. R. Merk / UR 6	verantwortlich für den Text Dr. R. Kunz, Dr. S. Wörten	

1. ZIELSETZUNG

Das Ziel dieses Forschungsvorhabens war 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) wurde 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 wurde 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 wurde 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 wurde 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 wurden Möglichkeit und Notwendigkeit zur Verbesserung der Entdeckung von radioaktiven Quellen und Gegenständen im Stahlschrott analysiert. Über das Konzept der gammasensitiven Portalmonitore hinaus wurden 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 waren im Rahmen des AP 3 weitergehende Möglichkeiten zur Erhöhung der Auffindbarkeit von herrenlosen Strahlenquellen zu bewerten.

2.4 IDEENFINDUNG FÜR LEITLINIEN UND INFORMATIONSMATERIAL

Abschließend wurden 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 Leit-

faden für Personen, die eine herrenlose Quelle vermuten oder Kenntnis von einer herrenlosen Strahlenquelle erlangt haben.

3. METHODIK

3.1 REPRÄSENTATIVE ERMITTLUNG DER AUSSTATTUNG DEUTSCHER SCHROTTPLÄTZE UND SCHMELZBETRIEBE MIT PORTALMONITOREN UND ANDEREN MESSEINRICHTUNGEN

Die erforderlichen Daten wurden mittels einer durch den Auftragnehmer entworfenen Umfrage erhoben. Die Umfrage zur Erhebung wurde an über insgesamt 1 000 Schrottplätze, direkt durch den Auftragnehmer oder durch den Bundesverband Sekundärrohstoffe und Entsorgung e. V. (BVSE), versendet. Des Weiteren wurden die großen Schmelzbetriebe direkt durch den Auftragnehmer und ca. 300 Gießereibetriebe über den Bundesverband der Deutschen Gießerei-Industrie (BDG) angeschrieben. Eine Abfrage der Ausstattung deutscher Innenhäfen, Außenhäfen und Containerumschlagplätze erfolgte ebenfalls.

Die Daten zu bereits aufgetretenen Zwischenfällen mit radioaktiven Quellen und Gegenständen wurden durch eine Literaturstudie ergänzt.

3.2 AUFFINDBARKEIT TYPISCHER GAMMASTRAHLER IM STAHLSCROTT: THEORETISCHE UND EXPERIMENTELLE BETRACHTUNGEN

Auf Basis der in AP 1 ermittelten Parameter wurde als Basis eines Standard-Schrottgebundes ein Metallwinkel als repräsentatives Schrottteil definiert. Zur Erzeugung einer realistischen Schrottfüllung wurde der Schüttvorgang von vielen Metallwinkeln in das typische Schrottgebunde physikalisch simuliert. Das so definierte Schrottgebunde zeigt in Bezug auf die Dichte und die anderen relevanten Parameter eine sehr gute Übereinstimmung mit den vorher erhobenen Daten. An diesem Schrottgebunde wurden mittels des Monte-Carlo-N-Particle-Code (MCNP) für die Isotope Co-60, Cs-137 und Am-241 die minimal detektierbaren Aktivitäten bei verschiedenen Quellpositionen und für verschiedene Detektormaterialien theoretisch bestimmt.

Diese Ergebnisse wurden durch experimentelle Versuche an einem vergleichbaren realen Schrottgebunde unter realen Messbedingungen an einem realen Portalmonitor überprüft.

3.3 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.

3.4 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 wurde im Rahmen des AP 4 Informationsmaterial entsprechend Artikel 92 der Richtlinie 2013/59/EURATOM erstellt. Basierend auf den Ergebnissen wurden auch Vorschläge für Leitlinien zur Verbesserung der Auffindbarkeit von herrenlosen Strahlenquellen und radioaktiven Gegenständen formuliert und ihre Herleitung begründet.

4. DURCHFÜHRUNG

Alle Arbeiten wurden vollständig durchgeführt. Die Ergebnisse wurden nach verschiedenen Gesichtspunkten ausgewertet und in Berichtsform dargestellt.

5. ERGEBNISSE

5.1 REPRÄSENTATIVE ERMITTLUNG DER AUSSTATTUNG DEUTSCHER SCHROTTPLÄTZE UND SCHMELZBETRIEBE MIT PORTALMONITOREN UND ANDEREN MESSEINRICHTUNGEN

Die Auswertung der Umfrage ergab, dass die Schrottplätze und Schmelzbetriebe bezüglich des Auffindens radioaktiver Quellen und Gegenstände messtechnisch und personell sehr gut aufgestellt sind.

Bei der Auswertung der bereits aufgetretenen Zwischenfälle mit radioaktiven Quellen und Gegenständen im Stahlschrott wurde eine Bandbreite der gefundenen Aktivitäten ermittelt, welche konsistent mit den Ergebnissen des AP 2 ist.

5.2 AUFFINDBARKEIT TYPISCHER GAMMASTRAHLER IM STAHLSCROTT: THEORETISCHE UND EXPERIMENTELLE BETRACHTUNGEN

Bei diesen Simulationen konnte gezeigt werden, dass die über das Modell der physikalischen Schüttung ermittelten Aktivitäten erheblich von den Resultaten abweichen, die bei einem homogen gefüllten Schrottgebilde gleicher Dichte zu erwarten wären. Dieser Effekt konnte im Rahmen dieses Forschungsvorhabens durch die Anisotropie der physikalischen Schüttung erklärt werden.

Im Rahmen der experimentellen Studien konnten die theoretisch bestimmten Wertebereiche für die minimalen detektierbaren Aktivitäten der Nuklide Co-60 und Cs-137 innerhalb des definierten Schrottcontainers sehr gut reproduziert werden. Die experimentell bestimmten minimal detektierbaren Aktivitäten für Am-241 zeigen, auf Grund der hohen Sensitivität der Ergebnisse auf kleine Änderungen der Messgeometrie, stärkere, aber noch plausible Abweichungen von den theoretisch bestimmten Wertebereichen.

Basierend auf diesen Ergebnissen wurden Empfehlungen zur besseren Detektion von radioaktiven Quellen und Gegenständen im Stahlschrott ausgearbeitet.

5.3 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. Anhand von Vergleichskriterien konnte abgeleitet werden, dass die minimal detektierbaren Aktivitäten für andere Messprinzipien zur Neutronendetektion, welche zurzeit 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.

5.4 IDEENFINDUNG FÜR LEITLINIEN UND INFORMATIONSMATERIAL

Zur Sensibilisierung für das etwaige Vorkommen herrenloser Strahlenquellen und die damit verbundenen Gefahren wurde Informationsmaterial in Metallrecycling- und Produktionsstätten in Bezug auf den Strahlenschutz 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 Vorhabens wurden zudem Vorschläge für Leitlinien zur Verbesserung der Auffindbarkeit von herrenlosen Strahlenquellen und radioaktiven Gegenständen formuliert und begründet.

6. UMSETZUNG DER ERGEBNISSE

Im Vorhaben werden konkrete Empfehlungen bezüglich der Randbedingungen an Portalmonitore und der Behandlung von Stahlschrott in der Praxis ausgesprochen. Weiter können das im Vorhaben erstellte Informationsmaterial zu radioaktiven Quellen im Schrott und die erstellten Konzepte für Leitlinien nunmehr durch BMU und BfS im Rahmen von Artikel 92 der Richtlinie 2013/59/Euratom genutzt werden. Grundsätzlich ist auch daran gedacht, auf den im Vorhaben erzielten umfangreichen Ergebnissen aufbauend, die Arbeiten an der Gesamthematik fortzusetzen.

Themenbereich 06
Notfallschutz

Subject area 06
Emergency management

Thema			
Verfahren zur optimierten Standortauswahl für spektrometrierende Sonden und zur Generierung von Messaufträgen für Notfallschutzübungen			
Subject			
<i>Optimisation procedure for the selection of locations of spectroscopic probes and for the generation of measurement tasks for emergency exercises</i>			
Kennzeichen 3615S62540	Beginn 01.02.2016	Ende 31.01.2018	Fördermittel EUR 277.309,-
Forschungs- / Auftragnehmer IMSD GmbH, Zürich			
Projektleitung Dr. R. Dewarrat	Fachbetreuung BfS Dr. M. Bleher / RN 4		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 war 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

2.1 AUFARBEITUNG DES RELEVANTEN STANDES VON WISSENSCHAFT UND TECHNIK (AP 1)

Der aktuelle Stand geeigneter Optimierungsverfahren für die Standortauswahl wurde recherchiert. Anhand ausgewählter, etablierter Szenarien des anlagenexternen Notfallschutzes wurden in Abstimmung mit dem Auftraggeber geeignete Ansätze ausgearbeitet.

2.2 VERFAHREN ZUR OPTIMIERUNG DER STANDORTE VON MESSSONDEN FÜR EINZELFALLSZENARIEN (AP 2)

In Einzelfallszenarien wurden die Standorte zusätzlicher ortsfester konventioneller oder spektrometrierender Sonden optimiert.

2.3 EINZELFALL-BASIERTES VERFAHREN ZUR GENERIERUNG VON ZUSÄTZLICHEN MESSAUFTRÄGEN (AP 3)

Für die Generierung mobiler Messaufträge wurden Prioritätszonen oder -pfade (mit konventionellen oder spektrometrierenden Sonden) auf Grund der Unsicherheit der Kontaminationskarte sowie weiterer Kriterien optimiert.

2.4 GENERALISIERTES VERFAHREN ZUR OPTIMIERUNG DER STANDORTE VON MESSSONDEN (AP 4).

Auf der allgemeinen Bedrohungslage basierend wurden die Standorte ortsfester konventioneller oder spektrometrierender Sonden optimiert, unter Einberechnung aller relevanten potenziellen Freisetzungsorte und Freisetzungsszenarien.

3. METHODIK

Die Ziele wurden anhand von zwei Programmen erreicht: Das erste erfüllt alle Aufgaben, welche Standortoptimierungen erfordern, das zweite berechnet Dosisunsicherheits- und Kontaminationskarten zum Zweck der Errichtung von Prioritätszonen oder -pfaden für mobile Messaufträge.

3.1 OPTIMIERUNG DER STANDORTE VON ORTSFESTEN ODER MOBILEN MESSSONDEN (AP 2 - AP 4)

Anhand von implementierten Optimierungskriterien werden optimale Standorte für Messstationen vorgeschlagen. Für jedes Kriterium wird eine räumliche Kostenfunktion ermittelt (hohe Kosten bedeuten ungünstiger Standort für eine neue Sonde). Für die Optimierung wird eine gewichtete Summe aller Kriterien zu Grunde gelegt. Das Resultat kann dank zahlreicher Zusatzinformationen in allen Einzelheiten nachvollzogen und objektiv beurteilt werden. Die Optimierung erfolgt anhand eines sorgfältig ausgewählten und auf konkrete Anwendungen angepassten, stabilen Algorithmus zeiteffizient und räumlich hochauflösend (als Kernverfahren dient "Spatial Simulated Annealing"). Die Zeiteffizienz zahlt sich besonders bei zahlreichen Freisetzungsorten und umfangreichen Ausbreitungsdaten aus, wie dies für die allgemeine Bedrohungslage der Fall ist.

Bei der Anwendung für AP 4 werden die Standorte ortsfester Messstationen auf Grund der Gesamtbedrohungslage optimiert, unter Berücksichtigung des gesamten Sondennetzwerkes, aller maßgeblichen in- und ausländischen Kernkraftwerke und aller zu erwartenden Wetterlagen (z. B. 361 Tages-RODOS-Simulationen, berechnet aus den täglichen Wetterlagen über ein Jahr).

Für die Standortoptimierungen werden die Kriterien gemäß Tabelle 1 verwendet (Optimierung für AP 3 mit eingeschlossen):

Tabelle 1: Erfasste Kriterien für Standortoptimierungen

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	X8-9: unsicherheitsbedingte Prioritätszonen oder -pfade für mobile Messaufträge (nur AP 3)	
* UFO = unabhängig von den Freisetzungsorten			
** AFO = abhängig von den Freisetzungsorten			
unterstrichene Kriterien benötigen RODOS-Daten			

Jedes vom Freisetzungsort abhängige Kriterium wird als gefahrenstrategisch gewichtete Summe der Beiträge aller erfassten Freisetzungsorte berechnet; die gefahrenstrategische Liste ist jederzeit anpassbar. Außerdem werden Freisetzungsorte außerhalb des Optimierungsrasters oder der Landesgrenzen ermöglicht und für auf Ausbreitungsrechnungen beruhende Kriterien werden nach Bedarf räumliche Extrapolationen der Ortsdosisleistungen (ODL) durchgeführt.

3.2 REKONSTRUKTION VON KONTAMINATIONS- UND DOSISUNSIKERHEITSKARTEN (AP 3)

Auf Grund von Ausbreitungsrechnungen für unterschiedliche Ausbreitungsmodelle und Messdaten werden eine Dosisunsicherheitskarte und wahlweise Zonen oder Messpfade unterschiedlicher Dringlichkeit für mobile Messaufträge in der Nachwolkendurchzugsphase ermittelt sowie eine Kontaminationskarte rekonstruiert (Verfahren: inverse Modellierung). Damit wird eine möglichst genaue Kenntnis der Kontaminationslage und der erforderlichen Folgemaßnahmen erzielt. Weil die verfügbaren Ausbreitungsrechnungen in begrenzter Zahl vorliegen und nicht sämtliche möglichen Wetterbedingungen berücksichtigen können, werden leichte Deformationen der Modelle zur genaueren Rekonstruktion der realen Kontaminationslage durchgeführt. Die Ermittlung der Prioritätszonen erfolgt anschließend gemäß dem unter Abschnitt 3.1 erläuterten Verfahren, un-

ter Verwendung der Dosisunsicherheitskarte und weiterer Optimierungskriterien. Unter Berücksichtigung vorgegebener möglicher Messpfade besteht auch die Option, Wegstrecken anstelle von zweidimensionalen Zonen zu priorisieren.

4. DURCHFÜHRUNG

Nach eingehender Literaturrecherche zum wissenschaftlichen Stand und nach Abwägung verschiedener Umsetzungsoptionen in AP 1 wurde mit dem BfS ein Konzept für die Optimierungssoftware vereinbart und im Rahmen von AP 2 implementiert. In einem Workshop am 14.12.2016 lernten zukünftige Anwender den aktuellen Stand der Software kennen. Rückmeldungen und Anregungen seitens des BfS flossen wiederum in die weitere Überarbeitung der Optimierungssoftware und Dokumentation ein. Mit dem Start von AP 3 wurde zunächst die Datenlage der nuklidspezifischen Modellrechnungen unterschiedlicher Freisetzungsszenarien visualisiert und analysiert. Unter anderem zeigte sich die Eignung von Messdaten über Nuklidverhältnisse für die Identifikation des Freisetzungsszenarios. Anschließend wurde das geplante Vorgehen zur Priorisierungs-Software für AP 3 mit dem BfS abgesprochen und implementiert, wobei speziell für beschränkte Ausbreitungsmodelldaten eine zuverlässige Berechnungsmethode für Kontaminationskarten entwickelt wurde. Gleichzeitig wurden die Optimierungs-Kriterien im Zusammenhang mit AP 2 nochmals erweitert. Der Programm-Code für AP 3 und eine Dokumentation dazu wurden dem Projektleiter seitens des BfS am 29.11.2017 übergeben. Am 24.01.2018 fand die Startsituation für AP 4 statt, die Implementierungsphase wurde anschließend begonnen, wobei die Leistungsfähigkeit der Optimierungssoftware für die rechenintensive Anwendung in AP 4 voll entfaltet wurde. Ebenfalls wurden die Funktionalitäten beider Programme miteinander verknüpft und angepasst, wodurch der Leistungsumfang auch im Rahmen von AP 3 schlagartig erweitert wurde (automatische Optimierung für Messstandorte und Messpfade, große Palette von Kriterien und einfache Anpassbarkeit auf neue Situationen). Die Abschlussitzung von AP 4 und die Übergabe der Software erfolgte am 24.03.2018. Am 25.04.2018 wurden die Programme mit Beispielergebnissen zu allen Funktionalitäten im Workshop NERIS in Dublin präsentiert.

5. ERGEBNISSE

Aus Platzgründen wird in diesem Bericht nur eine kleine Auswahl von Ergebnissen gezeigt. Detaillierte Informationen und weitere Ergebnisse finden sich in der Dokumentation der Programme.

5.1 BEISPIEL ZUR OPTIMIERUNG DER STANDORTE VON MESSSONDEN FÜR EINZELFALL-SZENARIEN (AP 2)

Die räumliche Optimierung als Hilfestellung zur Standortauswahl von Messsonden erfolgt im folgenden Beispiel für ein konkretes Freisetzungsszenario mit Westwindlage durch die Kombination zweier Kriterien. Abbildung 1 stellt die farblich codierte Kostenfunktion (0 entspricht tiefen und 1 hohen Kosten), die vorgeschlagenen drei besten Standorte für Sonden (dicke runde Purpurpunkte) sowie die zufällige Startposition für den Optimierungsalgorithmus (Purpurkreuz) dar. Für die Optimierung wurde eine einzelne, simulierte Freisetzung in Betracht gezogen. Der simulierte Freisetzungsort ist mittels grünem Stern gekennzeichnet, und markante Ballungszentren wie z. B. Hannover oder Berlin sind hervorgehoben. Diese sind durch tiefere Kostenwerte entsprechend der Bevölkerungsdichte charakterisiert. Die drei besten Standortvorschläge liegen in Gebieten mit hoher Bevölkerungsdichte und nahe der kritischen Ortsdosisleistung (ODL) von $100 \mu\text{Sv/h}$.

5.2 BEISPIEL ZUM EINZELFALL-BASIERTEM VERFAHREN ZUR GENERIERUNG VON ZUSÄTZLICHEN MESSAUFTRÄGEN (AP 3)

Die räumliche Optimierung als Hilfestellung zur Standortauswahl für mobile Messaufträge erfolgt im folgenden 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. Abbildung 2 stellt a) die farblich codierte ODL der vier Modelle (weiß entspricht einer vernachlässigbaren, dunkelbraun einer hohen ODL) und den Messdatensatz (rote Punkte: ODL hoch bei großen Punkten) und b) die berechnete Kontaminationskarte (mit entsprechenden Farbtönen) dar.

Für die räumliche Optimierung wurden folgende Kriterien verwendet: Bevölkerungsdichte (X1), Distanz zum Freisetzungsort (X6) und Unsicherheit der Kontamination (X8). Abbildung 3 stellt a) die farblich codierte Unsicherheit der Kontamination (weiß entspricht genauer Kenntnis und dunkelbraun hoher Unsicherheit) und b)

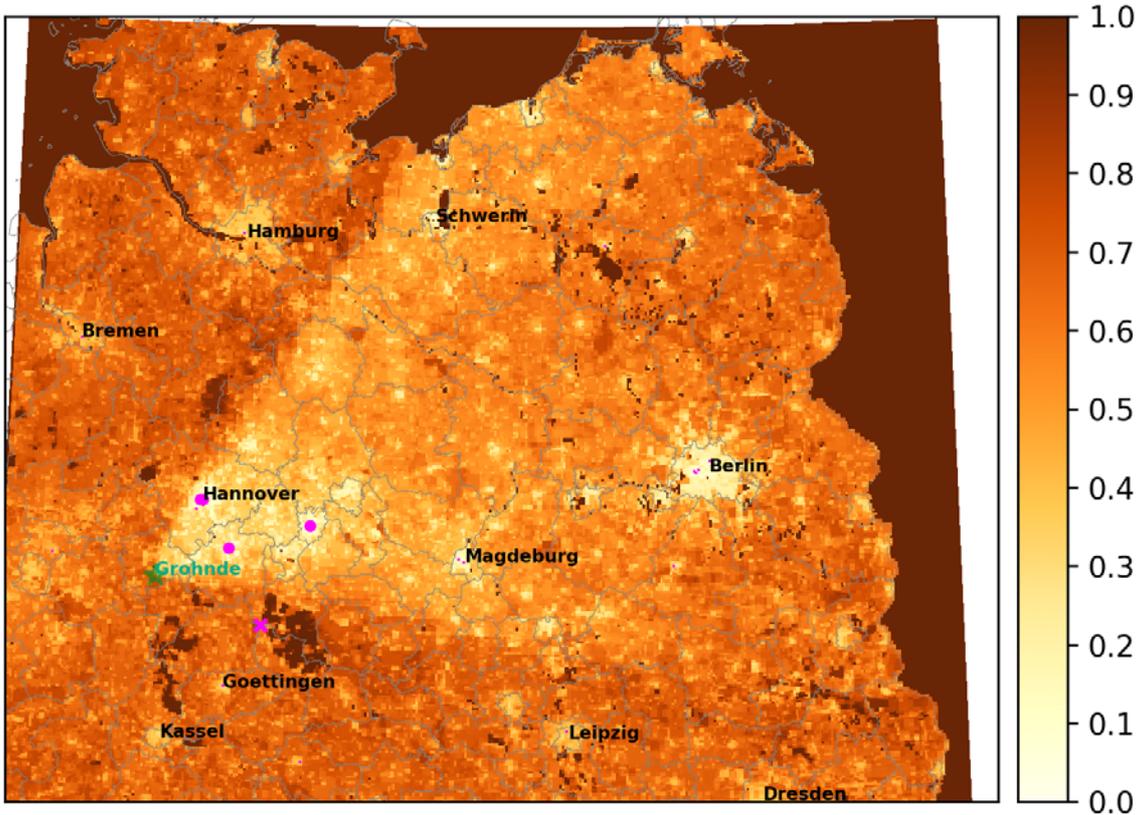


Abbildung 1: Räumlich abhängige Kostenfunktion unter Betrachtung der Kombination der Optimierungskriterien X1 (Bevölkerungsdichte, Gewicht 2) und X3 (kritische ODL von 100 $\mu\text{Sv/h}$, Gewicht 1) sowie optimale Standorte für die Platzierung zusätzlicher Sonden (runde Purpurpunkte). Der simulierte Freisetzungsort ist mittels grünem Stern gekennzeichnet.

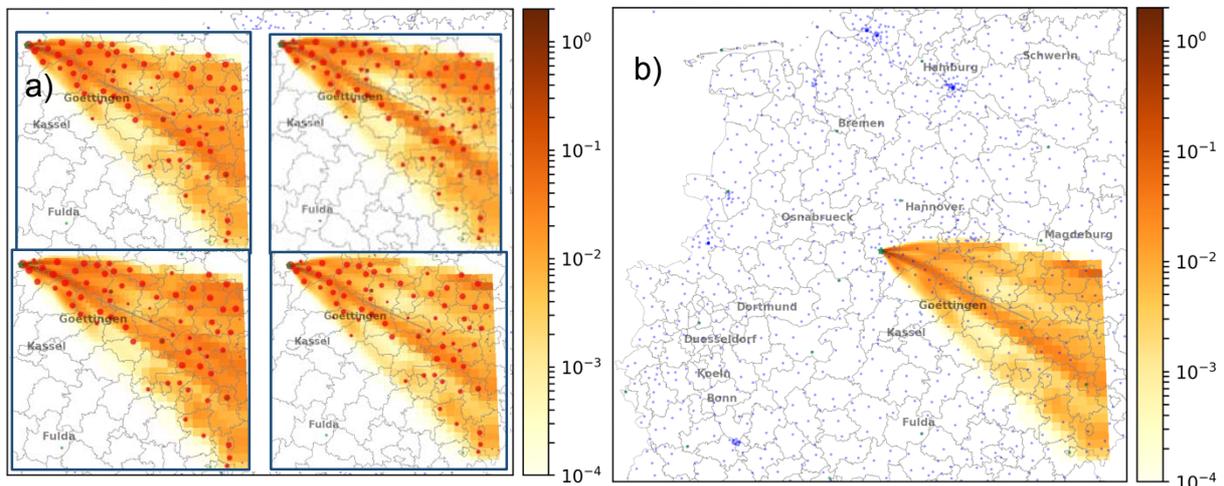


Abbildung 2: Räumlich abhängige ODL a) der vier Modelle und der simulierten Messungen, b) der Kontaminationskarte. Der simulierte Freisetzungsort ist mittels grünem Stern gekennzeichnet.

die Gesamtkostenfunktion (hell entspricht kleinen Kosten und dunkel hohen Kosten) sowie vorgeschlagene, optimale Messpunkte für zusätzliche Messungen (farbige Punkte) dar.

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

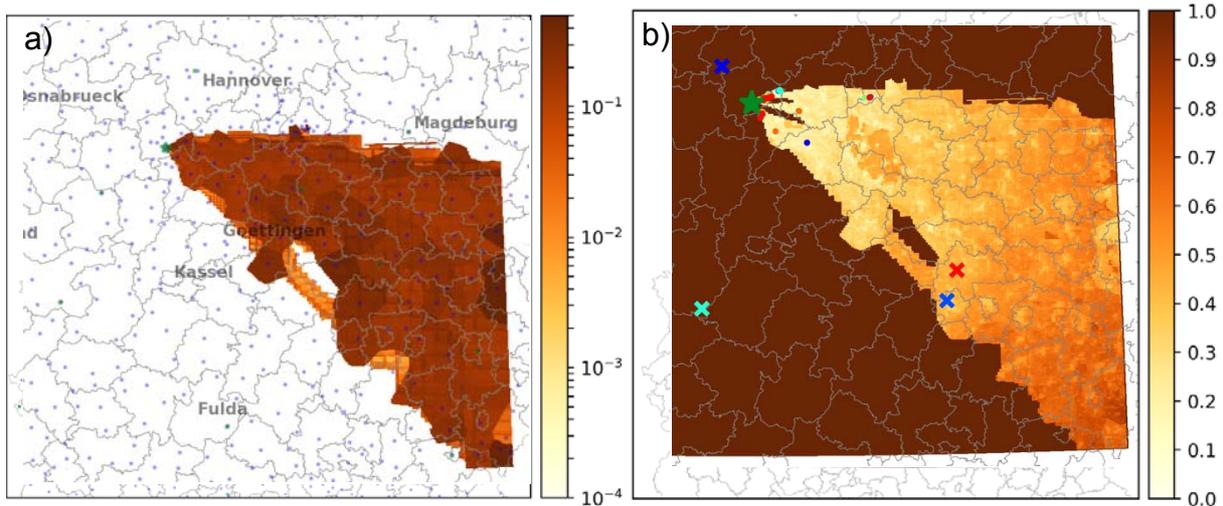


Abbildung 3: a) Räumlich abhängige Unsicherheit der Kontamination und b) Kostenfunktion unter Betrachtung der Bevölkerungsdichte, der Distanz zum Freisetzungsort und der Unsicherheit der Kontamination, sowie optimale Standorte für mobile Messaufträge (Teilausschnitt mit der Kontaminationszone). Der simulierte Freisetzungsort ist mittels grünem Stern gekennzeichnet. Das Szenario ist dasselbe wie in Abbildung 2.

Kostenfunktion eine optimierte Messposition bestimmt; diese Positionsoptimierung wurde dabei 400 mal wiederholt. Die Positionen der 10 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. Gefahrenzonen (dunkel) nahe dem Freisetzungsort sind gesperrt.

5.3 BEISPIEL ZUM GENERALISIERTEN VERFAHREN ZUR OPTIMIERUNG DER STANDORTE VON MESSSONDEN (AP 4)

Die räumliche Optimierung für die Platzierung einer ortsfesten konventionellen Messstation erfolgt in folgendem Beispiel für die allgemeine Bedrohungslage mit 18 gleich gewichteten potenziellen Freisetzungsorten und je für 361 potenzielle Wetterbedingungen für die Kriterien, die von den Ausbreitungsrechnungen abhängen. Die 17 innerhalb des Optimierungsgitters liegenden Freisetzungsorte sind mittels grünem Stern gekennzeichnet. Für die räumliche Optimierung wurden die Kriterien X_{1-5} , X_6 und X_7 verwendet. Die Abbildung 4 stellt die Gesamtkostenfunktion (hell entspricht kleinen Kosten und dunkel hohen Kosten) sowie vorgeschlagene, optimale Standorte für die Messstation (blaue Punkte) dar.

Gut erkennbar ist der hellere Farbton der Gesamtkostenfunktion in Süddeutschland, vor allem bedingt durch das Gefahrenpotenzial zahlreicher nahe gelegener (auch schweizerischer) Kernkraftwerke; entsprechend werden neue Messstandorte in Gebieten mit hellem Farbton vorgeschlagen. Trotz Einbezug der Gesamtfläche Deutschlands ist die Optimierung räumlich höher aufgelöst als die Ausbreitungsrechnungen (RODOS-Zellen).

6. UMSETZUNG DER ERGEBNISSE

Im Rahmen dieses Vorhabens wurden wichtige Aspekte zur räumlichen Optimierung der Messnetze zur Überwachung der Umweltradioaktivität unter Gesichtspunkten des radiologischen Notfallschutzes erarbeitet und prototypisch in geeigneten Software-Tools umgesetzt. Die im Forschungsvorhaben definierten Optimierungskriterien (vgl. Tabelle 1) ermöglichen systematisierte Untersuchungen, wie bestehende Messnetze auf sich ändernde Bedrohungslagen angepasst werden können. Darüber hinaus kann untersucht werden, wo bei einer konkreten Bedrohungslage - z. B. in der Bedrohungsphase bei einem Reaktorunfall - zusätzlich mobile automatisierte Messsysteme aufgestellt werden sollen. Derartige Optimierungsstrategien werden auch auf europäischer Ebene z. B. im Rahmen des EU-finanzierten Vorhabens CONFIDENCE untersucht. Das BfS bringt die Erfahrung aus diesem Vorhaben in das Projekt CONFIDENCE mit ein. Es wird geprüft, wie die im

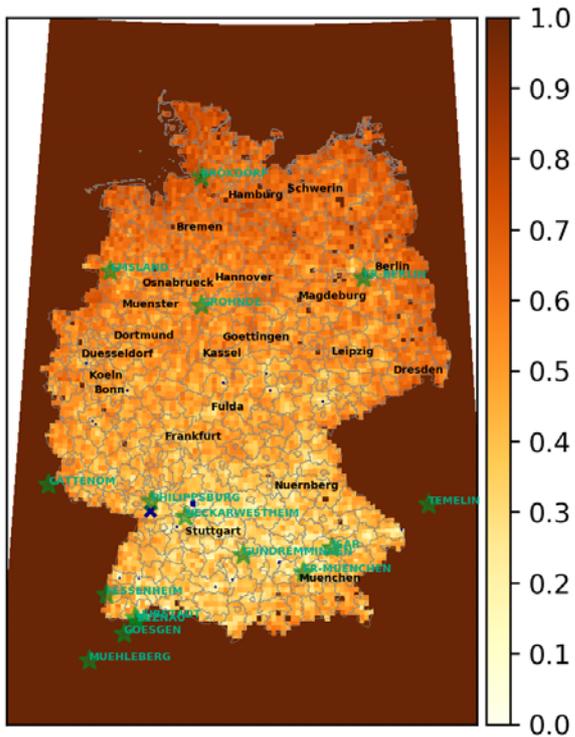


Abbildung 4: Allgemeine Bedrohungslage mit 18 gleich gewichteten Freisetzungsorten, hier mit 361 Fahnen pro Freisetzungsort, mit den Gewichten 0,5 für X_{1-5} , 0,2 für X_6 und 1 für X_7 , sowie optimale Standorte für eine zusätzliche ortsfeste Messstation (blaue Punkte, dicke Punkte sind die besten Läufe). Die Freisetzungsorte sind mittels grünem Stern gekennzeichnet.

Vorhaben gewonnenen Erfahrungen in die Weiterentwicklung der operationellen Werkzeuge des Notfallschutzes eingebracht werden.

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 / RN 2	verantwortlich für den Text Dr. C.Wallner, Dr. S. Thummerer	

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 daraus 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 wurde gemäß der Aufgabenstellung untersucht und ein Modell zur Simulation des Stofftransportes innerhalb von Gebäudestrukturen als operatives Berechnungsverfahren bereitgestellt.

2. EINZELZIELSETZUNG

Das Arbeitsprogramm des Vorhabens ist in insgesamt 7 Arbeitspakete (AP) gegliedert.

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.

2.2 GEBÄUDESZENARIEN (AP 2)

Im Rahmen des AP 2 sind für Deutschland typische urbane Gebäudestrukturen für die Bauwerktypen

- Bahnhofshalle
- U-Bahnstation
- Bürogebäude
- Straßentunnel
- Parkhaus

zu untersuchen und Referenzmodelle für die weitere Simulation mit dem Simulationsprogramm von AP 3 festzulegen.

2.3 BEREITSTELLUNG EINES SIMULATIONSPROGRAMMS (AP 3)

Ziel des AP 3 ist die Bereitstellung eines Simulationsprogramms, mit dem die in AP 2 definierten Gebäudeszenarien im Sinne der Fragestellung des Vorhabens simuliert werden können.

2.4 ANWENDUNG DES SIMULATIONSPROGRAMMS (AP 4)

Ziel des AP 4 ist die Anwendung des Simulationsprogramms von AP 3 auf die in AP 2 ermittelten Gebäudeszenarien. Hierbei 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)

Ziel des AP 5 ist die Bereitstellung eines universell nutzbaren, zeitlich variablen Flächen- oder Volumenquellterms als Eingabe für ein atmosphärisches Ausbreitungsmodell (z. B. LASAT, LASAIR, JRODOS).

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, einen entsprechenden Versuch bei der WTD 52 durchzuführen.

2.7 ZUSAMMENFASSUNG, BEWERTUNG UND ABSCHLUSSPRÄSENTATION MIT BERICHT (AP 7)

Die Ergebnisse der einzelnen Arbeitspunkte werden im AP 7 in einem geschlossenen Arbeitsbericht zusammengefasst und dem Auftraggeber in einer Abschlusspräsentation vorgestellt.

3. METHODIK

Für das gemäß AP 3 zu erstellende Simulationsprogramm wurde ein vom TÜV SÜD entwickeltes Simulationsmodell zugrunde gelegt, das für die Simulation des Aerosoltransportes nach einem Hohlladungsbeschuss auf Transport- und Lagerbehälter mit abgebrannten Brennelementen entwickelt und bei einer Reihe von Gutachten oder Fragestellungen des BfS angewendet wurde. Das Modell wurde für die Anwendung der Simulation des Transports in urbanen Gebäudestrukturen angepasst und ergänzt und auf Basis der Programmierumgebung JAVA mit einer Benutzeroberfläche neu implementiert.

Zur vereinfachten, graphikbasierten Eingabe von Projektdaten und zur Erstellung der für die Simulation nötigen Eingabedateien sowie zur graphischen Darstellung von Simulationsergebnissen erfolgte ferner die Implementierung eines weiteren Programms auf Basis von EXCEL/VBA.

4. DURCHFÜHRUNG

4.1 LITERATURSTUDIE ZU BESTEHENDEN PROGRAMMEN (AP 1)

Im Rahmen der Studie wurde eine Reihe von Simulationsprogrammen identifiziert, mit denen die Simulation des Transports von Schwebstoffen in einem Raumensemble durchgeführt werden kann, wobei die beiden Programme MBLM (Multi-Chamber Blowdown Model) des United States Department of Defense und MUZO (Multi Zone Solver) des französischen Commissariat à l'énergie atomique et aux énergies alternatives für die Simulation des Schwebstofftransportes nach Umsetzung einer USBV-R in einem urbanen Gebäude als geeignet eingeschätzt wurden. Beide Programme unterliegen aber Restriktionen bei der Weitergabe und konnten für das Vorhaben nicht akquiriert werden. Daher wurde die Anpassung des bestehenden Simulationsmodells des TÜV SÜD entschieden (vgl. Kapitel 3 und Kapitel 4.3).

4.2 GEBÄUDESZENARIEN (AP 2)

Im Rahmen des AP 2 wurde eine Studie über urbane Gebäudestrukturen durchgeführt und entsprechende Randbedingungen für die Umsetzung einer USBV-R mit ungünstigen Auswirkungen definiert. Zu den urbanen Bauwerkstypen Bahnhofshalle, U-Bahnstation, Bürogebäude, Straßentunnel und Parkhaus wurden für Deutschland typische Gebäudestrukturen (Aufbau, Abmessungen etc.) recherchiert und Modell-Gebäude mit einfachen digitalen Strukturen für die Simulation mit dem Simulationsprogramm gemäß AP3 implementiert.

4.3 SIMULATIONSPROGRAMM (AP 3)

Im Rahmen des AP 3 wurde das Computerprogramm implementiert, mit dem die Simulation des Schwebstofftransportes nach der Umsetzung einer USBV-R mit Sprengstoffen oder Brennstoffen im Raumensemble einer urbanen Gebäudestruktur durchgeführt werden kann (Programm UrbITS – Indoor-Transport-Simulator).

Das zugrunde liegende Rechenmodell für den atmosphärischen Aerosoltransport bildet ein Multikompartimentmodell (MKM), 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 auf Grund von Druckunterschieden zwischen den Kompartimenten erfolgt. Zusätzlich kann im Programm die Abscheidung von Aerosolen durch Sprinkleranlagen simuliert werden.

Das Modell wurde um ein Modul zur Ermittlung der Auswirkungen der Explosion einer USBV-R auf verschlossene Gebäudeöffnungen (z. B. Zerstörung verschlossener Fenster oder Türen) ergänzt, um die Bildung zusätzlicher Raumöffnungen/Pfade mit Relevanz für den Aerosoltransport abzuschätzen.

Ferner wurde auf Basis der Ergebnisse des BfS-Forschungsvorhabens SR0801660 „Bestimmung der Aerosol-Größenverteilung nach realen Sprengversuchen und aus Modellrechnungen für das Programmsystem LASAIR“ das Modell um ein Modul zur Abschätzung der initialen Aerosolgrößenverteilung der Beiladung ergänzt, da diese einen wesentlichen Einfluss auf den Transport der Aerosole durch Sedimentation und Diffusion sowie die Abscheidung durch Sprinkleranlagen aufweist.

Der UrbITS ermittelt die Ausbreitung der Aerosolwolke durch den Feuerball und nachfolgend den Transport der Aerosole zwischen den Räumen, auf die Oberflächen der Räume und zur Umgebung und gibt entsprechende zeitabhängige Aerosolverteilungen in den Räumen des zu simulierenden Gebäudes und zur Umgebung aus. Durch Angabe der Radionuklide in der Beiladung können für die Umgebungskompartimente nuklidspezifische zeit-, orts- und aerosolgrößenabhängige Quellterme als csv-Datei ausgegeben und als Inputparameter für das Programmsystem LASAIR verwendet werden.

Schematisch ist der Ablauf eines Rechenlaufs des Programms in Abbildung 1 dargestellt.

Die Eingaben des Programms erfolgen unter Verwendung von Eingabedateien im txt-Format und umfassen im Wesentlichen folgende Parameter:

- geometrische Gebäudedaten
- atmosphärische Raumdaten
- Art der Kompartimente (Oberfläche, Indoorvolumen, Umgebungsvolumen)
- Daten zu Sprinkleranlagen
- Daten der Pfade zwischen den Räumen (einschließlich Lüftungsanlagen)
- Daten zur USBV-R, d. h.
 - bei Sprengstoffen: Sprengstoffmenge und -typ, Beiladungsmenge und -typ, Ort der Umsetzung
 - bei Brennstoffen: Brandleistung, Branddauer.

Der UrbITS weist eine einfache Benutzeroberfläche auf (vgl. Screenshot in Abbildung 2), mit der die Simulation gestartet werden kann und mit der auch Änderungen eines Teils der Simulationsparameter, z. B. USBV-R-Daten, Kompartiment mit der USBV-R etc., durchgeführt werden können.

Typische Simulationsdauern für die einzelnen Modellgebäude liegen zwischen einigen Minuten (einfache Strukturen mit einer geringeren Anzahl von Kompartimenten und Pfaden, z. B. Unterführung oder Tunnel) und einigen Stunden (komplexere Raumanordnungen mit einer höheren Anzahl von Kompartimenten und Pfaden, z. B. mehrstöckige Bürogebäude mit Lüftungsanlagen).

Im Rahmen des Vorhabens wurde ferner ein Programm zur graphischen Eingabe von Gebäudestrukturen auf Basis von EXCEL/VBA entwickelt (Programm UrbITSPC – Urban-Indoor-Simulationsprogramm-Projekt-Creator), mit dem die Eingabedateien für den UrbITS einfach erstellt werden können. Mit dem UrbITSPC können ferner die Ergebnisse einer Simulation, die mit dem UrbITS erfolgt ist, graphisch dargestellt werden (vgl. Abbildung 3).

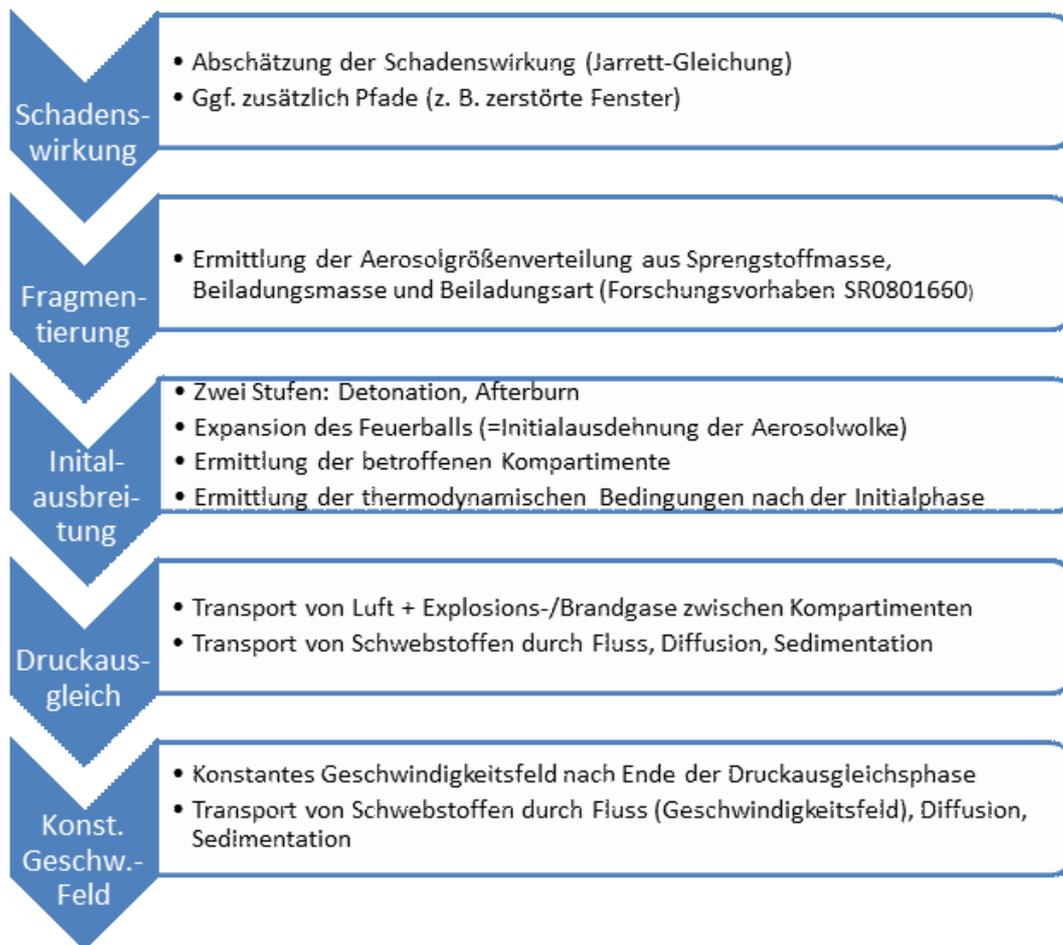


Abbildung 1: Ablauf der Simulation im Rechenprogramm URBITS

4.4 ANWENDUNG DES SIMULATIONSPROGRAMMS (AP 4), BEREITSTELLUNG EINES FLÄCHEN- ODER VOLUMENQUELLTERMS FÜR EIN ATMOSPHÄRISCHES AUSBREITUNGSPROGRAMM (AP 5)

Im Rahmen der AP 4 und AP 5 erfolgte die Umsetzung der Gebäudestrukturen aus dem AP 2 in digitaler Form zur Simulation mit dem im Rahmen des AP 3 entwickelten Simulationsprogramm UrbITS. Die Plausibilität der Ergebnisse von Simulationen mit dem UrbITS wurde im Wesentlichen auf Basis von Simulationsreihen mit dem Modellgebäude Bahnhofshalle geprüft (vgl. Beispiel unter Kapitel 5).

4.5 VALIDIERUNG EINES EINFACHEN SZENARIOS BEI DER WTD 52 DER BUNDESWEHR (AP 6)

Zur experimentellen Validierung des UrbITS sind nach Abschluss des Forschungsvorhabens Versuche bei der WTD 52 der Bundeswehr in Oberjettenberg geplant. Hierbei sollen Anspengungen mit Beiladungen aus Surrogatmaterial im Sprengrohr der WTD 52 durchgeführt und die Ausbreitung der Aerosole, die aus der Beiladung bei der Anspengung entstehen, mittels Aerosolsammlern gemessen werden. Zur Planung und zur Festlegung der Randbedingungen der Experimente wurde im Rahmen des AP 6 der Transport der Schwebstoffe im Sprengrohr mit dem UrbITS für eine Reihe von unterschiedlichen USBV-R-Parametern simuliert. Zur Validierung sollen die Ergebnisse der Versuche mit den Simulationsergebnissen durchgeführt werden, was zur weiteren Optimierung oder Anpassung des Programms verwendet werden kann.

5. ERGEBNISSE

Mit allen digitalen Modellgebäuden wurden Simulationsreihen durchgeführt und Quellterme für die Freisetzung luftgetragener Stoffe in die Umgebung erzeugt.

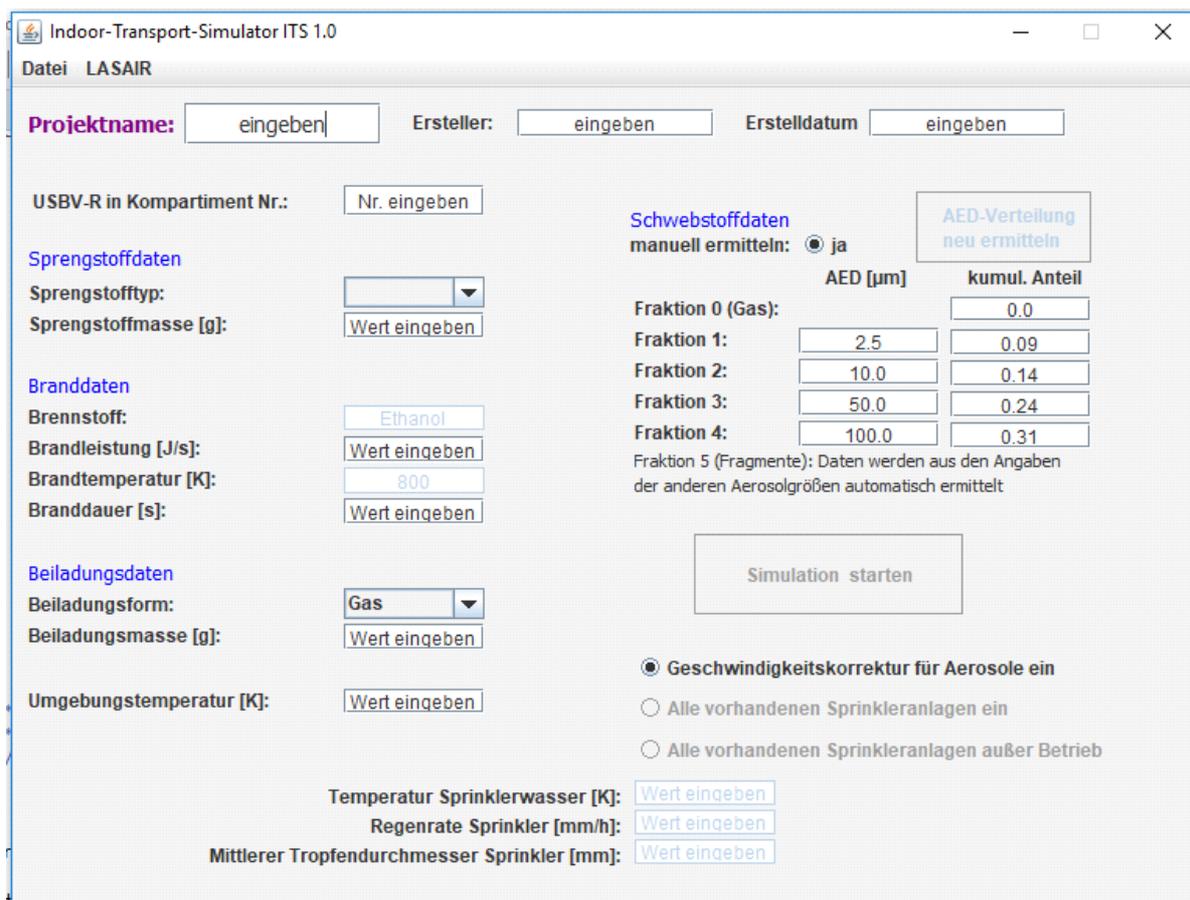


Abbildung 2: Screenshot der Benutzeroberfläche des UrbITS

Mit dem digitalen Simulationsmodell der Bahnhofshalle wurden Parameterstudien durchgeführt, um die Auswirkungen von Parameteränderungen zu untersuchen und die Plausibilität von Simulationsergebnissen zu überprüfen.

Als Beispiel für die Ergebnisse einer Simulationsreihe ist in Abbildung 3 der zeitliche Verlauf der Verteilung der luftgetragenen Aerosole mit einem Aerodynamisch Äquivalenten Durchmesser AED < 100 µm in den einzelnen Ebenen der Bahnhofshalle nach Umsetzung einer USBV-R mit dem Sprengstoff PETN und Hartkeramik als Beiladung dargestellt. Die Bahnhofshalle (l x b x h = 150 m x 60 m x 20 m) und die Umgebung werden durch vier Ebenen gebildet: Boden (Fläche), Raum unten (10 m Höhe), Raum oben (10 m Höhe) und Umgebung oben (Bereich oberhalb des Daches). Die einzelnen Raumbereiche des Bahnhofs wurden in Kompartimente der Größe 10 m x 10 m x 10 m aufgeteilt. Die graphische Darstellung der Ergebnisse in Abbildung 3 erfolgt hierbei unter Verwendung des UrbITSPC.

Zum Zeitpunkt 0 (vgl. Abbildung 3) werden die von der USBV-R erzeugten Aerosole in dem Kompartiment in der unteren Raumebene deponiert, in dem sich die USBV-R befindet (violett eingefärbter Bereich). Der Feuerball und damit die Aerosolwolke erfahren nach der Umsetzung der USBV-R auf Grund der geringeren Dichte des Feuerballs im Vergleich zur umgebenden Atmosphäre einen Auftrieb. Innerhalb einiger 10 s wird dabei ein großer Anteil der Aerosole durch die von der Explosion erzeugte Öffnung im Bahnhofshallendach in die Umgebung freigesetzt. Nach etwa 1800 s haben sich im vorliegenden Fall etwa 1/3 der Aerosole auf dem Hallenboden abgelagert (die Farbgebung zeigt hierbei den entsprechenden Kontaminationsverlauf), etwa 2/3 wurden über die Öffnung im Hallendach freigesetzt und in den Raumbereichen der Halle sind nur noch wenige Aerosole übrig. Die in Abbildung 3 in den weißen Kästen angegebenen Werte entsprechen dem Aerosolanteil in der jeweiligen Ebene, bezogen auf die ursprüngliche gesamte Beiladungsmenge.

Bei den Simulationen der einzelnen Gebäudeszenarien wurde beobachtet, dass die kleinste Aerosolgröße < 5 µm meist zu einem hohen Anteil ausgetragen wird, wenn über den Zeitraum des Austrages eine gerichtete Luftströmung aus dem Gebäude vorliegt, z. B. infolge einer laufenden Lüftungsanlage, durch ein Gefälle des statischen Drucks im Gebäude (Winddruck) oder infolge des kontinuierlichen Energie- und Gaseintrages

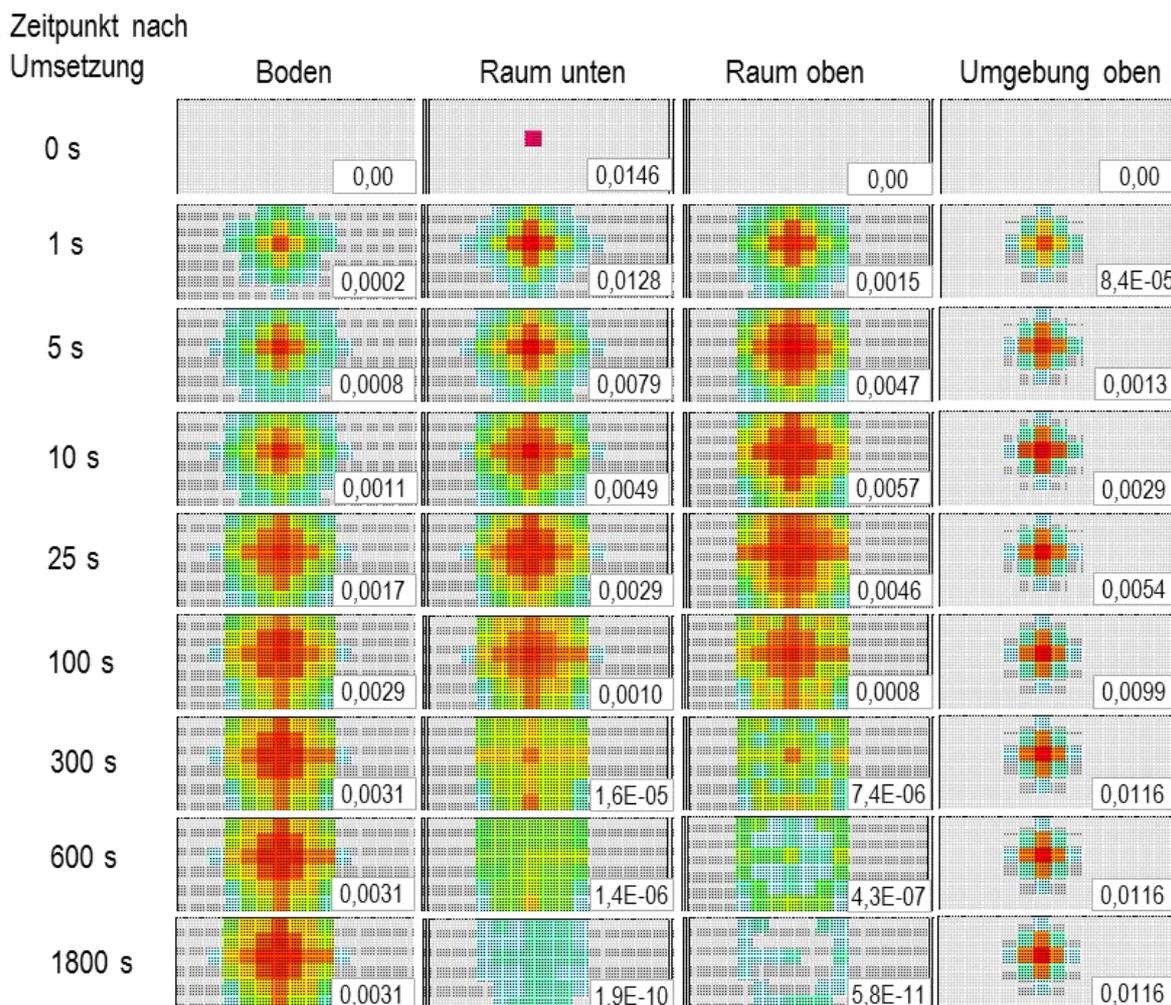


Abbildung 3: Zeitlicher Verlauf der Aerosolverteilung (Summe über alle Aerosolgrößen) in der Bahnhofshalle nach Umsetzung einer USBV-R mit PETN als Sprengstoff und Hartkeramik als Beiladung mit Angabe des gesamten Aerosolanteils in der entsprechenden Ebene

durch einen Brand. Eine verstärkte Ablagerung ist bei den größeren Aerosolgrößenfraktionen zu beobachten. Ferner führt der Einsatz einer Sprinkleranlage zur verstärkten Abscheidung der Aerosolgrößen ab 5 µm, während die Simulation bei der kleinsten Aerosolgrößenfraktion kaum einen Einfluss einer Sprinkleranlage auf die Freisetzung aus dem Gebäude zeigt. Hier konnten erst bei sehr kleinen Tropfengrößen bzw. hohen Sprinklerraten entsprechend hohe Abscheideraten beobachtet werden.

6. UMSETZUNG DER ERGEBNISSE

Mit dem im Rahmen des Vorhabens bereitgestellten Computerprogramm können USBV-R-Szenarien in urbanen Gebäuden für die Planung von Maßnahmen erstellt und simuliert werden. Dadurch ist insbesondere eine Abschätzung der Bandbreite der möglichen Auswirkungen der Umsetzung einer USBV-R in Gebäuden möglich. Ferner weist das Programm prinzipiell die Möglichkeit zur operativen Anwendung in Verbindung mit einem Entscheidungshilfesystem, z. B. LASAIR, auf.

Im Rahmen weiterer Vorhaben sind folgende Untersuchungen bzw. Optimierungen zu empfehlen:

- Implementierung einer Schnittstelle zu LASAIR: Das Eingabeformat für LASAIR war zum Zeitpunkt der Durchführung des Vorhabens nicht verfügbar, die derzeitige Ausgabe erfolgt in einer Tabelle im csv-Format.
- Sprengversuche zur Analyse der Aerosolisierung bei Sprengstoffen geringerer Brisanz (z. B. ANFO, Schwarzpulver oder sonstige Selbstlaborate): Die derzeit aus den Ergebnissen des Vorhabens

SR0801660 abgeleiteten Parameter sind zum Teil sehr konservativ, weitere Versuche können zum Abbau von Konservativitäten führen.

- Erweiterung der Modellbasis des Programms, z. B. durch
 - Implementierung des Transports ballistischer Fragmente (nicht Teil der Aufgabenstellung dieses Vorhabens): Entsprechend den Ergebnissen des Vorhabens SR0801660 können diese einen wesentlichen Anteil der Aktivität der Beiladung tragen.
 - Weitere Optimierung/Erweiterung der Modelle bei der Ermittlung der Zerstörung von verschlossenen Gebäudeöffnungen und bei der Transportrechnung
- Optimierung des Programms im Hinblick auf die operative Anwendung:
 - Optimierung der Benutzeroberfläche (z. B. durch Implementierung der Eingabedateierstellung innerhalb des UrbITS)
 - Erhöhung der Simulationsgeschwindigkeit durch weitere Optimierung der numerischen Verfahren
- Weitere Anpassung und Optimierung des Programms auf Basis der Ergebnisse der noch durchzuführenden Sprengversuche bei der WTD 52.

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			
<i>Update and evaluation of task-related exposure in nuclear facilities and other radiation relevant installations under the aspect of optimisation</i>			
Kennzeichen 3615S22301	Beginn 01.11.2015	Ende 30.09.2018	Fördermittel EUR 415.265,-
Forschungs- / Auftragnehmer			
Gesellschaft für Anlagen- und Reaktorsicherheit (GRS) gGmbH, Köln			
Projektleitung Dr. T. Stahl	Fachbetreuung BfS L. Kammerer / MB 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, hingegen nicht 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 wurden frühere Untersuchungen zur tätigkeitsbezogenen beruflichen Strahlenexposition in kerntechnischen Anlagen unter dem Gesichtspunkt der Optimierung fortgeschrieben. Betrachtet wurden deutsche Kernkraftwerke, Anlagen der Ver- und Entsorgung sowie deutsche standortnahe Zwischenlager für abgebrannte Brennelemente und radioaktive Abfälle. Grundlage der Untersuchungen waren 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 wurden 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 wurden 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 wurden 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 wurde 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 wurden durch die Bearbeitung der nachstehenden, miteinander verknüpften Einzelziele umgesetzt.

2.1 DATENERHEBUNG UND DOKUMENTATION

Für kerntechnische Anlagen in Deutschland sollten 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 Berichten dokumentiert werden. Die erhobenen Daten stammen aus der betrieblichen Dosimetrie der Anlagen und weisen einen Detaillierungsgrad auf, der höher ist als derjenige der Daten der amtlichen Strahlenschutzüberwachung.

2.2 DATENANALYSE

Anhand der Daten sollten die Zusammenhänge zwischen der beruflichen Strahlenexposition und den sie beeinflussenden Faktoren untersucht und die Möglichkeiten der Reduktion der Strahlenexposition dargestellt werden. Schwerpunkt der Analyse waren die zu verrichtenden Tätigkeiten und die ergriffenen technischen und arbeitsorganisatorischen Strahlenschutzmaßnahmen. Soweit im Hinblick auf Aussagen über Optimierungsmöglichkeiten des Strahlenschutzes oder über Dosisreduzierungen sinnvoll, waren hierbei Teilaspekte von durchgeführten Tätigkeiten in die Analyse einzubeziehen.

Die zu erfassenden Daten und ihre Auswertungen sollten frühere Daten und Auswertungen fortführen und einen Vergleich auf nationaler und internationaler Ebene (OECD und EU) ermöglichen. Deshalb wurde bei der Datenerfassung und Aufbereitung eine international einheitliche Charakterisierung der Tätigkeiten angewendet. Internationale Zusammenarbeit und Informationsaustausch erfolgten insbesondere durch die Mitarbeit im ISOE.

2.3 OPTIMIERUNGSEMPFEHLUNGEN

Auf der Basis der erhobenen Daten und Analyseergebnisse sowie nationaler und internationaler Entwicklungen sollten 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 wurden 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 waren 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 sollten Fragen im Zusammenhang mit dem Strahlenschutz ausländischen Fremdpersonals bearbeitet werden. Ziel war 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 sollte 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 lag 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 wurden vorrangig mit Hilfe des Datenerfassungssystems des ISOE erhoben. Darüber hinaus wurden für Teilbereiche die Daten aus weiteren Quellen und durch ergänzende Anfragen bei den jeweiligen Anlagen angereichert. Die bei der Auswertung und Ana-

lyse gewonnenen Ergebnisse wurden für die verschiedenen Themenbereiche in Berichten dokumentiert. Die in Abschnitt 2.2 ebenfalls angesprochene Zusammenarbeit mit dem Ausland wurde schwerpunktmäßig durch Teilnahme an Sitzungen und Veranstaltungen des ISOE als zentrale internationale Einrichtung zum beruflichen Strahlenschutz in Kernkraftwerken wahrgenommen. Aspekte der Optimierung wurden bei der Diskussion der Daten fortlaufend verfolgt.

3.2 METHODIK ZUR STUDIE IM BEREICH NICHT-KERntechnischer EINRICHTUNGEN

Aufbauend auf einer Recherche zum aktuellen Sachstand der Strahlenexposition auf nationaler Ebene im Bereich der mobilen Radiographie und interventionellen Radiologie wurden die Möglichkeiten einer Erhebung der Strahlenexpositionsdaten geprüft.

4. DURCHFÜHRUNG

4.1 UNTERSUCHUNG DER BERUFLICHEN STRAHLENEXPOSITION IN KERntechnischen ANLAGEN

Die Daten der kerntechnischen Anlagen eines Jahres wurden jeweils im Folgejahr in den Anlagen erhoben. Für Kernkraftwerke in Betrieb und Stilllegung wurde 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 wurden Expositionsdaten von einem Großteil der Betreiber nicht mehr direkt an ISOE gemeldet, so dass die GRS teilweise auf andere Quellen, u. a. die Berichte der Betreiber an die RSK (Reaktor-Sicherheitskommission), angewiesen war. Für die Anlagen der Ver- und Entsorgung wurden standardisierte Datenerfassungsbögen genutzt, die im Rahmen früherer Datenerfassungen mit diesen Anlagen abgestimmt wurden. Darüber hinaus wurden ergänzende Daten und Informationen erfasst und die jährlichen Betriebsberichte der Kernkraftwerke in Betrieb und Stilllegung ausgewertet.

5. ERGEBNISSE

Die mit Abschluss des Vorhabens vorliegenden Ergebnisse werden nach der Struktur der Einzelzielsetzungen zusammengefasst.

5.1 DATENERHEBUNG UND DOKUMENTATION

Die Daten zur beruflichen Strahlenexposition in deutschen Kernkraftwerken und Anlagen der Ver- und Entsorgung liegen nunmehr bis zum Jahr 2016 als langjährige Zeitreihen vor. Die entsprechend der Zielsetzung des Vorhabens zu erstellenden Berichte für die Jahre 2014 bis 2016 wurden für die Kernkraftwerke in Betrieb/Nachbetrieb und für die Kernkraftwerke in Stilllegung erstellt. Für die Anlagen der Ver- und Entsorgung wurde wie vorgesehen ein kombinierter Bericht für die Jahre 2014 und 2015 verfasst.

Aus Gründen des Datenschutzes stehen die Berichte der Öffentlichkeit nicht zur Verfügung.

5.2 DATENANALYSE

Entsprechend dem Ziel dieses Vorhabens wurden die vorliegenden tätigkeitsbezogenen Daten einer Auswertung unterzogen und im Rahmen der in Abschnitt 5.1 genannten Berichte dokumentiert.

Da im Bereich der stillgelegten Anlagen das international einheitliche Charakterisierungsschema für kerntechnische Tätigkeitsbereiche des ISOE noch nicht in geeigneter, d. h. auf die Besonderheiten der Anlagen in Stilllegung zugeschnittener Form vorhanden ist, wurde die Einführung eines entsprechenden Charakterisierungsschemas auf internationaler Ebene durch eine aktive Mitarbeit in den Gremien der verantwortlichen OECD/NEA unterstützt, insbesondere in der im Jahr 2015 gegründeten ISOE-Arbeitsgruppe „Working Group on Radiological Protection Aspects of Decommissioning Activities at Nuclear Power Plants (WGDECOM)“.

5.3 OPTIMIERUNGSEMPFEHLUNGEN

Aspekte der Optimierung wurden bei der Diskussion der Daten sowie im Rahmen des nationalen und internationalen Informationsaustausches fortlaufend verfolgt. Schlussfolgerungen für Kernkraftwerke in Betrieb, Nachbetrieb und Stilllegung wurden im fachlichen Abschlussbericht zusammenfassend beschrieben.

Der nationale und internationale Informationsaustausch erfolgte im Rahmen von Teilnahmen an verschiedenen nationalen Konferenzen und der Sitzungen und Veranstaltungen des ISOE und seiner Gremien, insbesondere des Management Boards (MB), der Working Group on Data Analysis (WGDA) und der WGDECOM.

5.4 EINSATZ VON AUSLÄNDISCHEM FREMDPERSONAL

Zum Einsatz und zum Strahlenschutz ausländischen Fremdpersonals in deutschen Kernkraftwerken wurde der aktuelle Sachstand zusammengestellt. Neben direkten Anfragen bei den entsprechenden Ansprechpartnern der Anlagen wurden die Recherchen um eine Literaturrecherche ergänzt. Als Beispiel für eine internationale Herangehensweise wurde weiterhin der Sachstand in der Schweiz recherchiert. Ziel war es, Beiträge zu eindeutigen Vorgehensweisen beim Einsatz ausländischen Fremdpersonals in deutschen Kernkraftwerken zu leisten, die einen grenzüberschreitenden Strahlenschutz sicherstellen. Die Ergebnisse wurden im Rahmen des fachlichen Abschlussberichtes dokumentiert.

6. UMSETZUNG DER ERGEBNISSE

Es ist vorgesehen, die Sammlung und Analyse der Expositionsdaten zur tätigkeitsbezogenen beruflichen Strahlenexposition in kerntechnischen Anlagen fortlaufend weiterzuführen. Ebenso wird die Mitarbeit in den Gremien und Arbeitsgruppen des ISOE fortgesetzt. Aggregierte Daten aus diesem Vorhaben fließen u. a. in die BMU-Jahresberichte „Umweltradioaktivität und Strahlenbelastung“ ein. Darüber hinaus ermöglichen die Ergebnisse die Beantwortung spezieller Fragen im Bereich des beruflichen Strahlenschutzes, die mit anderen Datenquellen nur unzureichend geklärt werden können.

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 3616S72570	Beginn 01.04.2017	Ende 31.03.2018	Fördermittel EUR 135.710,-
Forschungs- / Auftragnehmer			
Hydrotec Ingenieurgesellschaft für Wasser und Umwelt mbH, Aachen			
Projektleitung Dr. O. Buchholz	Fachbetreuung BfS A. Heckel / UR 3	verantwortlich für den Text 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 ein Bilanzierungsmodell (OSBIMO) entwickelt, das für die Flüsse Rhein, Elbe, Main, Weser, Ems und Neckar unter Berücksichtigung von punktuellen Einträgen durch Kläranlagen sowie des Abflussregimes in den Flüssen die maßgeblichen Prozesse des I-131-Transportes und -Abbaus für gelöste und partikulär gebundene Stoffe berechnet und es wurden jährliche Bilanzgrößen erstellt. Zur Validierung des Modells wurden Aktivitätskonzentrationen von I-131 entlang ausgewählter Flussläufe in Wasser- und Sedimentproben sowie an markanten Einleitstellen von Kläranlagen im Zustrom und im Abstrom ermittelt.

Die Auswertung der Analysen ergab Stofffrachten in den Gewässern, die deutlich niedriger ausfielen, als die aus den Einwohnerzahlen erwarteten I-131-Frachten der Flüsse. Die Ursachen dieses Befundes konnten im Rahmen des Vorhabens 3611S70013 nicht aufgeklärt werden. In einem weiteren 2016/17 realisierten Untersuchungsprogramm (3614S50013 „Messtechnische und modellbasierte Abschätzung des Eintrags von I-131 in die OSPAR-Regionen auf Grund der nuklearmedizinischen Anwendung von Radioiod in Deutschland“) wurde die Datenbasis durch Einbeziehung von Oberläufen und ausgewählten Nebengewässern deutlich erweitert. Um die hydrologischen Eigenschaften der Gewässer bei der Auswertung dieser Messungen vertiefend berücksichtigen zu können, sollte das OSBIMO-Modell weiterentwickelt und hinsichtlich seiner Datenbasis wesentlich erweitert werden.

2. EINZELZIELSETZUNG

Einzelziele des Projektes waren:

- 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
- eine Validierung im Vergleich zu den Mess- und Analysewerten an den Nebengewässern des Projekts 3614S50013 durchzuführen.

¹⁾ s. Oslo-Paris-Vertrag zum Schutz der Nordsee und des Nordostatlantiks

3. METHODIK

3.1 MODELLKONZEPT

Das Modell OSBIMO (OSPAR-Bilanz-Modell) ist ein Werkzeug, mit dem der mittlere jährliche Zustrom von I-131 (Radioiod) in die Nordsee über die deutschen Mündungsflüsse quantifiziert werden kann. Das Modell geht davon aus, dass I-131 sowohl gelöst in der Wasserphase als auch an Schwebstoffe partikulär gebunden transportiert wird. Die Verlagerung von I-131 im Gewässersystem unterliegt 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 in Intervalleinheiten von 1 km Länge ab und bilanziert neben dem hydraulischen Abfluss die Schwebstoffe und Radionuklide (hier: I-131) mit ihren bilanzrelevanten Verteilungsprozessen. Abfluss und Schwebstoffbilanzen, deren Daten aus Messungen der Bundesanstalt für Gewässerkunde (BfG) oder von Landesämtern vorliegen, dienen als Kalibriergrößen.

Da die Zielgröße eine jährliche Bilanz des Eintrags von Radioiod in die OSPAR-Region Nordsee ist, werden die Prozesse ohne ihre kurzzeitliche Dynamik modelliert. Zeitabhängige Prozesse (z. B. der radioaktive Zerfall) werden durch den Bezug auf Fließgeschwindigkeiten als streckenabhängige Prozesse modelliert. Die primär ermittelte Modellgröße ist die Fracht von I-131. Die am letzten Element vor Eintritt des Gewässers in den Tidebereich erhaltenen Frachten liefern eine Bezugszahl für den mittleren jährlichen Eintrag in die Nordsee, die ggf. noch um Einträge und Senken im Mündungsbereich selbst zu korrigieren ist.

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, wobei berücksichtigt wird, dass die Schwebstoffkonzentration bei Hochwasserereignissen ansteigt.
- Das Stoffverteilungsmodell modelliert ausgehend vom Abflussmodell und dem Schwebstoffmodell die Verteilung von I-131 zwischen einzelnen Kompartimenten (gelöst, partikulärer Schwebstoff, Sediment).
- Das Stoffbilanzmodell berechnet den Zerfall von I-131 und die daraus resultierenden Veränderungen von Stofffrachten und Konzentrationen.

3.2 SOFTWARETECHNISCHE UMSETZUNG

Das Modell OSBIMO besteht aus folgenden Komponenten:

- Pre- und Postprozessing unter MS-EXCEL einschließlich grafischer Darstellung
- ausführbare Modellsoftware
- MS-ACCESS-Datenbank.

Die MS-ACCESS-Datenbank enthält alle Inputdaten der Modellierung, die zweckmäßigerweise 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

4.1 PARAMETRISIERUNG DES MODELLS FÜR NEBENFLÜSSE

Im Projekt wurde das in Kapitel 3.1 beschriebene Modellkonzept auf Nebengewässer der großen zur Nordsee fließenden Flüsse Elbe, Weser, Ems und Rhein übertragen. Als Modellflüsse wurden Ruhr, Emscher, Lippe (Nebenflüsse Rhein), Leine/Aller (Nebenfluss Weser), Saale und Havel (Nebenflüsse Elbe) ausgewählt. Für jedes Flussgebiet wurden Gewässerlängsschnitte in Kilometerauflösung mit den Parametern Abfluss für fünf

Zustände (Niedrigwasser bis Hochwasser), Flächen der Pegelzugsgebiete, Einwohner der Pegelzugsgebiete, Überschwemmungsbreite sowie Geometrie des Flussschlauchs erstellt. Hierzu wurden aus Datensätzen der verschiedenen Landesämter unter anderem GIS¹⁾-Datenbanken zu Gemeindeflächen, Einwohnerzahlen, Überschwemmungsgebieten (ÜSG) oder Daten zur Lage und angeschlossenen Einwohnern von Kläranlagen herangezogen. Für Parameter, für die keine Daten vorhanden waren, wurden Annahmen auf Grundlage von Recherchen und Analysen zu den Strömungs- und Stofftransportverhältnissen getroffen. Aus der Kombination von vorhandenen Daten (Abflusslängsschnitte, Abflussbreiten, Kläranlagen mit angeschlossenen Einwohnern etc.), ergänzt um gesondert abgeschätzte Modellparameter wie einwohnerbezogene I-131-Fracht, Sedimentationsgeschwindigkeit, spezifische Resuspension etc., wurden im Preprocessing die Eingangsdaten für das Modell erstellt.

Testrechnungen zeigen, dass die bilanzrelevanten Prozesse entsprechend der parametrisierten Algorithmen rechenstechnisch korrekt abgebildet werden. Zur Modellierung der Einträge von I-131 in die Flüsse wurde auf Grundlage des zeitlich parallelen Forschungsprojektes (3614S50013) eine mittlere jährliche Fracht von ca. 12 kBq pro Einwohner pro Jahr benutzt. Ein auf dieser Grundlage ermittelter Modellinput für die Ruhr ist in Abbildung 1 beispielhaft dargestellt.

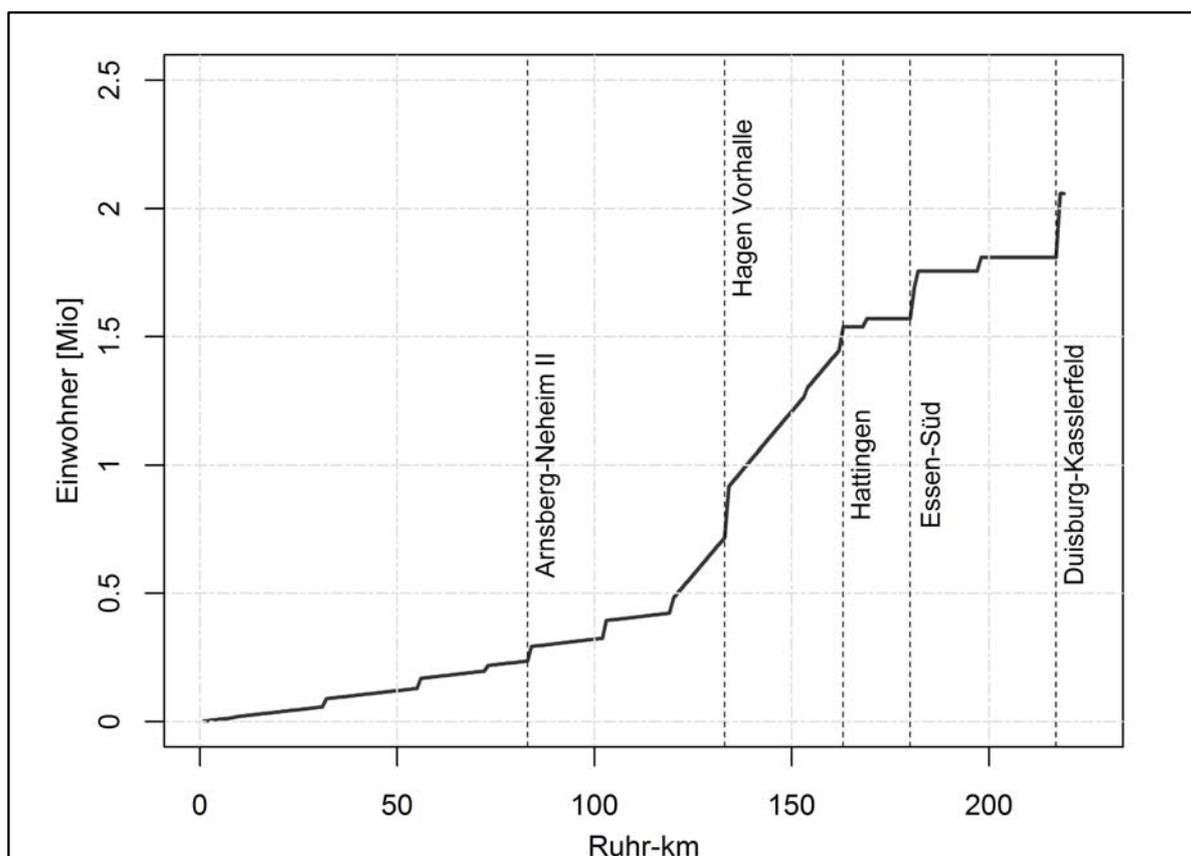


Abbildung 1: Modellinput Einwohnerlängsschnitt der Ruhr; (Kilometrierung in Fließrichtung)

4.2 MODELLRECHNUNGEN

Mit dem parametrisierten Modell wurden Modellrechnungen zu den erwarteten Frachten und Konzentrationen von I-131 in den Nebenflüssen ausgeführt. Die Berechnungsergebnisse wurden als Längsprofile der Gewässer mit einer Kilometrierung in Fließrichtung für verschiedene Abflusszustände ausgewiesen. Als Basis für die Ergebnisdiskussion dienen Schwebstofffrachten mit separater Ausweisung von Resuspension und Sedimentation sowie I-131-Frachten mit ebenfalls separater Ausweisung von Sorption, Sedimentation und Resuspension. Außerdem wurden I-131-Konzentrationen und Schwebstoffkonzentrationen berechnet und dargestellt.

¹⁾ Geographisches Informationssystem

Auf der Basis der Ergebnisse der Nebenflüsse wurden die Hauptgewässer Elbe, Weser, Ems und Rhein mittels OSBIMO erneut modelliert und es wurden erwartete Eintragsfrachten von I-131 in den Tidebereich der Flussmündungen ermittelt.

5. ERGEBNISSE

Im Vergleich zu Modellrechnungen im Forschungsvorhaben 3611S70013, bei denen die Einleitungsfracht der Nebengewässer direkt an die statistisch ermittelten Ausscheidungen der entlassenen Patienten des jeweiligen Einzugsgebiets gekoppelt war, zeigte sich durch die detailliertere Modellierung der Nebengewässer eine deutliche Reduktion der Frachten. Die Frachtminderung fällt auf Grund der unterschiedlichen Charakteristika der Nebengewässer (Ausbaugrad, Stauregelungen etc.) unterschiedlich stark aus und unterliegt einer deutlichen Varianz: Aller/Leine 39 %, Emscher 41 %, Saale 48 %, Lippe 58 %, Ruhr 63 %, Havel 84 %.

Wichtige Einflussgrößen, die zur Reduktion der Einleitfrachten der Kläranlagen in den Gewässern führen, ergeben sich aus 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 Verringerung der I-131-Frachten durch radioaktiven Zerfall aus. In gleicher Weise führen Retentionsvorgänge, welche bei den Ausuferungen in den Hochwasserzuständen auftreten, zu einer erkennbaren Reduzierung von I-131-Frachten. Im Gegensatz zu einer verstärkten Retention führt ein hoher Ausbaugrad der Fließgewässer - wie es z. B. beim Emscherflusslauf der Fall ist - zu geringerem Abbau von I-131, da Fließgeschwindigkeiten höher sind und gleichzeitig Retentions- und Sorptionsvorgänge fast vollständig unterbunden werden. Als Konsequenz wird die Fließzeit reduziert und letztendlich der Abbau der I-131-Frachten vermindert.

Ein Vergleich der Modellergebnisse mit den aus Messwerten abgeleiteten Frachten (s. Tabelle 1) zeigte für einige Gewässer eine gute Übereinstimmung, bei anderen aber noch deutliche Unterschiede. Abbildung 2 zeigt die Ergebnisse im Längsschnitt für die Ruhr.

Auf Basis der Ergebnisse der explizit berechneten Nebengewässer wurde ein vereinfachter Regionalisierungsansatz entwickelt, der die prozentuale Abminderung der Frachten an der Mündung der Nebenflüsse in die Hauptgewässer Rhein, Elbe, Weser und Ems, entweder für alle Gewässer oder unterteilt in verschiedene Hauptgruppen, widerspiegelt. Durch Anwenden dieses Ansatzes auf die nicht explizit modellierten Nebenge

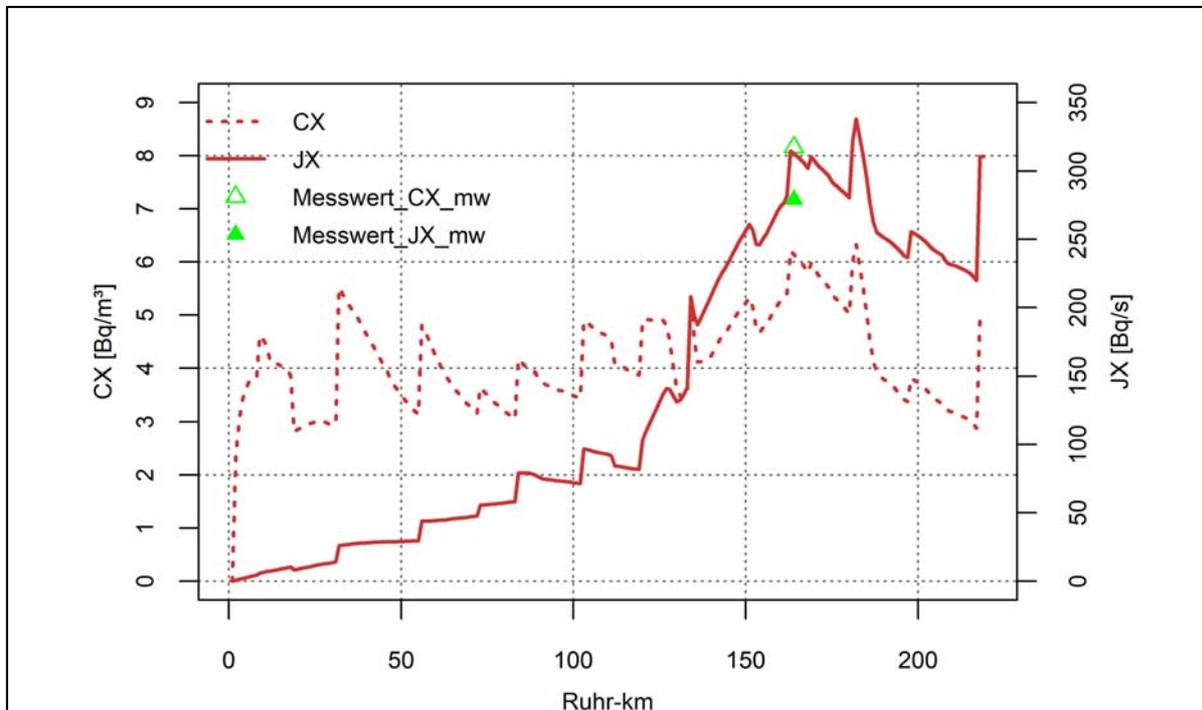


Abbildung 2: Gesamt-Konzentrationen (CX) in Bq/m^3 und Gesamt-Frachten (JX) in Bq/s an Aktivität der Ruhr im Vergleich zu gemessenen Aktivitätskonzentrationen und -frachten am Bezugspegel Hattingen (km 164); Kilometrierung in Fließrichtung

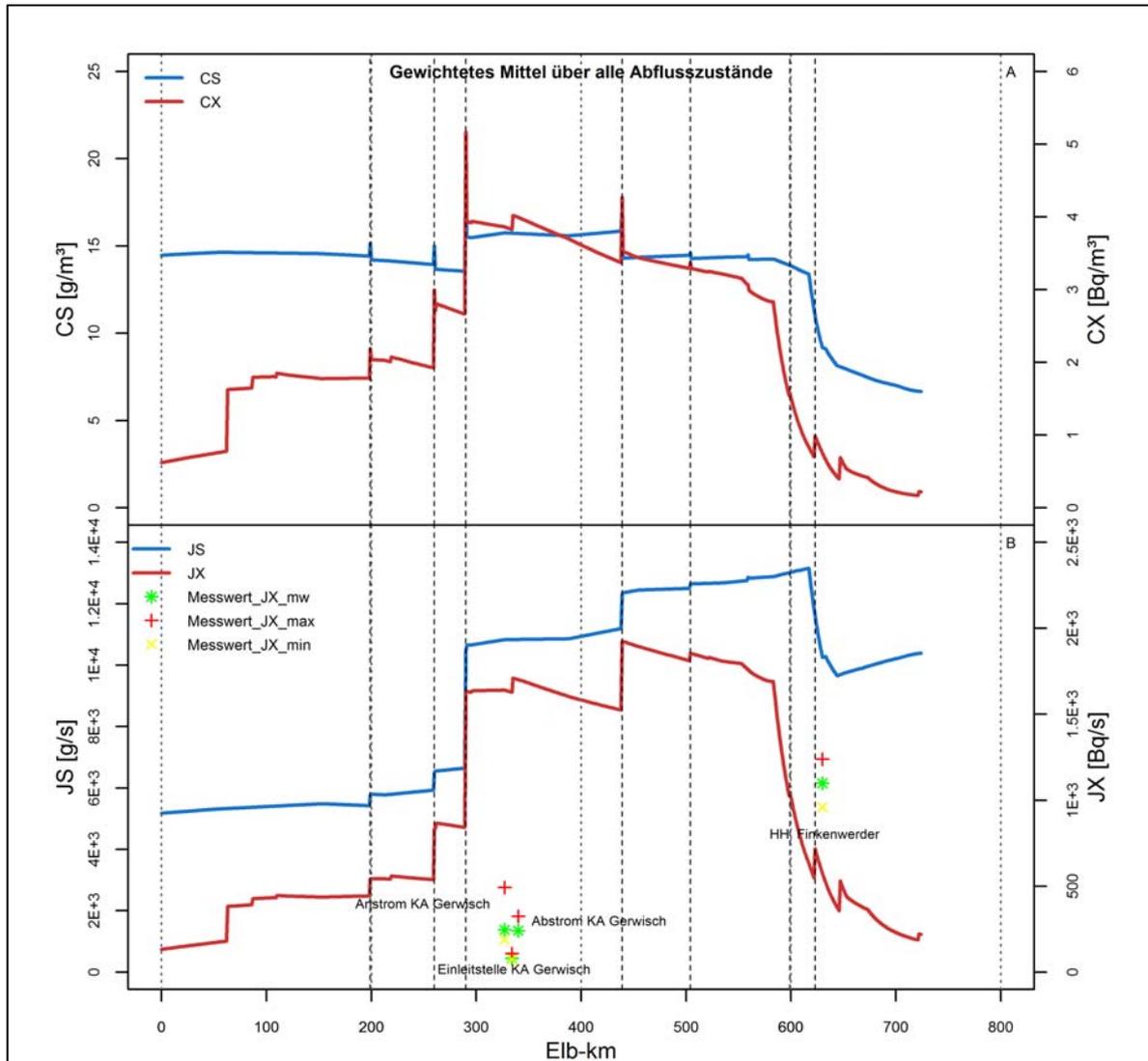


Abbildung 3: Berechnungsergebnisse der Elbe als gewichtetes Mittel über alle Abflusszustände

Gesamt-Konzentrationen für Schwebstoff (CS) in g/m^3 und Aktivitätskonzentration (CX) in Bq/m^3 [A], Gesamt-Frachten für Schwebstoff (JS) in g/s und Aktivitätsfracht (JX) in Bq/s [B], verglichen mit Analyse-Messwerten; Kilometrierung in Fließrichtung

wässer (beim Rhein z. B. Sieg, Mosel) wurden die erwarteten I-131-Frachten der Hauptgewässer Elbe, Weser, Ems und Rhein modelliert und Frachten für den Übergang zu den Mündungsbereichen zur Nordsee ermittelt. Abbildung 3 zeigt die in sich plausiblen Berechnungsergebnisse der Elbe unter Einschluss des Mündungsbereiches. Die modellierten Prozesse werden entsprechend der parametrisierten Algorithmen berechnet. Dies gilt sowohl für die einzelnen Abflusszustände als auch für die Aggregation der Abflusszustands-Ergebnisse auf mittlere Jahreswerte. In den Längsschnitten ist der Einfluss der Nebengewässer durch Sprünge in den Aktivitätsfrachten zu erkennen. Die Fließzeit mit ihrer Wirkung auf den radioaktiven Zerfall macht sich insbesondere in der tidebeeinflussten Unterelbe ab km 586 stark bemerkbar. Hier steigen Aufenthaltszeiten von I-131 je km Fließweg deutlich an, was sich sowohl auf den radioaktiven Zerfall als auch die Sedimentation auswirkt.

Insgesamt zeigt sich, dass im Vergleich zu den bisherigen Modellrechnungen aus dem Forschungsvorhaben 3611S70013 (Hydrotec 2013) durch die explizite Einbeziehung der Nebengewässer sowie der Anwendung des Regionalisierungsansatzes für die weiteren Nebengewässer eine deutliche Annäherung an die gemessenen Konzentrationen stattgefunden hat und Messwerte nach der neuen Simulation in einem durchaus annehmbaren Bereich liegen (Abbildung 3).

Tabelle 1: Vergleich von modelltechnisch ermittelten I-131-Frachten und messtechnisch ermittelten Werten

	Einwohner-bezogene I-131-Fracht in kBq/(Ew*a)	
	aus Modell ermittelt	aus Messungen ermittelt (NCC 2017)
Ruhr	4,43	4,17 (Pegel Hattingen)
Emscher	7,08	5,35 (im Kläranlagenablauf höhere Fracht)
Lippe	5,10	14,2
Aller	7,29	< 1 (Leine 3,2)
Saale	6,23	< 1
Havel	1,98	(keine Messungen)
Main	4,81	2,27
Neckar	3,04	(keine Messungen)

6. UMSETZUNG DER ERGEBNISSE

Einzelne Ergebnisse dieses Forschungsvorhabens wurden bzw. werden bei der OSPAR-Kommission präsentiert und sollen auch weiterhin in diesem Gremium zur Bewertung des Ziels "close to zero" in die Berichterstattung einfließen.

Thema			
Internationaler Workshop zum Thema „LEDs als neue Leuchtmittel - sicherer Schutz vor Augenschäden und Blendwirkungen?“			
Subject			
<i>International Workshop „LED as an upcoming new light source - Safe protection against eye damage and glare“</i>			
Kennzeichen	Beginn	Ende	Fördermittel
3618102410	19.06.2018	28.02.2019	EUR 43.068,-
Forschungs- / Auftragnehmer			
Valentum Kommunikation GmbH			
Projektleitung	Fachbetreuung BfS	verantwortlich für den Text	
Dr. M. Asmuß	Dr. M. Asmuß / WR 4	Dr. M. Asmuß	

1. ZIELSETZUNG

Leuchtdioden (LED, light-emitting diode) sind als neues Leuchtmittel stark im Kommen. Die Entwicklung des Marktes für die Allgemeinbeleuchtung, die unter anderem durch die Ökodesignrichtlinie und die Anforderungen an Haushaltslampen hinsichtlich ihrer Energieeffizienz beeinflusst wird, zeigt eine zunehmende Bedeutung der LED.

In vielen Bereichen ersetzt die LED bereits herkömmliche Leuchtmittel. Es muss gewährleistet werden, dass die neue Strahlenquelle kein Risiko für die Allgemeinbevölkerung beinhaltet und die bestehenden Normen und Grenzwertempfehlungen das neue Leuchtmittel ausreichend abdecken. Im Vordergrund steht hier die photobiologische Sicherheit am Auge. Daneben ist die Frage möglicher Blendwirkungen zu betrachten.

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 ggf. weitere Forschung aufzubauen. Hierfür wurden internationale Referenten aus verschiedenen Forschungsfeldern nach München eingeladen, um sich im Rahmen eines geschlossenen Workshops mit maximal 30 Teilnehmenden der Thematik der LED als neuem Leuchtmittel und möglicher Auswirkungen auf die Allgemeinbevölkerung von verschiedenen Seiten anzunähern. Erweitert wurde der Teilnehmerkreis durch weitere Experten, die den Workshop als Teilnehmer mit ihrem Fachwissen ergänzten.

3. METHODIK

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

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

3.1 PLANUNG DES WORKSHOPS

- Auswahl eines Veranstaltungsortes und des Termins
- Management der Einladungen und Ankündigungen, Organisation der Pausenversorgung
- Einrichtung der notwendigen technischen Infrastruktur (Technik, Catering)
- Einrichtung und Führung eines Tagungsbüros
- Erstellung einer Anmeldewebsite
- Einladungsversand
- Rednermanagement
- Reisemanagement der Teilnehmenden

- Organisation eines gemeinsamen Conference Dinners
- 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.

3.2 UNTERSTÜTZUNG BEI DER DURCHFÜHRUNG DES WORKSHOPS

Der Auftragnehmer kümmerte sich um einen ordnungsgemäßen Ablauf der Veranstaltung und eine Koordination der verschiedenen Dienstleister. Des Weiteren wurde die Betreuung der Gäste sowie der Rednerinnen und Redner übernommen. Die Workshop-Sprache war Englisch.

3.3 REISEKOSTENABRECHNUNGEN UND ABSCHLUSSBERICHT

Der Auftragnehmer führte nach der Veranstaltung die Reisekostenabrechnungen sowie die Erstattung der Kosten durch und legte seinen Abschlussbericht vor.

4. DURCHFÜHRUNG

Der Workshop fand am 6. und 7.11.2018 im Tagungssaal des Salesianums Don Bosco in München statt.

4.1 HINTERGRUND

Veranstalter des Workshops war das Bundesamt für Strahlenschutz im Auftrag des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit. Unmittelbar nach dem Auftaktgespräch am 11. Juli 2018 wurde die Veranstaltungswebseite www.bfs-internationalworkshop.de eingerichtet. Hier wurden laufend aktuelle Informationen zum Programm und Ablauf der Tagung sowie die Möglichkeit zur Registrierung bereitgestellt.

4.2 PROGRAMM

Mit zwölf Vorträgen von geladenen Rednern aus sechs Ländern wurde das Programm des zweitägigen Workshops gestaltet. Teilgenommen haben Experten aus den Fachrichtungen Biologie, Medizin, Messtechnik (mit vertiefter Kenntnis der einschlägigen Normen und Grenzwertempfehlungen) sowie mit dem Thema befasste Vertreter und Vertreterinnen nationaler und internationaler Behörden und Verbände. Zunächst gaben die Rednerinnen und Redner in einer Präsentation einen Überblick über ihr Thema. Im Anschluss wurde den Teilnehmerinnen und Teilnehmern eine Diskussion ermöglicht.

Das Programm wurde inhaltlich auf folgende Fragen aufgebaut, die ebenfalls die Diskussionen strukturierten:

- *Is the standard EN 62471 adequate for risk assessment of LEDs? Are there limitations or need for changes? Have other relevant standards to be taken into account?*
- *Do threshold recommendations take into account relevant exposure conditions (e. g. lifelong repeated exposure?)*
- *Are special risks for vulnerable groups appropriately taken into account in standards and recommendations?*
- *Is there an increased risk of glare with LEDs? Appropriate recommendations for minimising glare?*
- *Recommendations? Gaps of knowledge and research needs?*

Den Abschluss des jeweiligen Veranstaltungstages bildete eine ausführliche Diskussionsrunde. Teilnehmende, Redner und Veranstalter tauschten sich hier noch einmal über das Gehörte aus.

In den Programmpausen sowie bei einem gemeinsamen Conference Dinner am Abend des ersten Veranstaltungstags konnten die Gäste den Austausch sowie das Networking im lockeren Rahmen fortsetzen.

5. ERGEBNISSE

Der Workshop wurde erfolgreich durchgeführt. Insgesamt nahmen 23 Personen aus sieben Ländern am Workshop teil. Die Möglichkeit zum Austausch über die verschiedenen Fachdisziplinen hinweg wurde gerne angenommen und führte zu regen Diskussionen. Für einen Überblick über den während des Workshops präsentierten Forschungsstand wurde ein Abstractband erstellt. Die Vorträge wurden den Teilnehmenden im Nachgang zur Veranstaltung zur Verfügung gestellt. Kosten- und Zeitplanung wurden eingehalten.

Es wurden Vorträge zu folgenden Themen gehalten:

- *LED – What is new, what is special?*
- *Classification of LEDs based on IEC 62471 – comments on avoiding over-restrictive conclusions on risk*
- *“Philosophy” and background of requirements for eye protection in standards and recommendations*
- *Susceptibility of the retina to light-induced injury*
- *Detection of damage*
- *Light-induced retinal damage – Results of animal studies*
- *SCHEER-Opinion on potential risks to human health of LEDs*
- *Blue light from LED: Are exposure limit values protective enough for humans - including infants?*
- *Glare - What makes LEDs special?*
- *Optical radiation sources relevant for the general public: measurement and evaluation of risk*
- *Risk assessment of dental polymerization and tooth bleaching lamps*
- *Upcoming EU regulations with requirements on the design of light sources.*

Aus den Diskussionen wurde deutlich, dass nach Ansicht der meisten Teilnehmer*innen die Norm EN 62471 (Photobiologische Sicherheit von Lampen und Lampensystemen) auch für die Bewertung von LEDs geeignet ist. Die Notwendigkeit einer speziellen „LED-Norm“ wurde nicht gesehen. Allerdings zeigte sich in der Diskussion, dass die Teilnehmer*innen recht unterschiedliche Erwartungen an die Norm hatten, insbesondere im Hinblick auf die Möglichkeit, vulnerable Gruppen und mögliche Langzeitwirkungen stärker zu berücksichtigen. Von einigen Teilnehmer*innen wurde die Auffassung vertreten, dass Wirkungsschwellen für photochemische Schäden an der Retina zu hoch angesetzt seien.

In einem Vortrag wurde besonders auf das Thema Kleinkinder eingegangen und sicheres Design von beleuchtetem Spielzeug und Nachtlichtern empfohlen.

Bei den präsentierten Ergebnissen aus Tierversuchen stellte sich die Frage, inwieweit eine Übertragung auf das menschliche Auge möglich ist. In einem Vortrag wurde die Übertragung von der Exposition im Versuchstierauge (Ratte) auf die retinale Exposition im menschlichen Auge kritisch diskutiert.

Von mehreren Teilnehmern wurde der Begriff der „guten Beleuchtungspraxis“ („*good lighting practice*“) ins Spiel gebracht. Vorgeschlagen wurde beispielsweise, dass auf kaltweißes Licht mit hohem Blaulichtanteil in Wohnräumen schon wegen möglicher Wirkungen auf den Schlaf-Wach-Rhythmus eher verzichtet werden sollte. Zur guten Beleuchtungspraxis gehört auch, Lampen so anzubringen, dass man nicht direkt hineinsieht. Wandlampen und Tischlampen sollten geringere Leuchtdichten aufweisen als Deckenlampen. Diese Maßnahmen tragen auch zur Vermeidung von Blendwirkungen bei. Weitgehende Einigkeit bestand darin, dass die Informationen der Verbraucher*innen durch die Herstellerseite (Risikogruppe, Abstände für Augensicherheit) verbessert werden sollte.

Weiterer Forschungsbedarf wurde vor allem im Hinblick auf Langzeitwirkungen, wiederholte Expositionen unterhalb der Grenzwerte, gepulste Exposition und die Wirkung auf vulnerable Gruppen gesehen. Bezüglich der Methodik wurden allerdings keine konkreten Vorschläge gemacht. Zudem wurde angesichts der Vielfalt neuer auf den Markt kommender LED-Produkte für notwendig erachtet, diese Neuerungen kontinuierlich im Hinblick auf mögliche Risiken zu verfolgen. Die Übertragbarkeit von Ergebnissen aus Tierversuchen auf das menschliche Auge sollte weiter abgeklärt werden.

6. UMSETZUNG DER ERGEBNISSE

Der Workshop deckte einen großen Teil der im Zusammenhang mit LEDs diskutierten Themenfelder ab. Die lebhaften Diskussionen zeigten unterschiedliche Sichtweisen der Teilnehmer und verdeutlichten erneut, wie wichtig die fachübergreifende Zusammenarbeit ist. Der Workshop liefert wertvolle Informationen für die Risi-

kobewertung von LEDs sowie für die sachgerechte Information und Beratung der Bevölkerung. Die Ergebnisse werden beispielsweise in Empfehlungen des BfS an Verbraucher*innen sowie in die Diskussionen in einschlägigen Normungsgremien einfließen.

Themenbereich 08
Nichtionisierende Strahlung

Subject area 08
Non-ionising radiation

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	31.10.2017	EUR 149.880,-
Forschungs- / Auftragnehmer			
Seibersdorf Labor GmbH, Seibersdorf, Österreich			
Projektleitung	Fachbetreuung BfS	verantwortlich für den Text	
G. Schmid	Dr. A. Dehos / St-RK	G. Schmid	

1. ZIELSETZUNG

Durch neue Entwicklungen und den technologischen Fortschritt sind Immissionen und Expositionen im nicht klar definierten Zwischenfrequenzbereich steigend. Zwischen dem Niederfrequenzbereich (0,1 Hz bis 1 kHz) und dem Hochfrequenzbereich (10 MHz bis 300 GHz) befindet sich im Frequenzbereich von 300 Hz bis 10 MHz laut Weltgesundheitsorganisation (WHO) der Zwischenfrequenzbereich. Während sowohl im Nieder- als auch im Hochfrequenzbereich zahlreiche Immissions- und Expositionsdaten sowie Studien zu möglichen Wirkungen vorhanden sind, ist im Zwischenfrequenzbereich noch keine solide wissenschaftliche Datenbasis verfügbar.

Ziel war daher die Erstellung einer systematischen Review über die Quellen magnetischer, elektrischer und elektromagnetischer Felder im Frequenzbereich von 300 Hz – 1 MHz sowie über die Wirkungen auf biologische Funktionen. Dafür wurden systematisch relevante experimentelle *in vitro*-, Tier- und Human-Studien erfasst, kategorisiert und bewertet, um anschließend den weiteren Forschungsbedarf zu identifizieren.

2. EINZELZIELSETZUNG

2.1 IMMISSIONS- UND EXPOSITIONSDATEN

Potentiell relevante Feldquellen mit Immissionen und Expositionen im Frequenzbereich von 300 Hz – 1 MHz sollten im Hinblick auf Verbreitung, verfügbare Datenlage sowie mögliche Expositionen in der Praxis, aufgeschlüsselt für die Allgemeinbevölkerung sowie für beruflich exponierte Personen, erfasst werden. Von besonderem Interesse war dabei die eindeutige Zuordenbarkeit der verfügbaren Immissions- und Expositionsdaten auf den vorgegeben Frequenzbereich. Deshalb wurde insbesondere auf verschiedene Qualitätskriterien, wie zum Beispiel die hinreichende Dokumentation bezüglich verwendeter Mess- und Simulationsmethoden, oder die Angabe etwaiger statistischer Parameter der Daten sowie deren Nachvollziehbarkeit geachtet.

2.2 BIOLOGISCHE WIRKUNGEN

Die biologischen und gesundheitlichen Wirkungen der elektromagnetischen Felder im Frequenzbereich zwischen 300 Hz und 1 MHz sollten anhand von systematisch erfassten Publikationen ermittelt und bewertet werden. Dabei sollte zwischen *in vitro*-Untersuchungen, Studien an Tieren und Humanstudien unterschieden und die Wirkungen hinsichtlich der Relevanz für das gesundheitliche Risiko des Menschen bewertet werden.

2.3 MÖGLICHE STÖRBEEINFLUSSUNG ELEKTRONISCHER IMPLANTATE

Ziel dieses Arbeitspakets war es, zu bewerten, ob aktive Implantate im Zwischenfrequenzbereich (300 Hz – 1 MHz) anfällig für elektromagnetische Interferenzen (EMI) sind. Zusätzlich wurden die Vor- und Nachteile der verschiedenen Studientypen erläutert, die genutzt werden, um EMI zu untersuchen.

3. METHODIK

3.1 IMMISSIONS- UND EXPOSITIONSDATEN

Es erfolgte eine Literaturrecherche für die Ermittlung relevanter Feldquellen, wobei für die weiterführende systematische Analyse nur jene Quellen verwendet wurden, deren spektrale Immissionsanteile eindeutig dem Frequenzbereich zwischen 300 Hz und 1 MHz zugeordnet werden konnten. So wurden typische 50 Hz Quellen nur dann in die Liste relevanter Feldquellen im Zwischenfrequenzbereich aufgenommen, wenn deren Immissionen frequenzselektiv gemessen wurden und die spektralen Anteile der Oberwellen für Frequenzen größer 300 Hz größer oder gleich 1 % des Referenzwertes für die Allgemeinbevölkerung gemäß ICNIRP 1998 waren oder wenn der resultierende Expositionsquotient größer 0,05 war. Für die gefundenen Immissionsquellen erfolgte anschließend eine Kategorisierung in eine von insgesamt elf Gruppen. Berücksichtigt wurden dabei auch etwaige synonym verwendete Begriffe für die an sich gleiche Immissionsquelle. Neben der tabellarischen Zusammenfassung der Immissions- und Expositionsdaten der einzelnen verfügbaren Literaturstellen erfolgte eine Aufschlüsselung bezüglich der Relevanz für die Allgemeinbevölkerung sowie für beruflich exponierte Personen. Außerdem wurden die Einsatzhäufigkeit sowie deren zu erwartende Tendenz für jede Quelle abgeschätzt. Hinsichtlich der Qualität der verfügbaren Daten wurde auf ausreichende Dokumentation der verwendeten Mess- und Berechnungsmethoden geachtet. Von Interesse waren unter anderem bei den Messdaten Informationen bezüglich verwendeter Messgeräte und Angaben bezüglich der Messposition sowie zur Art der Messdatenaufzeichnung (breitbandig oder frequenzselektiv). Bei den Simulationsdaten waren dies Informationen bezüglich verwendeter Lösungsalgorithmen sowie Randbedingungen und Rechengitterauflösung. Außerdem wurde auf die Angabe räumlicher und zeitlicher statistischer Parameter der verfügbaren Daten geachtet.

3.2 BIOLOGISCHE WIRKUNGEN

Die Review wurde nach den PRISMA (Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses)-Richtlinien erstellt. Die systematische Literatursuche wurde in der thematisch spezialisierten Literaturdatenbank EMF-Portal (www.emf-portal.org) durchgeführt. 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.

3.3 MÖGLICHE STÖRBEEINFLUSSUNG ELEKTRONISCHER IMPLANTATE

Mit Hilfe der PRISMA-Empfehlungen wurden Studien recherchiert und ausgewertet, die im Rahmen von *in vivo*-Studien, *in vitro*-Studien (Phantom-Studien, Benchmarktests) und Simulationsstudien EMI bei aktiven Implantaten untersucht haben.

4. DURCHFÜHRUNG

4.1 IMMISSIONS- UND EXPOSITIONSDATEN

Für die Ermittlung relevanter Quellen für die Allgemeinbevölkerung und beruflich exponierte Personen im Zwischenfrequenzbereich wurde zum einen eine Recherche im EMF-Portal und zum anderen eine weiterführende systematische Suche in Online-Datenbanken sowie nach öffentlich zugänglichen Forschungsberichten diverser Institutionen durchgeführt. Nach Kategorisierung der gefundenen Quellen inklusive Berücksichtigung von synonym verwendeten Begriffen erfolgte die tabellarische Zusammenfassung sämtlicher verfügbarer Daten, inklusive Abschätzung der Qualität, um letztlich ein abschließendes Resümee bezüglich etwaiger Kenntnislücken ziehen zu können.

4.2 BIOLOGISCHE WIRKUNGEN

Insgesamt wurden 56 Studien in die Review eingeschlossen. Davon waren drei Humanstudien, 27 Tierstudien und 26 *in vitro*-Studien. Die Studien wurden extrahiert und tabellarisch zusammengefasst. Anschließend wurde das Risiko für Bias bewertet und die Studien wurden hinsichtlich ihrer Evidenz für biologische Wirkungen und die Gesundheit diskutiert.

4.3 MÖGLICHE STÖRBEINFLUSSUNG ELEKTRONISCHER IMPLANTATE

Insgesamt erfüllten 45 Artikel die Auswahlkriterien und wurden in die Review eingeschlossen. Die Studien wurden extrahiert und tabellarisch zusammengefasst. Darüber hinaus wurden die Vor- und Nachteile der verschiedenen Studientypen diskutiert.

5. ERGEBNISSE

5.1 IMMISSIONS- UND EXPOSITIONSDATEN

Nach Durchsicht der verfügbaren wissenschaftlichen Immissions- und Expositionsdaten für den Frequenzbereich 300 Hz – 1 MHz zeigte sich ein heterogenes Bild sowohl bei der Qualität als auch der Quantität der Daten. Bei einzelnen Quellen ist die Datenlage mitunter schlecht oder aber die vorhandenen Daten lassen sich kaum oder gar nicht dem Zwischenfrequenzbereich zuordnen, da die Datenerhebung nicht frequenzselektiv erfolgte oder die Dokumentation der Ergebnisse nicht detailliert genug ist. In Kombination mit der abgeschätzten Verbreitung sowie einer, soweit durch die vorhandenen Daten möglichen Abschätzung der Exposition in der Praxis, lassen sich einzelne konkrete Quellen identifizieren, deren weitere detaillierte Analyse von besonderem Interesse erscheint. Für die Allgemeinbevölkerung sind dies insbesondere Induktionsherde, Metalldetektoren und die drahtlose Energieübertragung (siehe Abbildung 1). Bei beruflich exponierten Personen trifft dies auf die Induktionserwärmung, die Elektrochirurgie, AM-EAS¹⁾-Deaktivatoren sowie auf das Widerstandsschweißen zu (siehe Abbildung 2).

Quelle	Verbreitung	Datenlage	Exposition in der Praxis
LF-RFID	gering	mittel	BGW Überschreitung möglich
Energiesparlampen	hoch	gut	BGW Überschreitung unwahrsch.
Plasmalampen	gering	schlecht	BGW Überschreitung unwahrsch.
Induktionsherd	mittel	mittel	BGW Überschreitung möglich
Metalldetektoren	hoch	schlecht	BGW Überschreitung möglich
EM-EAS	mittel	gut	BGW Überschreitung möglich
Drahtlose E-Übertrag.	mittel	mittel	BGW Überschreitung möglich
AM-EAS	hoch	gut	BGW Überschreitung möglich

Abbildung 1: Als am meisten relevant für die Exposition der Allgemeinbevölkerung eingestufte Zwischenfrequenzquellen im Hinblick auf Verbreitung, verfügbare Datenlage der Expositionsdaten und Einschätzung der möglichen Überschreitung des Basisgrenzwertes (BGW)

5.2 BIOLOGISCHE WIRKUNGEN

Die untersuchten Endpunkte und die Qualität der Studien waren heterogen und für die meisten Endpunkte ist die Studienlage nicht ausreichend, um mögliche Wirkungen beurteilen zu können. Der größte Teil der evaluierten Studien untersuchte Magnetfelder mit Feldstärken oberhalb der ICNIRP-Referenzwerte für die Allgemeinbevölkerung. Elektrische und elektromagnetische Felder wurden kaum untersucht. Ebenso ist das Frequenzspektrum im Zwischenfrequenzbereich ungleichmäßig erforscht. Es wurde hauptsächlich der Bereich bis 100 kHz untersucht und nur sehr wenige Studien applizierten Felder zwischen 100 kHz und 1 MHz. Die Studienlage eignet sich nicht zur Verifizierung der ICNIRP-Referenzwerte, da die den Grenzwerten zu Grunde liegenden Endpunkte „Nervenreizung“ und „Erwärmung“ in keiner Studie untersucht wurden.

¹⁾ AM-EAS: akustomagnetisches elektronisches Artikelsicherungssystem
EM-EAS: elektromagnetisches elektronisches Artikelsicherungssystem

tendenziell zunehmende Exposition

Quelle	Verbreitung	Datenlage	Exposition in der Praxis
Schmiedemaschine	gering	mittel	BGW Überschreitung unwahrsch.
MRT	gering	gut	BGW Überschreitung unwahrsch.
Induktionserwärmung	mittel	schlecht	BGW Überschreitung möglich
Langwellentherapie	gering	schlecht	BGW Überschreitung unwahrsch.
AM- und NDB-Sender	gering	schlecht	?
Härten und Löten	gering	schlecht	BGW Überschreitung möglich
Ind.- und E-Stahlofen	gering	schlecht	?
Elektrochirurgie	mittel	schlecht	?
AM-EAS Deaktivator	hoch	schlecht	BGW Überschreitung möglich
Widerstandsschweißen	hoch	mittel	BGW Überschreitung möglich

Abbildung 2: Als am meisten relevant für die Exposition von beruflich exponierten Personen eingestufte Zwischenfrequenzquellen im Hinblick auf Verbreitung, verfügbare Datenlage der Expositionsdaten und Einschätzung der möglichen Überschreitung des Basisgrenzwertes (BGW)

5.3 MÖGLICHE STÖRBEEinFLUSSUNG ELEKTRONISCHER IMPLANTATE

Die evaluierten 45 Studien deuten darauf hin, dass bei aktiven Implantaten Fehlfunktionen durch einige EMF-Quellen des täglichen Lebens im Zwischenfrequenzbereich hervorgerufen werden können. EMI kann insbesondere in unmittelbarer Nähe von Sicherheitssystemen (z. B. RFID¹⁾) und Induktionsherden auftreten. Die Ergebnisse dieser Studien deuten weiter darauf hin, dass die Wahrscheinlichkeit für EMI von Expositions-bezogenen Parametern (Feldstärke, Frequenz, Modulation) und von Implantat-bezogenen Parametern (Implantat-Typ, Einstellung der Implantat-Empfindlichkeit, Sonden-Konfiguration, Implantationslage) abhängig ist. Nur wenige Studien korrelierten die identifizierten EMI mit detaillierten dosimetrischen Expositionsdaten.

5.4 ZUSAMMENFASSENDE BEWERTUNG DER WISSENSCHAFTLICHEN KENNTNISLÜCKEN

Eine solide Datenbasis im Hinblick auf die Exposition durch Immissionsquellen im Zwischenfrequenzbereich ist für eine aussagekräftige Bewertung möglicher gesundheitlicher Auswirkungen für die Allgemeinbevölkerung sowie für beruflich exponierte Personen unumgänglich. Gegenwärtig ist die Datenlage jedoch nicht in zufriedenstellendem Ausmaß vorhanden, da die Expositionsdaten nicht oder nur unzureichend frequenzselektiv erfasst wurden und eine eindeutige Zuordnung zum Zwischenfrequenzbereich daher nicht möglich ist. Systematische frequenzselektive Untersuchungen an Geräten mit großer Verbreitung sowie mit potenziell hohen Immissionen bzw. Expositionen sind daher zu empfehlen.

Bezüglich der biologischen Wirkungen besteht Forschungsbedarf an Studien, die ein breiteres Spektrum des Zwischenfrequenzbereiches abdecken, vor allem Humanstudien. Zudem sollten zukünftige Studien gezielter Bias-Risiken bezüglich des Designs, der Durchführung sowie der Dokumentation der Studie minimieren.

Die Wahrscheinlichkeit für eine Störbeeinflussung von elektronischen Implantaten ist von expositionsbedingten Parametern sowie von implantat- und sondenbezogenen Parametern abhängig. Zukünftige Studien sollten diese Faktoren systematisch berücksichtigen. Überdies sollte die Durchführung von Benchmarktests und Phantom-Studien nach internationalen Standards erfolgen. Zusätzlich sollten, sofern möglich, Worst-Case-Szenarien, wie z. B. maximale Empfindlichkeit, linkspektorale Implantation usw. berücksichtigt werden.

¹⁾ radio-frequency identification

6. UMSETZUNG DER ERGEBNISSE

Einige Anwendungen der elektromagnetischen Felder im Zwischenfrequenzbereich existieren bereits seit längerer Zeit. Auf Grund der zunehmenden Verbreitung der Elektromobilität und neuer bzw. deutlich erweiterter Anwendungen der Felder (z. B. bei der RFID) wird die Exposition der Bevölkerung durch diese Felder deutlich zunehmen. Der Bundesgesetzgeber hat der zunehmenden Bedeutung der Zwischenfrequenzen bereits Rechnung getragen und in der novellierten 26. BImSchV auch für diesen Frequenzbereich Grenzwerte festgelegt.

Das Vorhaben hat die derzeitige Datenbasis für die Risikobewertung für diese Felder ermittelt. Da für einige Gerätegruppen sowohl für die Allgemeinbevölkerung als auch für beruflich exponierte Personen gelegentlich Expositionen oberhalb der Grenzwerte bzw. der empfohlenen Referenzwerte ermittelt wurden, ist weitere Forschung sowohl hinsichtlich einer detaillierten Erhebung der Immissionen und Expositionen als auch der möglichen gesundheitlichen Wirkungen dringend erforderlich. Dabei sind auch die möglichen Auswirkungen auf elektronische Implantate zu berücksichtigen.

Die Auswertung hat gezeigt, dass ein deutlicher Mangel an qualitativ hochwertiger Forschung besteht, sowohl was die frequenzselektive Messung der Felder als auch was die Wirkungsforschung betrifft. Kritische Punkte für die Erforschung der biologischen Wirkungen sind eine geeignete Befeldung inkl. der Charakterisierung der Felder sowie das Versuchsdesign inkl. einer geeigneten Verblindung.

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 230.665,-
Forschungs- / Auftragnehmer			
Photometrik GmbH			
Projektleitung	Fachbetreuung BfS	verantwortlich für den Text	
Dr. W. Pepler	Dr. S. Lorenz / WR 4	Dr. W. Pepler	

1. ZIELSETZUNG

Mittlerweile sind starke optische Strahlenquellen teilweise mit hohem Blaulichtanteil auf dem Markt verfügbar, bei denen direkte Gefährdungen für die Augen und indirekte Gefährdungen wie Blendung möglich sind. Herstellerunabhängige Messungen liegen nur sporadisch vor. Zum Schutz der Bevölkerung ist es notwendig, herstellerunabhängige Informationen über relevante Strahlenquellen und deren Risikopotential zu gewinnen. In der Studie wurden 40 optische Strahlenquellen aus für die Allgemeinbevölkerung relevanten Produktgruppen normgerecht charakterisiert, spektral vermessen und hinsichtlich ihres Risikos im Hinblick auf direkte und indirekte Gefährdungen für das Auge mit Hilfe geeigneter Methoden beurteilt.

2. EINZELZIELSETZUNG

In einem ersten Bearbeitungsschritt wurde der vorliegende Stand von Wissenschaft und Technik für die Zwecke des Vorhabens aufgearbeitet.

Im Rahmen des Projektes waren insgesamt 40 Geräte zu vermessen:

- 10 Laserpointer
- 15 Geräte aus den Kategorien Gartenlaser, Laserspiele („Lasertags“), Nivellierlaser und Showlaser
- 15 Geräte aus den Kategorien Fahrradlampen und leistungsstarke Taschenlampen (inkl. „Laser-Taschenlampen“).

Nach Abschluss des Arbeitspakets 2 lagen Daten zur Charakterisierung und Klassifizierung der beschafften Geräte, zur Bestimmung der maximalen Expositionsdauer sowie zur Bewertung von Risiken/Gefährdungen vor. Insbesondere wurden Risiken für die Augen (photochemisch und thermisch) sowie mögliche Blendwirkungen betrachtet.

Arbeitspaket 3 umfasste die Auswertung der Messungen, die Risikobewertung der untersuchten Strahlungsquellen sowie die Erstellung des Abschlussberichts.

3. METHODIK

Als erster Schritt wurde 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 wurden dabei die Schwächen und Lücken in der Gesetzgebung herausgearbeitet und Vorschläge zur Aktualisierung auf den neuesten Stand der Wissenschaft gemacht. Neben den direkten Gefährdungen durch sichtbares Licht existiert auch eine mögliche indirekte Gefährdung über die Blendung von Personen.

Im Rahmen des Projekts sind in Abstimmung mit dem Bundesamt für Strahlenschutz insgesamt 40 Geräte für die Untersuchungen ausgewählt worden. Die Auswahl beschränkte sich dabei auf Geräte, die für den Privatgebrauch verfügbar sind und über entsprechende Kanäle vertrieben werden. Dabei wurden Geräte ausgewählt, die als besonders leistungsstark beworben wurden (beispielsweise in Fachzeitschriften) oder aber in

ihrer Gerätegruppe die höchste Leistung aufwiesen und bei denen entsprechend das meiste Gefährdungspotential zu vermuten ist.

3.1 BEWERTUNG DER PHOTOBIOLOGISCHEN SICHERHEIT INKOHÄRENTER LICHTQUELLEN

Die DIN EN 62471 in ihrer aktuellen Fassung von 2009 stellt eine Anleitung zur Untersuchung der photobiologischen Sicherheit von allen elektrisch betriebenen inkohärenten optischen Breitbandstrahlungsquellen dar (Laser explizit ausgeschlossen). Es werden standardisierte Verfahren, Grenzwerte und Klassifizierungsschemata für die Bewertung von möglichen Gefahren zur Verfügung gestellt.

Zur vollständigen Beurteilung der photobiologischen Sicherheit ist die Aufnahme der spektralen Verteilung am Punkt des Zugangs durch eine Person sowie die Messung der Bestrahlungsstärke, der Strahldichte und der Quellenausdehnung notwendig. Die gemessenen spektralen Bestrahlungsstärken E_{λ} und Strahldichten L_{λ} werden für die jeweilige physiologische Gefahr mit jeweiligen Aktionsspektren unter Berücksichtigung der entsprechenden Bedingungen gewichtet, um den Wert, der die Gefährlichkeit der Quelle charakterisiert, zu erhalten.

Die Norm definiert Grenzwerte, die auch bei wiederholter Bestrahlung zu keiner „nachteiligen Wirkung auf die Gesundheit“ führen, wobei natürlich die Grenzwerte nicht als präzise Grenzlinien zwischen sicheren und nicht sicheren Bestrahlungsniveaus betrachtet werden dürfen. Des Weiteren gelten sie für „mittlere“, nicht besonders sensitive Personen (also beispielsweise nicht für Personen unter Medikamenteneinfluss). Die DIN EN 62471 beschreibt und definiert vier Risikogruppen mit Anforderungen, die von Lichtquellen erfüllt werden müssen, um nicht in die nächst höhere Gruppe eingeordnet zu werden. Die Risikogruppen basieren dabei „auf jahrzehntelangen Anwendungserfahrungen mit Lampen sowie der Analyse von unbeabsichtigten Verletzungen in Bezug auf die optische Strahlungsemission“.

3.2 BEWERTUNG DER PHOTOBIOLOGISCHEN SICHERHEIT KOHÄRENTER LICHTQUELLEN

Die Norm IEC/EN 60825-1:2014 bzw. DIN EN 60825-1:2015-07 ist für die Sicherheit von Lasersystemen anzuwenden, die im Wellenlängenbereich von 180 nm bis 1 mm Laserstrahlung emittieren. Durch die Norm wird ein Klassifizierungssystem eingeführt, welches Lasersysteme entsprechend dem Grad der von ihnen ausgehenden Gefährdung durch optische Strahlung in unterschiedliche Laserklassen einteilt. Die Zuordnung von Lasereinrichtungen zu verschiedenen Laserklassen soll für den Benutzer die mögliche Gefährdung sofort ersichtlich machen, damit er vereinfacht abschätzen kann, welche Schutzmaßnahmen erforderlich sind. Die Klassifizierung einer Lasereinrichtung basiert auf der Strahlung, die im normalen Betrieb und bei jeglicher vernünftigerweise vorhersehbaren Fehlerbedingung an diesem Gerät emittiert wird.

Die Augengefährdung der Laserquellen hängt im Wellenlängenbereich von 400 nm bis 1 400 nm von der Winkelausdehnung α der scheinbaren Quellen ab. Zur Bestimmung des Winkels α wird die Größe der Abbildung der Laserstrahlung durch eine Augenoptik auf einer CCD-Kamera bestimmt. Die Augenoptik besitzt eine Apertur von 7 mm und eine Brennweite von 40 mm.

3.3 WEITERE MESSUNGEN

Die Messungen, die in beiden vorherigen Abschnitten vorgestellt wurden, dienen der Gefährdungsbeurteilung nach aktuellen Normen für inkohärente Lichtquellen und Laser. Zur Beurteilung der möglichen Blendung reichen die so gewonnenen Angaben nicht aus, weshalb weitere Messungen erforderlich sind, die ergänzend durchgeführt wurden. Die Fahrradlichter wurden auf die Konformität mit den technischen Anforderungen an Fahrzeuge bei der Bauartprüfung nach §22a der StVZO überprüft. Die Anforderungen an Scheinwerfer für Fahrräder sind unter Punkt 23 beschrieben. Des Weiteren wurden der Lichtstrom der Fahrradlichter und der Taschenlampen zeitlich aufgelöst in einer Ulbricht-Kugel gemessen, um die Abnahme des Lichtstroms während des Betriebs bzw. der Entladung der Batterien und Akkus zu charakterisieren und die Messungen auf den Maximalwert (Worst-Case-Betrachtung in Bezug auf die Sicherheit) zu korrigieren.

4. DURCHFÜHRUNG

4.1 STRAHLUNGSQUELLEN

Als inkohärente Lichtquellen wurden fünf LED-Hochleistungsfahradlichter ausgewählt. Bei den ersten beiden handelt es sich um Geräte, die im Internet und in Fahrradzeitschriften als besonders leistungsstark beworben wurden. Die nächsten zwei sind dagegen als explizit konform zur Straßenverkehrszulassungsordnung (StV-

ZO) ausgewiesen. Das letzte Fahrradlicht ist bei der Plattform eBay mit einem Lichtstrom von 10 000 Lumen beschrieben worden. Es gibt zwar Lichter mit einem höheren Lichtstrom, die aber durch eine größere Anzahl von LEDs, die verhältnismäßig dunkler sind, realisiert wird. Die Gruppe der LED-Taschenlampen gehört ebenfalls zu inkohärenten Quellen bestehend aus sieben Geräten, die aus Gründen der breiten Auswahl hauptsächlich im Onlinehandel bestellt wurden. Es wurde auf besonders hohe Lichtströme geachtet. Die 28 kohärenten Lichtquellen bestehen aus vier Laser-Taschenlampen, zehn Laserpointern sowie 14 Geräten mit unterschiedlichen Verwendungszwecken. Die Laser-Taschenlampen sind eine relativ neue Entwicklung, bei denen der Strahl eines grünen Lasers durch Optiken aufgeweitet wird. Die Laserpointer wurden gleichmäßig über diverse Onlinequellen beschafft. Es wurden rote, grüne und blaue Laser ins Projekt aufgenommen. Die restlichen vierzehn Geräte bestehen aus einem Laser-Projektor, diversen Show- und Gartenlasern, Messwerkzeugen, Lichttherapiegeräten sowie einem Laser-Tag-Spielset und einem Graviergerät.

4.2 INKOHÄRENTE QUELLEN

Alle im Projekt ausgewählten Fahrradlichter und konventionellen Taschenlampen sind mit LEDs ausgestattet und weisen dementsprechend charakteristische Spektren auf. Sie weisen mit Ausnahme der neutralweißen LEDs der Philips SafeRide 80 eine kaltweiße Farbtemperatur auf, wobei das günstige Online-Produkt eher als blau einzustufen ist. Die Messung der Leuchtdichte, die der Bestimmung der Strahldichte dient, wurde sofort nach dem Einschalten im stärksten Modus des Geräts durchgeführt, um die Worst-Case-Beurteilung der Gefährlichkeit der Produkte durchführen zu können. Die Auswertung der Messungen nach DIN EN 62471 hat ergeben, dass für LEDs erwartungsgemäß nur die Blaulicht- sowie die thermische Netzhautgefährdung relevant sind.

4.3 KOHÄRENTE QUELLEN

Alle vier im Projekt vermessenen Lasertaschenlampen sind nur durch die angebrachten Hinweis- und Warnschilder von normalen Taschenlampen zu unterscheiden. Die Lasertaschenlampen emittieren grünes Laserlicht mit einer Zentralwellenlänge im Wellenlängenbereich von 509 - 523 nm und einer Bandbreite der Strahlung von etwa ± 1 nm und sind in die Laserklasse 2M einzuordnen.

Es wurden darüber hinaus vier Lasermesssysteme vermessen (zwei selbstnivellierende Linienlaser und zwei Entfernungsmesser). Die Linienlaser werden typischerweise zum Projizieren von Linien in Innenräumen eingesetzt, sie emittieren eine vertikale Linie und einen horizontalen Ring. Die Bewertung der Laserleistung erfolgt im Kreuzungspunkt der beiden Linien. Die Entfernungsmesser werden zum Messen von Distanzen sowohl im Freien wie auch in Innenräumen verwendet. Die Linienlaser emittieren Laserstrahlung, welche unterhalb des Grenzwertes der zugänglichen Strahlung (GZS) für die Laserklasse 1 liegt und können der Laserklasse 1 zugeordnet werden. Die Hersteller klassifizieren die Linienlaser jedoch als Laserklasse 2, dies kann auf Grund von potentiellen Fehlerquellen der Geräte aber korrekt oder sogar notwendig sein. Die Entfernungsmesser emittieren Laserlicht unterhalb des GZS für die Laserklasse 3R und können der Laserklasse 3R zugeordnet werden. Bei den Lasersystemen der Klasse 2 und 3R müssen Warn- und Hinweisschilder auf den Geräten angebracht werden. Das Hinweisschild muss neben der Laserklasse noch Informationen über die maximale Ausgangsleistung, die Impulsdauer (falls zutreffend) und die Wellenlänge der emittierten Strahlung enthalten. Lasersysteme der Klasse 3R müssen neben den Warn- und Hinweisschildern noch eine Emissions-Warneinrichtung und eine Markierung der Laseraustrittsöffnung besitzen.

Es wurden fünf Lasersysteme vermessen, welche vornehmlich für Lichteffekte eingesetzt werden. Die beiden Systeme Laserworld GS200RG und Lunartec LaserProjektor werden für eine Projektion im Außenbereich erworben. Die Systeme emittieren je nach Betriebsmodus stehende oder bewegte rote und grüne Punktmuster. Der Ibiza Mini Laser Firefly emittiert ebenfalls bewegte Punktmuster, ist allerdings nicht für den Einsatz im Außenbereich ausgelegt. Die beiden Systeme Beamz Prospero Laser Blue und Stairville DJ Laser 400-B Blue DMX sind mit einem Laser-Scannersystem ausgestattet und können damit Formen und Muster projizieren. Die beiden Systeme Laserworld GS200RG und Lunartec LaserProjektor emittieren Laserstrahlung bei 532, 661/3 und 1 064 nm. Die Laserstrahlung überschreitet den Grenzwert der Laserklasse 2, die Systeme werden deshalb in die Laserklasse 3R eingestuft. Der Ibiza Mini Laser Firefly emittiert Laserstrahlung bei 532 nm und 663 nm, welche kombiniert den Grenzwert der Laserklasse 1 überschreitet. Das System wird deshalb in die Laserklasse 2 eingestuft. Die beiden Systeme Beamz Prospero Laser Blue und Stairville DJ Laser 400-B blue DMX emittieren Laserstrahlung welche innerhalb des Grenzwertes für die Laserklasse 3B sind. Die beiden Geräte werden in die Klasse 3B eingestuft.

Der Laserworld GS200RG ist nicht korrekt ausgezeichnet, die maximale Ausgangsleistung ist mit ≤ 1 mW angegeben, gemessen wurden maximal 4,32 mW. Der Lunartec LaserProjektor ist ebenfalls nicht korrekt aus-

gezeichnet. Deklariert ist er als Laserklasse 2, gemessen wurde Laserklasse 3R und die Ausgangsleistung ist mit maximal 3,16 mW auch größer als die angegebene ≤ 1 mW. Bei beiden Systemen ist die Wellenlänge der roten Laseremission nicht korrekt deklariert und hat eine Abweichung von 6 und 8 nm. Die emittierte Strahlung ist bei Systemen der Laserklasse 3R für das Auge gefährlich, die Systeme sollten nur dann eingesetzt werden, wenn ein direkter Blick in den Laserstrahl unwahrscheinlich ist. Auf Grund der typischen Anwendung der beiden Systeme, das Projizieren von Punktmustern außerhalb geschlossener Räume, geht eine potentielle Gefahr von den beiden Systemen aus.

Der Ibiza Mini Laser Firefly ist korrekt deklariert, die Warn- und Hinweisschilder enthalten alle geforderten Informationen. Der Ibiza Mini Laser Firefly ist in der Laserklasse 2 und bei einer kurzzeitigen Expositionszeit von 0,25 s ungefährlich für das Auge. Ein länger andauernder direkter Blick in den Strahl kann gefährlich für das Auge sein. Der Beamz Prospero Laser Blue und der Stairville DJ Laser 400-B blue DMX sind bis auf die Angabe der Laserwellenlänge korrekt ausgezeichnet. Beim Beamz fehlt die Angabe komplett, beim Stairville gibt es eine Abweichung von 8 nm. Die maximale Ausgangsleistung liegt beim Stairville innerhalb der Messunsicherheit des Leistungsmessgerätes. Beide Systeme sind in die Laserklasse 3B einzustufen und stellen selbst bei einem kurzen Blick eine Gefahr für das Auge dar. Sie sollten daher keinesfalls von Personen ohne das nötige Fachwissen verwendet werden.

Als Übersicht der auf dem Markt vorhandenen Laserpointer (LP) wurden im Rahmen des Projektes zehn Laserpointer vermessen und bewertet. Acht der Laserpointer emittieren grünes Laserlicht, die übrigen zwei Laserpointer blaue Laserstrahlung. Die beiden Laserpointer bei 405 nm und der professionelle grüne LP G2 emittieren Laserstrahlung, welche geringer als der GZS für die Laserklasse 3B sind. Die abgestrahlte Lichtleistung erfüllt damit die Bedingungen der Laserklasse 3B. Die anderen Laserpointer emittieren Laserstrahlung unterhalb des GZS für die Laserklasse 2 können entsprechend der Laserklasse 2 zugeordnet werden.

Bei den Laserpointern der Klasse 3B sind ein großer Teil der geforderten Hinweis- und Warnschilder nicht vorhanden oder fehlerhaft. Eine Emissions-Warneinrichtung hat keines der drei Systeme und einen Schlüsselschalter und Strahlabschwächer besitzt nur der bei eBay erworbene 405 LP Pen Laser 303. Eine Markierung der Strahlaustrittsöffnung haben die bei eBay erworbenen 405 LP Pen Laser 303 und 405nm LP Pen. Lasersysteme der Klasse 3B stellen selbst bei einem kurzen Blick eine Gefahr für das Auge dar und sollten keinesfalls von Personen ohne das nötige Fachwissen verwendet werden.

4.4 BLENDUNG

Durch die Blendung, die vor allem in der Dunkelheit von sehr hellen Objekten verursacht wird, wird die Sehleistung gemindert (physiologische Blendung) oder es werden stark unangenehme Empfindungen ausgelöst, die eine Person zu einer Abwendreaktion zwingen (psychologische Blendung). In beiden Fällen können dadurch Hindernisse oder beispielsweise andere Verkehrsteilnehmer nicht erkannt oder übersehen werden, was vor allem im Straßenverkehr regelmäßig zu Unfällen führt.

An einer Beispielszenarie aus dem Straßenverkehr wurden die beiden unterschiedlichen Blendungsarten, die durch die Fahrradlichter verursacht werden, bewertet. Zur Bewertung der psychologischen Blendung wurde die Formel nach Schmidt-Clausen verwendet.

Die physiologische Blendung wird hauptsächlich durch die Schleierleuchtdichte im Auge verursacht, die durch die Streuung des Lichts der Blendquelle im Auge entsteht. Das führt zur Reduzierung der Kontrastwahrnehmung, wodurch die betreffenden Objekte, die ohne Blendung sichtbar wären, nicht mehr erkannt werden. Zugleich kommt es durch die von der Blendquelle erzeugte Beleuchtungsstärke am Auge zu einer lokalen Änderung des Adaptationsniveaus, d. h. die betreffende Stelle auf der Netzhaut wird somit unempfindlicher für Kontraste. Um die entsprechende Kontrastwahrnehmung ohne Blendung wieder zu erreichen, benötigt das Auge eine Readaptationszeit.

Eine weitere Möglichkeit, sich dem Thema der physiologischen Blendung zu nähern, ist die Betrachtung der Blitzlichtblindheit, die während der Blendung einsetzt und eine Zeit lang weiter besteht. Dabei wird das Augenbild durch die Phantombilder überlagert, wodurch die Umgebung und mögliche Hindernisse nicht erkannt werden können. Bei einem Blick von einer Sekunde würde bei den beiden nicht abgeblendeten Fahrradlichtern von Sigma und Cat Eye Nachbilder mit einer Dauer von 20 Sekunden bei einer Entfernung von 15 m, einer Minute bei 10 m und ca. 100 Sekunden bei 5 m entstehen. Dabei muss natürlich berücksichtigt werden, dass ein Nachbild nicht über die gesamte Dauer und nicht im gesamten Augenbild andere Objekte unsichtbar macht.

Bei der Betrachtung der Blendung durch Laserpointer werden oft Blendattacken in der Luftfahrt als besonders kritisch gesehen, da hier mit großer Gefährdung zu rechnen ist. Entsprechende Szenarien können aber eben-

so auf den normalen Straßenverkehr übertragen werden, wenn mit Laserpointern vom Straßenrand oder einer Autobahnbrücke auf die Autofahrer gezielt wird. So wurde in den USA die Norm ANSI 136.6 verabschiedet, die auf Untersuchungen der Bundesluftfahrtbehörde FAA basiert. Dabei wurden Grenzwerte für unterschiedliche Blendeffekte festgelegt.

5. ERGEBNISSE

5.1 INKOHÄRENTE QUELLEN

Mit Ausnahme des eBay-Fahrradlichts, welches in die Risikogruppe 1 mit einem geringen Risiko einzuordnen ist, sind alle anderen Fahrradlichter der Risikogruppe 2 zuzuordnen. Dabei werden sowohl die Grenzwerte für die Blaulicht- als auch die thermische Netzhautgefährdung überschritten. Keines der Fahrradlichter hat auf den Geräten angebrachte Sicherheitshinweise vorzuweisen und nur in den Bedienungsanleitungen von Sigma Sport und Cat Eye liegen Warnhinweise vor. Eine deutliche Kennzeichnung im Sinne der DIN EN 62471 Beiblatt 1 wäre hinsichtlich der Produktsicherheit angebracht.

Alle Taschenlampen sind der Risikogruppe 2 zuzuordnen. Dabei werden sowohl die Grenzwerte für die Blaulicht- als auch die thermische Netzhautgefährdung überschritten. Außer der Taschenlampe von Zweibrüder hat keine der Taschenlampen auf den Geräten angebrachte Sicherheitshinweise vorzuweisen, wobei alle Hersteller in den Bedienungsanleitungen Warnhinweise gedruckt haben. Die günstige auf eBay gekaufte „No Name“-Taschenlampe hat weder eine Verpackung noch Bedienungsanleitung vorzuweisen.

5.2 KOHÄRENTE QUELLEN

Bei einem nicht unerheblichen Teil der getesteten Laserprodukte sind die von der Norm IEC/EN 60825-1:2014 geforderten Sicherheitshinweise unzureichend oder falsch angegeben. Bei den auf eBay gekauften No-Name-Produkten war zum Teil sofort ersichtlich, dass die Sicherheitshinweise nicht korrekt sind. Bei einem Teil der anderen Produkte lässt sich dieses nur durch eine vollständige Charakterisierung der Laseremission feststellen. Dabei schwanken die Fehler zwischen Abweichungen von wenigen Nanometern in der angegebenen Wellenlänge und einer falsch deklarierten Laserklasse. Die Angabe einer nicht korrekten Wellenlänge könnte unter Umständen zur Auswahl einer falschen Laserschutzbrille führen. Eine falsche Deklaration der Laserklasse ist schwerwiegender, da es dadurch zu Verletzungen bei der Verwendung eines vermeintlich sichereren Laserproduktes kommen kann.

Aber auch von korrekt deklarierten Lasersystemen kann eine Gefahr ausgehen. Mehrere der für den Außeneinsatz ausgelegten Laserprodukte (beispielsweise Lasertaschenlampen und Entfernungsmesser), emittieren Laserstrahlung der Klasse 1M oder 2M. Dies ist kritisch zu sehen, da Klasse 1M- und 2M-Laserprodukte bei der Betrachtung mit einem Fernglas eine potentielle Gefahr darstellen. Lasersysteme der Laserklasse 3R und 3B sind per se gefährlich für das Auge und sollten nur von geschulten Personen verwendet werden.

5.3 BLENDUNG

Zur Bewertung der Blendung durch inkohärente optische Strahlung bzw. durch Laserstrahlung im sichtbaren Spektralbereich können im Gegensatz zur Bewertung der photobiologischen Gefährdung keine technischen Normen angewandt werden, da solche derzeit nicht vorliegen.

In der vorliegenden Studie erfolgte die Bewertung der psychologischen Blendung auf der de Boer-Skala für die gemessenen LED-Fahrradlampen nach der Formel von Schmidt-Clausen, die für die Anwendung im Straßenverkehr konzipiert wurden. Dabei zeigte sich, dass LED-Fahrradlampen, die oberhalb des Lichtstärkemaximums entblendet sind und den Anforderungen der StVZO entsprechen, die geringste Blendung verursachen. Die Blendung ist dabei nur für kurze Abstände störend und ist ab ca. 20 m akzeptabel. Andererseits verursachen Hochleistungs-LED-Fahrradlampen mit einer nicht StVZO-konformen Lichtverteilung eine sehr starke Blendung. Die diesbezüglich durchgeführte Bewertung ergab eine unerträgliche psychologische Blendung für einen kurzen Abstand. Als störend wurde diese erst in ca. 70 m eingestuft und als akzeptabel empfunden erst in mehreren hundert Meter Entfernung.

Neben der psychologischen Blendung ist aber im Hinblick auf Beeinträchtigungen des Sehvermögens die sogenannte physiologische Blendung (engl.: *disability glare*) von Bedeutung, und zwar nicht zuletzt, weil außer der direkten Blendung, die beim Blick in eine Lichtquelle entstehen kann, auch sogenannte Nachbilder auftreten. Für die untersuchten fünf LED-Fahrradlampen wurde zur Beurteilung der physiologischen Blendung die

Schleierleuchtdichte im Auge nach der CIE¹⁾-Formel berechnet, da sich hiermit insbesondere die Reduzierung der Kontrastwahrnehmung im Vergleich zur Situation ohne Blendung darstellen lässt.

Die beiden entblendeten Fahrradlichter von Philips und B+M verursachen eine Schleierleuchtdichte von 0,1 cd/m² in etwa 30 m Entfernung und erreichen 3 cd/m² in 3-4 m. Die Hochleistungsleuchten dagegen müssen für eine Schleierleuchtdichte von 0,1 cd/m² ca. 300 m entfernt sein, erreichen 3 cd/m² in 50 m und überschreiten 10 cd/m² in 25 m. Dadurch stören sie auch eine viel längere Zeit, da es entsprechend lange dauert diese Strecken zu überwinden. So dauert es bei einer Geschwindigkeit von 15 km/h ca. 6 Sekunden die 25 m durchzufahren, in denen der Gegenverkehr massiv geblendet ist.

Zusätzlich zur Schleierleuchte verursachen die durch den direkten Blick in die entgegenkommende Leuchte entstehenden Nachbilder eine weitere Störung. Nach der von Reidenbach aufgestellten Formel für die Nachbilddauer verursachen die beiden entblendeten Fahrradlichter von Philips und B+M bei einer Expositionszeit keine signifikanten Nachbilder, während die beiden leistungsstarken Leuchten vor allem bei kurzen Entfernungen Nachbilder dauern im Bereich von 1,5 bis 2 Minuten verursachen können.

Diese Betrachtungen machen die Wirkung der StVZO-Regelungen deutlich und unterstreichen die Wichtigkeit, dass diese Regelungen im Straßenverkehr tatsächlich auch umgesetzt werden. Die StVZO-konformen Fahrradlichter verursachen keine störende Blendung und tragen damit zur Sicherheit im Straßenverkehr bei.

Zur Beurteilung der Blendung durch Laserpointer kann auf die Norm ANSI 136.6 aus den USA zurückgegriffen werden. Die untersuchten grünen Laserpointer, die der Laserklasse 2 zugeordnet sind, haben einen Sicherheitsabstand im Bereich von 35 m bis 91 m bezüglich der Blitzlichtblindheit und 175 m bis 408 m in Bezug auf die Blendung. Damit sind sie zwar nicht in der Lage Piloten zu blenden, sind aber im normalen Straßenverkehr nichtsdestotrotz potenziell gefährlich. Der einzige grüne Laser, der in die Laserklasse 3B fällt und eine Leistung von 68 mW emittiert, weist höhere Sicherheitsabstände von 621 m bzw. 2 781 m auf. In die gleiche Leistungsklasse fallen beide blauen, der Klasse 3B zugeordneten Laserpointer, die ebenfalls viel höhere Sicherheitsabstände aufweisen. Dabei ist der Laserpointer mit der etwas geringeren Leistung von 44 mW (gegenüber den 51 mW beim Zweiten) auf Grund der geringeren Divergenz mit 767 m (Blitzlichtblindheit) und 3 430 m (Blendung) viel gefährlicher. Der zweite blaue Laserpointer weist dagegen Abstände von 223 m und 996 m auf. Da sie, wie schon früher geschrieben, in der Lage sind auf bedeutende Entfernungen von mehreren hundert Metern Augenschäden und auf mehrere Kilometer Blendung zu bewirken, sollten wirkungsvolle Mechanismen erarbeitet werden, um Zugang zu solchen Geräten deutlich zu erschweren.

6. UMSETZUNG DER ERGEBNISSE

Dieses Vorhaben hat gezeigt, dass durchaus starke optische Strahlungsquellen auf dem Markt verfügbar sind, bei denen eine direkte und indirekte Gefährdung für die Augen möglich ist.

Die Daten und Informationen, die mit Hilfe der vorliegenden Studie gewonnen wurden, dienen der Verbesserung der fachlich fundierten Information und Beratung der Bevölkerung und mit dem Thema befasster Behörden oder Verbraucherschutzorganisationen.

Insbesondere das Thema Blendung stellte sich als relevant im Hinblick auf indirekte Gefährdungen heraus und muss zukünftig weiter verfolgt werden. Es muss zudem darauf hin gearbeitet werden, die Produktkennzeichnung für die Allgemeinbevölkerung relevanter optischer Strahlenquellen weiter zu verbessern.

Ergebnisse des Projektes wurden bereits auf dem internationalen BfS-Workshop "*LED as an upcoming new light source - safe protection against eye damage and glare*" sowie auf der Jahrestagung des Fachverbandes Strahlenschutz NIR 2018 vorgestellt und mit Experten diskutiert. Auf der Tagung Licht und Gesundheit ist 2019 ein weiterer Vortrag über das Projekt eingeplant.

Es hat sich gezeigt, dass herstellerunabhängige Untersuchungen wichtige Erkenntnisse über das tatsächliche Gefährdungspotential typischer, von der Allgemeinbevölkerung verwendeter optischer Strahlungsquellen im Hinblick auf den Strahlenschutz der Bevölkerung liefern. Zudem verbessern sie die Datenbasis speziell für weit verbreitete kohärente und inkohärente optische Strahlungsquellen.

¹⁾ International Commission on Illumination

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

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

Kennzeichen
3617S82444

Beginn
01.08.2017

Ende
31.07.2018

Fördermittel
EUR 159.639,-

Forschungs- / Auftragnehmer

FSM - Forschungsstiftung Strom und Mobilkommunikation, c/o ETH Zürich

Projektleitung
Dr. G. Dürrenberger

Fachbetreuung BfS
C. Eglomassé-Roidl / WR 5

verantwortlich für den Text
Dr. G. Dürrenberger
Dr. J. Fröhlich

1. ZIELSETZUNG

Zunehmend werden EMF-Quellen und Ultraschall emittierende Geräte zu kosmetischen Zwecken oder im Wellness-Bereich eingesetzt. Auch für private Nutzungen werden solche Anwendungen üblich. Es ist nicht immer klar, ob und allenfalls für welche Nutzergruppen gesundheitliche Gefährdungen mit diesen Anwendungen 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

Durch Auswertung verfügbarer Informationen sollte erstens ein Überblick über die relevanten Anwendungen (EMF, Plasma und Ultraschall) erstellt werden. Zweitens sollten die Anwendungen beschrieben und die Strahlungsquellen so weit wie möglich technisch charakterisiert werden. Drittens sollten Abschätzungen zur Verbreitung durchgeführt und potenzielle gesundheitliche Risiken der einzelnen Anwendungen abgeschätzt werden. Viertens sollte die Konformität der Geräte mit den relevanten gesetzlichen Regelungen und Normen qualifiziert werden.

3. METHODIK

3.1 MARKTANALYSE

Es wurde eine explorative Marktanalyse durchgeführt. Primär ging es um zwei Aspekte:

- für den Konsumenten relevante Geräte zusammenzustellen und
- hinsichtlich möglicher Nebenwirkungen relevante Gerätetypen (Geräteklassen) zu identifizieren.

Es wurden auch Kombigeräte, die verschiedene Technologien in einer Apparatur vereinen, in die Suche mit eingeschlossen. Die Recherche wurde via Internet von zwei Personen parallel durchgeführt. Abbruchkriterium war, wenn keine wesentlich neuen Erkenntnisse durch weitere Geräte einer Anwendung erwartet wurden oder sich trotz anhaltender Suche keine weiteren Treffer (bzw. Duplikate/Wiederholungen) einstellten. Das Vorgehen war iterativ, als Ausgangssuchbegriffe diente eine Liste mit Anwendungen (Therapieformen) in Deutsch und Englisch. Treffer wurden im Schneeballsystem weiter ausgelotet und die Liste so erweitert. Größere Lieferantenwebseiten wurden systematisch für alle Anwendungen (soweit vorhanden) ausgewertet.

3.2 EMPIRISCHE BEFRAGUNG

Mit einem kurzen schriftlichen Fragebogen wurden Branchen- und Konsumentenorganisationen angefragt, ob sie Kenntnisse über Nebenwirkungen der hier interessierenden Kosmetik- und Wellnessanwendungen besitzen. Insgesamt waren 41 Organisationen in den Versand eingeschlossen. 14 Fach- und Berufsverbände im Bereich Kosmetik, 6 Fach- und Berufsverbände im Bereich Fitness und Wellness, 8 Konsumentenorganisationen, 12 Prüf- und Zertifizierungsinstitutionen und eine andere. Einige Organisationen deckten sowohl den Beauty- als auch den Wellnessbereich ab. Von den Fachverbänden waren 18 in Deutschland, 9 in der Schweiz und 2 in Österreich ansässig. Von den Zertifizierungsstellen waren 10 in Deutschland und 2 in der Schweiz domiziliert. Der Rücklauf der Fragebögen war unter den Branchen-, Fach- und Berufsverbänden akzeptabel, bei den Zertifizierungsstellen schlecht. Bei Letzteren betrug die Responserate 33 % (4 Antworten), von den angeschriebenen 30 Verbänden und Fachorganisationen haben 66 % reagiert (20 Antworten). Die Adressaten wurden gemahnt, wenn eine Antwort nach der gesetzten Frist ausblieb. Der Gesamtrücklauf belief sich auf 56 %.

3.3 ANALYSE DER SOZIALEN MEDIEN

Zunächst wurden in einem Halbtages-Workshop mit einem Social-Media-Spezialisten mögliche Suchstrategien diskutiert und evaluiert. Folgende methodischen Entscheide wurden getroffen:

- Suchstrategie: breite Suche, d. h. eine grosse Anzahl Suchbegriffe auf den wichtigsten sozialen Kanälen und ausgewählten Foren / Portalen
- Zeitraum: keine zeitliche Eingrenzung
- Sprache: primär, aber nicht ausschließlich, Deutsch (daraus folgt: Berücksichtigung von deutsch-sprachigen Foren/Blogs)
- Durchführung: Dezember 2017 bis April 2018 in regelmäßigen Abständen. Um die Recherche-Ergebnisse validieren zu können, wurde, vergleichbar mit dem experimentellen Design in einem biologischen Experiment, eine Positiv-Kontrolle definiert. Dazu wurden Nebenwirkungen bei Lasertherapien (z. B. bei Tattoo-Entfernung) gewählt. Verwendete Suchmaschinen (auch plattformspezifische) waren Google (auch Google Bildersuche, Google-News, Google Alerts), duckduckgo, MetaGer, Twitter, Social Bearing, Facebook, YouTube, Instagram, Reddit, WhatsApp, Amazon, Idealo und Google Shopping. Da auf den Sozialen Medien technische und wissenschaftliche Begriffe kaum verwendet werden, wurde ein Stichwortregister aus Alltagsbegriffen definiert. Das Vorgehen dazu war iterativ. Eine erste pragmatische Auswahl wurde geprüft und auf Grund der erhaltenen Meldungen angepasst. Die deutschsprachige Suche umfasste gegen 60 Begriffe/Redewendungen.

3.4 LITERATURANALYSEN

Die relevanten Standards und Normen zu EMF, Schall und Plasma sowie zu medizinischen elektrischen Geräten wurden zusammengestellt und kommentiert. Zur Zusammenstellung wurde die Website für Normen <https://www.beuth.de> benutzt. Sodann wurde auch der Wechsel von der Medical Device Directive (MDD) zur Medical Device Regulation (MDR) zum Ende 2020 berücksichtigt. Es wurden auch die Empfehlungen der ICNIRP zum Schutz vor potenziell schädlicher EMF-Exposition dargestellt und die Grenzen dieser Empfehlungen hinsichtlich Kosmetik-, Fitness- und Wellnessprodukte thematisiert. Da für medizinische Anwendungen häufig klinische Studien vorliegen, können entsprechende Artikel Hinweise auf mögliche Nebenwirkungen, Schwellenwerte, sensible Personengruppen (demographisch, physiologisch) und personenseitige Maßnahmen (Anforderungen an den Einsatz der Geräte an Patienten) liefern. Deshalb wurde auch eine Recherche bei wissenschaftlichen Publikationen durchgeführt. Ausgangspunkte für die Recherche bildeten ca. 180 Review-Arbeiten und Paper. In einem zweiten Durchgang wurde mittels systematischer Literaturrecherche die Datenbasis vervollständigt. Gesucht wurde auf PubMed, Google Scholar und Scopus. Folgende Keywords (in verschiedenen Kombinationen) wurden dabei eingesetzt: electric stimulation, magnetic stimulation, cold atmospheric plasma, ultrasound, thresholds, safety, risk, limit, guidelines.

3.5 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 von Ärzten oder ausgebildetem Personal nur medizinisch eingesetzt wird / werden kann (sog. „off-label“ Anwendungen). Auch werden die meisten von Medizingeräten verwendeten Stimulationsverfahren (teilweise auf niedrigeren Expositionsniveaus) von Kosmetik- und Wellnessgeräten

eingesetzt. Nicht Gegenstand des Projekts (aber der Vollständigkeit halber gelistet oder zumindest erwähnt) sind einige rein medizinische Anwendungen wie RF-Ablation, Elektroporation oder 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.). Diagnostische Geräte, die Elektroden und Antennen nicht als Quelle, um Körperfunktionen zu beeinflussen, sondern als Rezeptoren, um bioelektrische Signale aufzuzeichnen, einsetzen, sind nicht in die eigentliche Analyse mit eingeschlossen - etwa das EEG, das EKG und bildgebende Verfahren wie MRI. Die Ultraschall-Diagnostik (Sonographie) ist berücksichtigt, da es bereits nicht-medizinische gewerbliche und häusliche Anwendungen gibt. Transkranielle Stimulationsverfahren, die nicht-invasiv über am Schädel befestigte Elektroden bzw. extern positionierte Spulen das Gehirn stimulieren, werden ebenfalls berücksichtigt, da es in einzelnen Ländern und auf dem Onlinemarkt entsprechende nicht-medizinische Angebote zur (postulierten) Steigerung der kognitiven Leistungsfähigkeit (sog. „*cognitive enhancement*“) gibt.

4. DURCHFÜHRUNG

Das Projekt wurde in Form von drei Arbeitspaketen (AP) durchgeführt. AP 1 umfasste die Aufarbeitung des relevanten Standes von Wissenschaft und Technik, AP 2 bezog sich auf die Recherche gesundheitlicher Risiken und AP 3 widmete sich der Zusammenfassung der Ergebnisse, der Erarbeitung von Empfehlungen und der tabellarischen Darstellung aller Projektbefunde.

5. ERGEBNISSE

5.1 GERÄTE / ANWENDUNGEN

Die Geräte (s. Tabelle 1) wurden nach 5 unterschiedlichen Stimulationsarten unterschieden: elektrische Stimulation, magnetische Stimulation, Hochfrequenzstimulation, Stimulation durch Plasma und Ionenströme sowie Schallstimulation. Die einzelnen Stimulationsarten wurden nach den wichtigsten Anwendungen unterschieden. Insgesamt wurden 25 Anwendungen unterschieden, worunter sich 7 rein medizinische befinden. Knapp die Hälfte (46 %) der recherchierten Geräte (N = 144) aus dem Kosmetik-, Fitness- und Wellnessbereich arbeitet mit elektrischer Stimulation, wobei die drei Anwendungen tDCS, EMS und TENS ca. drei Viertel der Produkte stellen. Etwa ein Viertel (26 %) aller Geräte arbeitet mit magnetischer Stimulation, wobei PEMFT-Anwendungen bei dieser Stimulationsart dominieren und über 75 % ausmachen (20 % entfallen auf TMS). Hochfrequente und Plasmastimulation machen zusammen keine 10 % der Anwendungen aus. Ein Fünftel der zusammengetragenen Kosmetik-, Fitness- und Wellnessgeräte nutzen Schall (70 % Ultraschall, 25 % Infraschall). Die untersuchte Gruppe von Geräten ist keine exotische Nische. Die Produkte sind durchaus verbreitet und - durch den Onlinehandel begünstigt - leicht erhältlich. Die elektrische Gerätesicherheit scheint über die internationalen Produktnormen durchwegs eingehalten zu sein. In der europäischen Datenbank für Produktsicherheit fand sich jedenfalls kein einziger Eintrag zu irgendwelchen Fehlfunktionen eines solchen Gerätes.

Tabelle 1: Einsatzbereiche der Anwendungen
(kursiv und unterstrichen: rein medizinische Anwendungen)

Anwendung	Einsatzbereich			
	Medizinisch	Fitness Wellness	Kosmetik	Kognition, Neuromodulation
Elektrische Stimulation				
Neuromuscular Electrostimulation (NMES)				
Elektromyostimulation (EMS)				
Transcutane Electric (Nerve-)Stimulation (TES/TENS)				
Peripheral Nerve Stimulation (PNS)				
<u>Vagus Nerve Stimulation (tVNS)</u>				
Microcurrent Electrical Neuromuscular Stimulation (MENS)				
Galvanic Therapy (GT)				
Transcranial Direct Current Stimulation (tDCS)				
Transcranial Alternative Current Stimulation (tACS)				
<u>Tumor Treating Fields (TTF)</u>				
<u>Electroconvulsive Seizure Therapy</u>				
Magnetische Stimulation				
<u>(repeated) Transcranial Magnetic Stimulation (TMS, rTMS)</u>				
Pulsed Electromagnetic Field Therapy (PEMFT)				
<u>Pulsed Signal Therapy (PST)</u>				
Hochfrequenzstimulation				
High Frequency Diathermy (HF-DT)				
<u>Radio Frequency Ablation (RFA)</u>				
<u>TheraBionic Therapy (TB)</u>				
Plasma / Ionenstrom Stimulation				
High Frequency Therapie (HFT)				
Cold Atmospheric Plasma (CAP)				
Plasma Skin Regeneration (PSR)				
Schallstimulation				
Ultrasound Therapy (UT)				
Ultrasound Diathermy (UDT)				
Ultrasound Cavitation (UC)				
Sonography (SG)				
Infrasound Therapy (IT)				

Etwas mehr als zwei Drittel (73,3 %) der häufigsten EMF-Produkte (EMS, PEMFT, TENS, tDCS, tACS, TMS) sind als Medizingeräte zugelassen, dürfen also die ICNIRP-Grenzwerte überschreiten. Bei Schall ist der Anteil geringer (20 %). Für die Gesamtheit der ausgewählten Anwendungen beträgt der Anteil Medizingeräte 61,5 %.

Viele Kosmetik- Fitness- und Wellness-Anwendungen mit EMF sind auf die physiologische Stimulation von Nerven ausgerichtet. Die induzierten elektrischen Reize liegen dann oberhalb der Schwellenwerte zur Auslösung von Nervensignalen. Das bedeutet, dass sie die von der ICNIRP definierten Grenzwerte notwendigerweise überschreiten, denn diese Grenzwerte sind so definiert, dass sie solche Stimuli verhindern. Die entsprechenden Geräte (sie machen einen substanziellen Anteil an allen erfassten Geräten aus, nämlich 54 %) müssen dann als Medizingeräte zugelassen sein. Tabelle 2 zeigt, welche Anwendungen die Grenzwerte einhalten, welche sie übersteigen können, und welche in aller Regel mit höheren Expositionen arbeiten. Unklare Situationen sind grau markiert. Neben den ICNIRP-Empfehlungen im Bereich EMF sind für eingekoppelten Ultraschall die Grenzwertempfehlungen gemäss SSK berücksichtigt.

5.2 NORMENLAGE

EMF

Alle Anwendungen die gemäß Produktsicherheit zum Markt zugelassen sind, sollten die geltenden ICNIRP-Grenzwerte erfüllen. Die Grenzwerte für die im Gewebe erzeugten elektrischen Feldstärken sind auf wenige mV/m begrenzt. Zusammen mit den Vorgaben zur Summenbildung bei Signalen mit mehreren Frequenzanteilen und der Tatsache, dass bei Frequenzen bis zu 100 kHz Momentanwerte gelten, müssen für gewisse

Stimulationen die Grenzwerte überschritten werden. Entsprechende Produkte müssen als Medizingeräte zertifiziert sein. Bislang existiert jedoch keine einfache Bewertungsgröße bzw. Messvorschrift, um die Einhaltung oder die Überschreitung der Grenzwerte durch Wellness-, Fitness oder Kosmetikgeräte zu kontrollieren. Ein standardisiertes Vorgehen mit von außen zugänglichen und deshalb experimentell überprüfbareren Größen und Vorgehensvorgaben wäre hier sinnvoll und nötig (siehe weiter unten).

Eingekoppelter Ultraschall

Die Grenzwerte basieren auf weitreichenden Untersuchungen und Studien zu Nebenwirkungen. Solange in Kosmetik- und Wellnessgeräten ähnliche technische Parameter wie bei den diagnostischen medizinischen Anwendungen verwendet werden, können die Produkte gegenüber Nebeneffekten als sicher gelten. Für Geräte, die Expositionen verwenden wie sie in therapeutischen medizinischen Anwendungen eingesetzt werden, ist dagegen Vorsicht geboten.

Infraschall

Es gibt allgemeine Grenzwerte zur erlaubten Belastung von Personen durch luftgetragene Beschallung. Es existiert keine Norm oder Vorschrift für Geräte, die Infraschallfrequenzen direkt am Körper einkoppeln.

Plasma

Es existiert noch keine Gerätenorm und auch keine Grenzwertempfehlung. Da die Anwendungen von Plasma verschiedene Aspekte beinhalten (elektromagnetische Felder, ionisierte Gase, ultraviolettes Licht, freie Radikale) gelten hier verschiedenen Vorschriften aus den jeweiligen Spezialbereichen. Inwiefern das gleichzeitige Vorhandensein der verschiedenen Agenten einer anwendungsspezifischen Regelung bedarf bleibt abzuklären.

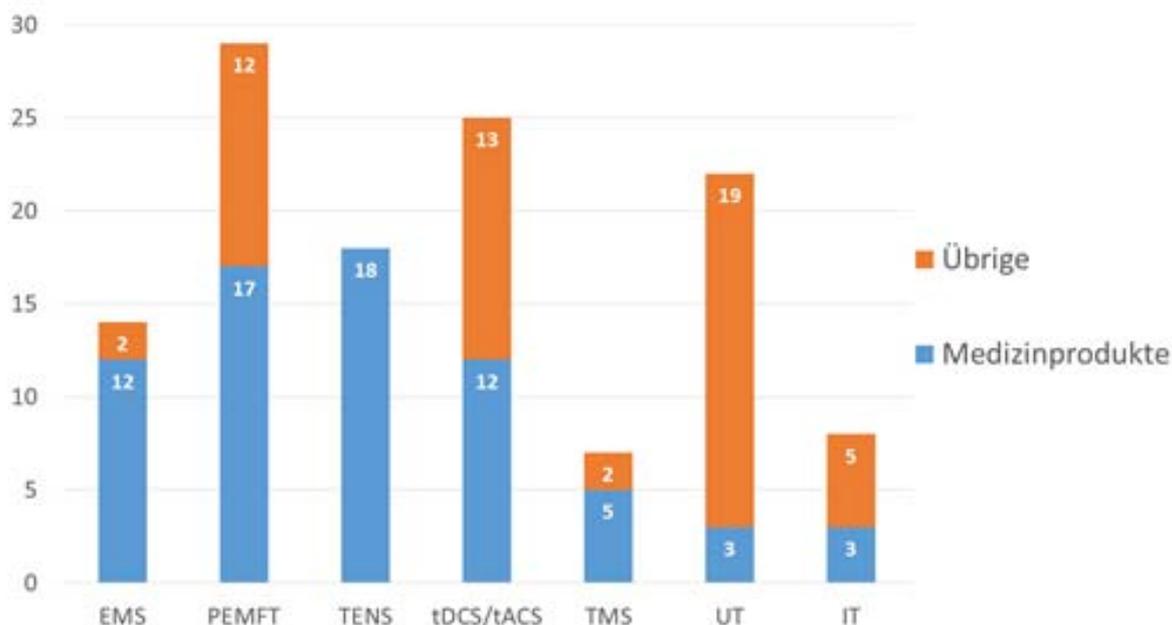


Abbildung 1: Ausgewählte Anwendungen (N = 135) nach Zulassungsart (N = 123)
 Durch Kombigeräte kommt es zu Überschneidungen und daher zu unterschiedlichen Zahlen.
 EMS = Elektromyostimulation; PEMFT = gepulste Magnetfeldstimulation; TENS = transkutane elektrische Nervenstimulation; tDCS/tACS = transkranielle Gleichstrom-/Wechselstromstimulation; TMS = transkranielle Magnetfeldstimulation; UT = Ultraschalltherapie; IT = Infraschalltherapie

Tabelle 2: Grenzwerteinhaltung der Anwendungen

Anwendung	Einhaltung Grenzwerte		
	Referenzwert	Basisgrenzwert (V/m)	Basisgrenzwert (SAR)
Elektrische Stimulation			
Neuromuscular Electrostimulation (NMES)			NA
Elektromyostimulation (EMS)			NA
Transcutane Electric (Nerve-)Stimulation (TES/TENS)			NA
Peripheral Nerve Stimulation (PNS)			NA
<u>Vagus Nerve Stimulation (tvNS)</u>			NA
Microcurrent Electrical Neuromuscular Stimulation (MENS)			NA
Galvanic Therapy (GT)			NA
Transcranial Direct Current Stimulation (tDCS)			NA
Transcranial Alternative Current Stimulation (tACS)			NA
<u>Tumor Treating Fields (TTF)</u>			NA
<u>Electroconvulsive Seizure Therapy</u>			NA
Magnetische Stimulation			
<u>(repeated) Transcranial Magnetic Stimulation (TMS, rTMS)</u>			
Pulsed Electromagnetic Field Therapy (PEMFT)			
Pulsed Signal Therapy (PST)			
Hochfrequenzstimulation			
High Frequency Diathermy (HF-DT)			
<u>Radio Frequency Ablation (RFA)</u>			
<u>TheraBionic Therapy (TB)</u>		NA	
	EMF	UV	ROS/RNS
Plasma / Ionenstrom Stimulation			
High Frequency Therapie (HFT)			
Cold Atmospheric Plasma (CAP)			
Plasma Skin Regeneration (PSR)			
	TI	MI	SP
Schallstimulation			
Ultrasound Therapy (UT)			
Ultrasound Diathermy (UDT)			
Ultrasound Cavitation (UC)			
Sonography (SG)			
Infrasound Therapy (IT)			

unterhalb
grösser möglich
i.d.R. grösser
unklar

EMF = elektromagnetische Felder; UV = Ultra-violett; ROS/RNS = Reaktive Sauerstoff/Stickstoff Spezies. TI = Zeitindex. MI = Mechanischer Index. SP = Schalldruck; NA = nicht anwendbar; SAR = Spezifische Absorptionsrate; V/m = elektrische Feldstärke im Gewebe in Volt pro Meter; kursiv und unterstrichen: rein medizinische Anwendungen

Kosmetik-, Fitness- und Wellnessanwendungen (s. Abbildung 1) arbeiten mit physiologischen Stimulationen, um Heilung, Anregung, Entspannung oder Trainingseffekte auszulösen. Solche physiologischen Stimulationen können unterschiedlich stark sein, von nicht spürbar über lästig bis zu schmerzhaft. Verwenden Geräte Stimulationen über den Grenzwerten, müssen sie als Medizingeräte zugelassen sein. Für eine Reihe von Wellness-, Fitness- und Kosmetik-Anwendungen reichen die Daten nicht für eine evidenzbasierte Zertifizierung. Dazu gehört die elektrische Stimulation peripherer Nerven (außer GT und MENS), insbesondere EMS. Hier sollten einheitliche Standards für Kosmetik-, Fitness- und Wellnessprodukte, die als Medizinprodukte zertifiziert werden, definiert werden. Die staatlich anerkannten Zertifizierungsstellen sollten für ihre Arbeit auf entsprechende Normen, Regeln oder anderweitige Vorgaben und Empfehlungen - die es auszuarbeiten gälte - zurückgreifen können. Gleiches gilt für die transkranielle Stimulation (hier auch unterhalb der Grenzwerte) zur kognitiven Leistungsverbesserung, deren Auswirkungen auf die Hirnplastizität nicht geklärt sind und vom Regulator nicht vernachlässigt werden sollten. Gefordert ist Forschung zur Bereitstellung der nötigen Datengrundlagen. Solange mögliche Risiken wissenschaftlich unklar sind, sollten diese Anwendungen als Medizinprodukte behandelt und die Akkreditierungsstellen sollten mit Empfehlungen in der Zulassung unterstützt werden. Solche Empfehlungen könnten z. B. auf nationaler Ebene von der Aufsichtsstelle DAkkS¹⁾ herausgegeben werden. Auch müsste geprüft werden, ob Geräte zur transkraniellen Stimulation, solange nicht ausreichend wissenschaftliche Daten zu Effekten vorliegen, generell nur mit Approbation erhältlich sein sollen.

¹⁾ Deutsche Akkreditierungsstelle

5.3 NEBENWIRKUNGEN

Es wurden nur wenige Informationen zu negativen Nebenwirkungen gefunden, sowohl in der Literatur als auch in den Sozialen Medien und der Befragung von Organisationen (s. Tabelle 3). Die vereinzelt kritischen Stimmen und Meldungen betreffen elektromagnetische Anwendungen, nämlich die Gewebeerwärmung mit Hochfrequenzwellen, die elektrische Muskelstimulation (bzw. EMS für schnelle Trainingseffekte) sowie die kosmetische Anwendung von kaltem Plasma zur Korrektur von Hautunschönheiten. In der wissenschaftlichen Literatur finden sich, mit Ausnahme von EMS, keine diese Nebenwirkungen bestätigenden Studien. Die Therapien werden sogar als nebenwirkungsfrei gelobt. Die Berichte scheinen aber nicht frei von Interessen zu sein und die methodische Qualität der Arbeiten ist eher schlecht. Dagegen finden sich in der Fachliteratur Warnungen für elektrische (neuro)muskuläre Stimulation, für Stimulationen mit gepulster Strahlung, für die transkraniellen Stimulationsarten sowie für Ultraschallanwendungen im nicht-medizinischen Bereich.

Bei der Elektromyostimulation wurden verschiedentlich muskelschädigende Effekte festgestellt. Vereinzelt finden sich auch Meldungen in den Massenmedien. Auf Grund der vergleichsweise hohen Stromdichten, die zur Stimulierung nötig sind und welche die Geräte, wenn sie entsprechend eingestellt sind, auch liefern können (die Werte liegen über den ICNIRP-Grenzwerten) scheinen solche Meldungen durchaus plausibel.

Ebenfalls gewarnt wird vor dem Fettabbau mit Ultraschall, der in der Anwendung expositionsseitig nur schlecht kontrolliert werden kann, obwohl die Mehrheit der Artikel die effiziente und sichere Anwendung der Methode (im ärztlichen Umfeld) hervorhebt.

Neben diesen am klarsten dokumentierten Risiken für Nebenwirkungen zeigt sich die Literatur zu den transkraniellen Methoden, zu gepulster Magnetfeldstimulation und zur Sonographie nicht einheitlich. Zu tDCS liegen auch einige kritische Medienberichte vor. Grundsätzlich steht die Forschung im Bereich der transkraniellen Stimulationen erst am Anfang. Sowohl aussagekräftige klinische Versuche als auch Langzeitstudien zu möglichen Nebenwirkungen des "cognitive enhancement" (kognitive Leistungssteigerung) fehlen weitgehend. Eine abschließende Evidenzbeurteilung ist nicht möglich.

5.4 FORSCHUNGSBEDARF

Zu einigen der aufgeführten Technologien gibt es zu wenig (robuste) Daten, die eine sichere und nebenwirkungsfreie Anwendung zeigen. Es existieren zwar Pilotstudien zur Wirksamkeit der verschiedenen Technologien, aber nur wenige systematische Untersuchungen wie randomisierte und kontrollierte Studien (RCT - *randomised controlled trial*). Für wissenschaftlich belastbare Aussagen sind solche Studien unerlässlich; für die Zulassung von Medizingeräten ebenfalls. Genau hier zeigt sich ein doppeltes Problem:

- Für das Inverkehrbringen von Wellness- und Kosmetikgeräten müssen keine wissenschaftlichen Daten vorgelegt werden. Selbst wenn die Geräte als Medizinprodukte zugelassen werden müssen, ist die Prüfung anhand solcher Daten nicht immer gegeben und vorgeschrieben. Staatlich anerkannte Zertifizierungsstellen erteilen das CE Medizin-Zeichen unter unterschiedlich rigiden Voraussetzungen.
- Es gibt für Kosmetik-, Fitness- und Wellnessgeräte keine Meldepflicht für Nebenwirkungen. Damit ist eine systematische Erfassung solcher Wirkungen kaum möglich. Die Datenbasis bleibt dünn. Das hat auch diese Arbeit bestätigt. Systematische Untersuchungen bleiben für die Risikobeurteilung zentral. In Tabelle 4 haben wir eine Priorisierung des Bedarfs an solchen Studien nach Anwendungen vorgenommen.

Ein weiterer Forschungsbedarf besteht in der Entwicklung von Werkzeugen zur systematischen Bewertung der Verträglichkeit der verschiedenen Geräte mit den gültigen Normen und Grenzwerten. Dabei sind sowohl kanonische numerische Modelle, abgeleitet von Simulationen, die auf realistischen anatomischen Modellen basieren, nötig, als auch experimentelle Systeme zur Bestimmung der relevanten Parameter dieser Modelle. Solche Schritte sind auch im Hinblick auf die Umsetzung der neuen MDR (Medical Device Regulation)-Richtlinie der EU nötig, da für eine Zertifizierung in Zukunft geeignete Tests gebraucht werden.

Tabelle 3: Evidenz von Nebeneffekten der verschiedenen Therapieformen (kursiv und unterstrichen: rein medizinische Anwendungen)

Anwendung	Dokumentierte Nebenwirkungen				Balance of Evidence
	Umfrage	Soziale Medien	Massen Medien	Literatur	Alle Hinweise
Elektrische Stimulation					
Neuromuscular Electrostimulation (NMES)					
Elektromyostimulation (EMS)					
Transcutane Electric (Nerve-)Stimulation (TES/TENS)					
Peripheral Nerve Stimulation (PNS)					
<u>Vagus Nerve Stimulation (tVNS)</u>					
Microcurrent Electrical Neuromuscular Stimulation (MENS)					
Galvanic Therapy (GT)					
Transcranial Direct Current Stimulation (tDCS)					
Transcranial Alternative Current Stimulation (tACS)					
<u>Tumor Treating Fields (TTF)</u>					
<u>Electroconvulsive Seizure Therapy</u>					
Magnetische Stimulation					
<u>(repeated) Transcranial Magnetic Stimulation (TMS, rTMS)</u>					
Pulsed Electromagnetic Field Therapy (PEMFT)					
<u>Pulsed Signal Therapy (PST)</u>					
Hochfrequenzstimulation					
High Frequency Diathermy (HF-DT)					
<u>Radio Frequency Ablation (RFA)</u>					
<u>TheraBionic Therapy (TB)</u>					
Plasma / Ionenstrom Stimulation					
High Frequency Therapie (HFT)					
Cold Atmospheric Plasma (CAP)					
Plasma Skin Regeneration (PSR)					
Schallstimulation					
Ultrasound Therapy (UT)					
Ultrasound Diathermy (UDT)					
Ultrasound Cavitation (UC)					
Sonography (SG)					
Infrasound Therapy (IT)					

viele zu beachten	hoch
vereinzelt	mittel
nichts	schwach
	kontrovers
	Abwesenheit
	keine Aussage

**Tabelle 4: Forschungsbedarf der verschiedenen Therapieformen
(kursiv und unterstrichen: rein medizinische Anwendungen)**

Anwendung	Forschung
Elektrische Stimulation	
Neuromuscular Electrostimulation (NMES)	
Elektromyostimulation (EMS)	
Transcutane Electric (Nerve-)Stimulation (TES/TENS)	
Peripheral Nerve Stimulation (PNS)	
<u>Vagus Nerve Stimulation (tvNS)</u>	
Microcurrent Electrical Neuromuscular Stimulation (MENS)	
Galvanic Therapy (GT)	
Transcranial Direct Current Stimulation (tDCS)	
Transcranial Alternative Current Stimulation (tACS)	
<u>Tumor Treating Fields (TTF)</u>	
<u>Electroconvulsive Seizure Therapy</u>	
Magnetische Stimulation	
<u>(repeated) Transcranial Magnetic Stimulation (TMS, rTMS)</u>	
Pulsed Electromagnetic Field Therapy (PEMFT)	
<u>Pulsed Signal Therapy (PST)</u>	
Hochfrequenzstimulation	
High Frequency Diathermy (HF-DT)	
<u>Radio Frequency Ablation (RFA)</u>	
<u>TheraBionic Therapy (TB)</u>	
Plasma / Ionenstrom Stimulation	
High Frequency Therapie (HFT)	
Cold Atmospheric Plasma (CAP)	
Plasma Skin Regeneration (PSR)	
Schallstimulation	
Ultrasound Therapy (UT)	
Ultrasound Diathermy (UDT)	
Ultrasound Cavitation (UC)	
Sonography (SG)	
Infrasound Therapy (IT)	

gross
mittel
kein

6. UMSETZUNG DER ERGEBNISSE

Kürzlich wurde vom BMU der Entwurf der „Verordnung zum Schutz vor schädlichen Wirkungen nichtionisierender Strahlung bei der Anwendung am Menschen“ erarbeitet, die Zwischenergebnisse des Forschungsvorhabens wurden hier bereits vorab berücksichtigt. Die Verordnung wurde am 19.10.2018 vom Bundesrat verabschiedet und tritt Ende 2020 in Kraft.

Die Ergebnisse wurden ebenfalls der AG627 „Anwendung von EMF zu nichtmedizinischen Zwecken am Menschen“ des Ausschusses A6 „Nichtionisierende Strahlen“ der Strahlenschutzkommission (SSK) zur Verfügung gestellt. Der Entwurf einer entsprechenden Empfehlung der SSK wurde am 15.11. 2018 im A6 angenommen und am 13.12.2018 in der SSK diskutiert, es besteht aber noch Überarbeitungsbedarf.

In Tabelle 4 kann der notwendige Forschungsbedarf ersehen werden. Der Bedarf wird damit begründet, dass es bei nachlässiger Anwendung zu nicht beabsichtigten Nebenwirkungen kommen kann, die durchaus ernsterer Natur sein können.

STATUSBERICHTE

der vom BfS begleiteten Strahlenschutz-Forschungsvorhaben des BMU

STATUS REPORTS

of BfS supported BMU radiation protection research projects

Themenbereich 01

Natürliche Strahlenexposition

Subject area 01

Natural radiation exposure

Thema

Fortentwicklung von Programmen und Codes zur Modellierungen des Verhaltens von Radon am Arbeitsplatz und Validierung der Codeanpassung

Subject

Code development and validation in order to model the radon distribution at workplaces

Kennzeichen
3618S12362

Beginn
01.07.2018

Ende
01.10.2020

Fördermittel
EUR 294.749,-

Forschungs- / Auftragnehmer

Gesellschaft für Anlagen- und Reaktorsicherheit gGmbH, Berlin

Projektleitung
Dr. A. Filby

Fachbetreuung BfS
Dr. B. Hoffmann / UR2

verantwortlich für den Text
Dr. A. Filby

1. ZIELSETZUNG

Übergeordnetes Ziel des Vorhabens ist die Bereitstellung eines Simulationsprogramms zur Modellierung des Radon-Transports am Arbeitsplatz nach Stand von Wissenschaft und Technik. Komplexe Transportvorgänge, wie sie im Rahmen einer Entwicklung von Modellsimulationen für den Transport von Radon bzw. Radon-Zerfallsprodukten in Arbeitsräumen mit entsprechender Ausbreitungsdynamik zu erwarten sind, sollen mittels des GRS-Codes COCOSYS simuliert und bewertet werden.

2. EINZELZIELSETZUNG

Das Vorhaben gliedert sich in mehrere Arbeitspakete (AP 1 bis AP 7), und zwar

- Erstellung und Anwendung von Radon-Ausbreitungsmodellen (AP 1)
 - Generisches Ausbreitungsmodell (AP 1.1)
 - Erstellung eines COCOSYS-Datensatzes (AP 1.2)
 - Modellanwendung und Ergebnisvergleich (AP 1.3)
- Adaption von COCOSYS zur Simulation von Radon-Ausbreitungsvorgängen (AP 2)
- Messung und Datenerhebung (AP 3)
 - Identifikation geeigneter Gebäude mit Arbeitsplätzen (AP 3.1)
 - Planung der Instrumentierung und der Messungen (AP 3.2)
 - Durchführung von Detailuntersuchungen und kontinuierlichen Messungen (AP 3.3)
- COCOSYS-Validierung anhand erhobener Messwerte (AP 4)
- Ableitung von Maßnahmen und Handlungsempfehlungen (AP 5)
- Verfolgung und Auswertung des internationalen Standes von Wissenschaft und Technik (AP 6).

3. METHODIK

3.1 ERSTELLUNG UND ANWENDUNG VON RADON-AUSBREITUNGSMODELLEN (AP 1)

Zunächst wurde in AP 1.1 ein einfaches generisches Modell für die Modellierung des Radontransports infolge von Transportprozessen an Arbeitsplätzen entwickelt. Die grundlegenden abzubildenden Transportphänomene (z. B. Zutritt vom Untergrund) wurden ebenso wie die relevanten Prozesse und Eigenschaften der Radon-Ausbreitung in Gebäuden zusammengestellt und im Modell implementiert.

Mittels des GRS-Codes COCOSYS werden die im generischen Modell nicht berücksichtigten transportrelevanten Einflussparameter simuliert. Für die Modellierung der Radonausbreitung mit COCOSYS wurde ein entsprechender generischer Datensatz erstellt (AP 1.2). Mittels dieses Datensatzes wird die Radonausbreitung bzw. -verteilung unter Berücksichtigung von beispielsweise Druck, Temperatur und Luftfeuchte berech-

net und mit den Ergebnissen des generischen Modells (AP 1.1) verglichen. Aus diesem Vergleich werden notwendige Ergänzungen und/oder Anpassungen von COCOSYS abgeleitet (AP 1.3).

3.2 ADAPTION VON COCOSYS ZUR SIMULATION VON RADON-AUSBREITUNGSVORGÄNGEN (AP 2)

Basierend auf den in AP 1 erhaltenen Ergebnissen wird geklärt, welche Phänomene zu betrachten sind, welche Modelle von COCOSYS für die Simulation der Radon-Ausbreitung in Arbeitsräumen genutzt werden können und welche Anpassungen im Code erforderlich sind.

3.3 MESSUNG UND DATENERHEBUNG (AP 3)

Zunächst erfolgt die Identifikation adäquater zu instrumentierender Gebäude. Im nächsten Schritt erfolgt die Detailplanung der standortspezifischen Instrumentierung, die Abstimmung und Initialisierung der durchzuführenden Messungen ebenso wie die Formulierung von Rahmenbedingungen und Anforderungen an die Durchführung und Instrumentierung der Messungen.

3.4 COCOSYS-VALIDIERUNG ANHAND ERHOBENER MESSWERTE (AP 4)

In diesem AP soll mittels der im Vorhaben erhobenen Messdaten nach der Anpassung eine Validierung von COCOSYS für die Simulation von Radon-Ausbreitungsprozessen vorgenommen werden.

3.5 ABLEITUNG VON MAßNAHMEN UND HANDLUNGSEMPFEHLUNGEN (AP 5)

Durch die Weiterentwicklung von COCOSYS werden bislang nicht erschlossene Informationen zum Verhalten von Radon in Gebäuden verfügbar gemacht. Diese werden genutzt, um passive sowie aktive Maßnahmen zur Reduzierung der Radonkonzentration abzuleiten.

3.6 VERFOLGUNG UND AUSWERTUNG DES INTERNATIONALEN STANDES VON WISSENSCHAFT UND TECHNIK (AP 6)

In diesem AP wird der Stand von Wissenschaft und Technik im Zusammenhang mit dem Forschungsvorhaben verfolgt.

4. DURCHFÜHRUNG

4.1 ERSTELLUNG UND ANWENDUNG VON RADON-AUSBREITUNGSMODELLEN (AP 1)

Im Rahmen von AP 1.1 wurde ein generisches Modell zur Abschätzung der Radon-Konzentration in Räumen erstellt. Weiterhin wurden bei einem Treffen mit Dr. Thomas Haumann (Geschäftsführer eines Sachverständigenbüros für Umweltanalytik und Baubiologie) von dem genannten Büro ermittelte relevante Messdaten (z. B. Radon-Quellstärken und -Konzentrationen und Luftwechselraten) eingeholt. Diese Daten wurden in mehreren Einfamilienhäusern ermittelt und die entsprechenden Datensätze wurden den COCOSYS-Experten zur Prüfung und Verwendung übergeben. Weiterhin wurde im ersten Schritt das generische Modell auf die genannten Daten angewendet, um eine Vergleichsbasis für die Berechnungen mit COCOSYS zu schaffen.

Für AP 1.2 wurde mit der Erstellung eines einfachen COCOSYS-Modells mit 3 Raumzonen begonnen. Dieses Modell soll auf zwei im Rahmen von AP 1.1 ermittelte Einfamilienhäuser angewendet werden.

4.2 ADAPTION VON COCOSYS ZUR SIMULATION VON RADON-AUSBREITUNGSVORGÄNGEN (AP 2)

Aus ersten Tests wurde bereits ersichtlich, dass die geringen Radon-Massen nicht direkt in COCOSYS simuliert werden können. Dies betrifft z. B. sehr kleine Werte in den Massenbilanzen der Kontrollzonen. Hier erscheint eine interne Hoch-Skalierung als bessere Möglichkeit anstatt die zum Teil fest im Programm implementierten Abbruchkriterien zu modifizieren, was zu einer Sonderversion von COCOSYS führen würde.

4.3 MESSUNG UND DATENERHEBUNG (AP 3)

Im Rahmen von AP 3.1 wurden drei Messobjekte identifiziert. Dabei handelt es sich um zwei Immobilien (Einfamilienhäuser und gleichzeitig Arbeitsplätze) in der Nähe von Dresden mit jeweils bereits belegt hohen Akti-

vitätskonzentrationen von mehreren kBq/m³ und weiterhin das Wasserwerk Beelitzhof der Berliner Wasserbetriebe.

5. ERGEBNISSE

Als erstes Ergebnis konnte ein generisches Modell für die Modellierung des Radontransports und zur Ableitung von Quellstärken und Luftwechselraten erstellt werden. Weiterhin wurden drei Messobjekte mit ausreichend hohen Radonkonzentrationen identifiziert (zwei Einfamilienhäuser und ein Wasserwerk).

6. GEPLANTE WEITERARBEIT

In einem der identifizierten Messobjekte (Einfamilienhaus) wird eine erste Testmessung und eine Langzeitmessung durchgeführt werden (AP 3). Mit Hilfe des ermittelten generischen Modells sollen weiterhin Quellstärken und Luftwechselraten aus den Messdaten gewonnen werden. Die Messdaten und daraus ermittelten weiterführenden Daten werden dann den COCOSYS-Experten für deren weitere Bearbeitung übergeben.

Weiterhin sind Arbeiten im Rahmen von AP 2 geplant. Basierend auf den dabei gewonnenen Erkenntnissen soll eine weitere Messkampagne im bereits bekannten Einfamilienhaus durchgeführt werden (evtl. mit einer anderen Messkonfiguration). Weiterhin sollen Messungen im o. g. Wasserwerk durchgeführt werden.

Die Arbeiten des AP 4 werden wie vorgesehen auf den Ergebnissen des AP 1 und 2 aufbauen und als Ergebnis des AP 3 aufgenommen.

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 / UR 3	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 GESAMTSYSTEMS (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 mittels 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 ENTWURF UND AUSARBEITUNG DES KONZIPIERTEN PROBENENTNAHMESYSTEMS

Das System beruht auf folgendem Prinzip: Über eine Düse wird Umgebungsluft außerhalb des Helikopters eingesaugt und über ein Filterband geleitet, auf dem die Aerosole für festgelegte Zeiträume abgeschieden werden. Das Filterband wird im Zeittakt weitergefahren, so dass die abgeschiedenen Aerosole gammaspektrometrisch und bezüglich Beta- und Alpha-Gesamtaktivität gemessen werden können. Zusätzlich wird das durchströmende Gas hinter dem Filter bezüglich gasförmiger radioaktiver Stoffe gemessen.

Der Entwurf und die Ausarbeitung des Probenentnahmesystems wurden im Berichtszeitraum abgeschlossen. Zur Entwicklung dieses Systems wurden alle Randbedingungen, die für die Konstruktion des Probenentnahmesystems notwendig sind, definiert. Eine zentrale Definition des Systems ist der Massendurchfluss, über den die Auslegung der isokinetischen Probenentnahme durchgeführt wurde. Um eine minimale Partikelabscheidung in den Leitungen zwischen der Einlassgeometrie und dem Messgerät erzielen zu können, wurde die Probenentnahmeleitung so ausgelegt, dass die Strömungsgeschwindigkeit in den Leitungen möglichst gering ausgeführt ist. Mit der Definition des maximalen Massendurchflusses durch das Messgerät konnte der maximal zulässige Druckverlust über die Leitungen im Messsystem definiert werden. Dadurch konnte der minimal zulässige Rohrquerschnitt festgelegt werden. Auf Basis dieses Querschnittes konnte die zu erwartende Artikelabscheidung in der Rohrleitung berechnet werden.

Neben dem Massendurchfluss wurden sowohl das maximale Gewicht als auch die maximale Abmessung des Messgerätes definiert. Ebenso wurden die zu messenden und zu bewertenden Radionuklide festgelegt. Für einen reibungslosen Ablauf des Gesamtprojekts wurden in diesem Arbeitspaket die Schnittstellen zwischen den jeweiligen Projektpartnern sowie deren Verantwortlichkeiten definiert.

4.2 KONSTRUKTION DES GESAMTSYSTEMS

Im Berichtszeitraum wurde mit der Konzeptionsphase des Gesamtsystems begonnen, das als modulares System entwickelt wurde. Hintergrund dieser Auslegung ist es, einen möglichst einfachen Ein- und Ausbau des Messgeräts im Hubschrauber zu ermöglichen. Durch diesen Aufbau ist es möglich, dass die Einzelkomponenten ein niedriges Gewicht aufweisen und so das Handling des Messgerätes deutlich vereinfacht wird.

Insgesamt besteht das Messsystem aus den drei Modulen Probenentnahme, Verbindungsleitung und Messeinrichtung. Die Messeinrichtung ist zusätzlich in die Unterdruckerzeugung und die Filtereinrichtung unterteilt.

Im Berichtszeitraum wurden die Verbindungsleitung, die Probenentnahme und die Vakuumerzeugung ausgelegt und konstruiert. Neben der hardwareseitigen Entwicklung wurde ein Konzept für die Datenstruktur und die Datenspeicherung sowie die Messdatenerfassung entwickelt. Weiterhin wurde die komplette Auslegung seitens der elektrischen Versorgung des Messsystems erarbeitet, ein erster Prototyp des Detektors zur Aktivitätsbestimmung entwickelt und mit der Charakterisierung des Detektorsystems begonnen. Neben der Detektorentwicklung wurden die Filtereinrichtung und die Anordnung der jeweiligen Detektoren festgelegt.

5. ERGEBNISSE

5.1 KONSTRUKTION DES GESAMTSYSTEMS

Das Konzept der Vakuumerzeugung wurde in einer Konstruktion umgesetzt. Hierzu wurden die für die Steuerung und Regelung benötigten Sensoren ausgewählt. Um die jeweiligen Sensoren ansteuern zu können, wurde die Anzahl an benötigten Signalmodulen bestimmt und ein System zur Ansteuerung der Sensoren ausgewählt.

Ebenso wurde die Probenentnahme anhand des ausgearbeiteten Entwurfes konstruiert. Zurzeit ist geplant, dieses Bauteil aus Faserverbundwerkstoffen aus Carbon herstellen zu lassen. Der Werkstoff hat den Vorteil, dass er deutlich leichter ist als metallische Werkstoffe. Zusätzlich kann das Bauteil so ausgelegt werden, dass es eine hohe Steifigkeit gegenüber dynamischen Belastungen aufweist. Mit geeigneten Zusatzstoffen im Kunststoff ist ein elektrisch leitfähiges Bauteil herstellbar.

Für die Konstruktion des Gesamtsystems ist die strömungstechnische Auslegung von entscheidender Bedeutung. Hier wurden die Druckverluste der jeweiligen Bauteile und die sich aus der Strömungsführung ergebenden Druckverluste berechnet. Mit dem berechneten Druckverlust konnte das Gebläse als zentrales Bauteil innerhalb der Vakuumerzeugung ausgelegt werden.

Mit der Programmierung der Datenstruktur und -erfassung sowie der Datenaufbereitung wurde begonnen. Erste Skripte zum Aufbau eines Netzwerks und der Einrichtung der jeweiligen Rechner sind fertiggestellt worden.

Entgegen der ersten energetischen Auslegung wird das System nach Absprachen mit der Fliegerstaffel nicht mehr autark über einen Akkumulator, sondern direkt über das Bordnetz versorgt. Jedoch wird in der Messeinrichtung eine kleine Batterie vorhanden sein müssen, damit am Messgerät nach dem Einbau erste Funktionstests und Kalibrierungen durchgeführt werden können, ohne dass das System über das Bordnetz versorgt werden muss.

Es wurde ein Gammadetektor entwickelt und ein erster Prototyp erstellt. Als Detektormaterial wird CsI(Tl) eingesetzt, das gegenüber bspw. NaI eine bessere Energieauflösung und geringere Hygroskopie aufweist. Anstelle eines Photomultipliers kommen hochempfindliche Photodioden zur Anwendung, wodurch Masse, Volumen und Stromverbrauch noch einmal sinken.

Zur Entwicklung gehörten auch die Auslegung des Filters und der zugehörigen Antriebskomponenten für das Filterband, auf dem die Aerosole abgeschieden werden, sowie deren Ansteuerung. Ebenso wurde ein geeigneter Filter ausgewählt und der Antrieb entwickelt.

6. GEPLANTE WEITERARBEIT

Nach Absprache mit dem für die luftfahrttechnische Zulassung zuständigen „EASA PART 21 Entwicklungsbetrieb“ und der Überprüfung der bereits erstellten Konstruktionen kann mit der Fertigung und Beschaffung der jeweiligen Komponenten begonnen werden. Im weiteren Verlauf werden die jeweiligen Sensoren und Ein-

platinencomputer beschafft. Die relevanten Programmierarbeiten werden anschließend auf diesen Einplatinencomputern umgesetzt und die Funktion wird mit den jeweiligen Komponenten getestet.

Die Effizienzkennlinien der Detektoren zur Bestimmung der Aktivität sind noch zu bestimmen. Ebenso ist eine Zusammenführung der Arbeiten in Bezug auf die Filtereinrichtung und der anderen Module durchzuführen, bevor die Kalibrierung des Gesamtsystems durchgeführt werden kann.

Themenbereich 03

**Strahlenbiologie - Wirkung von ionisierender und nichtionisierender Strahlung,
Strahlenempfindlichkeit**

Subject area 03

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

Thema

Leukämie im Kindesalter - Aufbau, Stabilisierung und ggf. Erweiterung eines internationalen Netzwerkes zur Ursachenforschung von Leukämien im Kindesalter; Erkenntnisgewinn durch internationale Vergleichsstudien

Subject

Childhood leukaemia - establishment, consolidation and possible extension of an international network for the study of causes of childhood leukaemia; Comparisons of international studies

Kennzeichen
3614S30041

Beginn
01.09.2018

Ende
31.08.2019

Fördermittel
EUR 51.980,-

Forschungs- / Auftragnehmer

International Agency for Research on Cancer (IARC), Lyon, France

Projektleitung
Dr. J. Schüz

Fachbetreuung BfS
Dr. G. Ziegelberger / WR 5

verantwortlich für den Text
Dr. J. Schüz

1. ZIELSETZUNG

Im Juli 2010, auf einem wissenschaftlichen Meeting initiiert vom Bundesamt für Strahlenschutz (BfS), entwickelte eine Expertengruppe aus Epidemiologen und Klinikern einen Forschungsplan zur Verbesserung der internationalen Zusammenarbeit zur Häufigkeit, Ätiologie, Diagnostik und Therapie von akuten lymphoblastischen Leukämien (ALL), vornehmlich im Kindesalter. Mit dem Ziel einer globalen Einbeziehung von Experten bei gleichzeitig überschaubarer Gruppengröße wurde das Netzwerk GALnet („Global Acute Leukaemia network“) gegründet, koordiniert von der International Agency for Research on Cancer (IARC) in Lyon, der Krebsforschungseinrichtung der WHO. In GALnet sind etwa 3-5 Länder pro Kontinent vertreten, in der Regel durch entweder die größte pädiatrische Onkologie ihres Landes oder durch ein länderspezifisches Netzwerk pädiatrischer Onkologien, falls verfügbar.

Die Förderung von GALnet erfolgte initial durch das BfS („Untersuchungen zum Zusammenwirken umweltbedingter Risikofaktoren mit genetischen und weiteren endogenen Faktoren bei der Entstehung von Leukämie im Kindesalter, Teilvorhaben 4: Pilotstudie zum Vergleich der Inzidenz von Leukämie im Kindesalter in verschiedenen Ländern“ (3611S70028)) sowie das Ministerium für Gesundheit der Türkei, mit der Etablierung des Netzwerkes zwischen 2012 und 2013. Das hier näher ausgeführte Projekt ist eine Fortführung von GALnet.

Die in GALnet vertretenen Länder sind:

- Europa: Dänemark, Deutschland, Groß-Britannien, Russische Föderation
- Asien/Mittlerer Osten: China, Indien (2 Zentren, Nord und Süd), Japan, Jordanien, Südkorea, Türkei
- Amerika: Argentinien, Brasilien, USA
- Afrika: Ägypten, Ghana, Kenia, Nigeria, Uganda, Südafrika.

2. EINZELZIELSETZUNG

Für die Fortführung unter dem Titel „Leukämie im Kindesalter - Aufbau, Stabilisierung und ggf. Erweiterung eines internationalen Netzwerkes zur Ursachenforschung von Leukämien im Kindesalter; Erkenntnisgewinn durch internationale Vergleichsstudien“ sind die folgenden Einzelzielsetzungen definiert.

2.1 GLOBALES VORKOMMEN VON ALL

Es ist nicht klar, inwieweit die in den Krebsregistern beobachtete Inzidenz von ALL die tatsächliche globale Inzidenz widerspiegelt. Die von der IARC publizierten Daten zur Kinderkrebs-Inzidenz aus bestehenden Registern zeigen große geographische Unterschiede insofern, als dass ALL in Industrieländern häufiger ist als in weniger entwickelten Ländern. Gründe hierfür sind aber möglicherweise nicht ausschließlich wahre Unterschiede in der Inzidenz oder Untererfassung der Register, sondern vor allem, dass nicht alle ALL-Fälle diagnostiziert und in Behandlungszentren vorstellig werden. Diese Beobachtung wurde vor allem in Afrika und Asien gemacht. Dies hätte Auswirkungen auf Hypothesen zur Ätiologie, von denen viele auf der Annahme beru-

hen, dass es gravierende geographische Unterschiede in der Inzidenz gibt, die allein Risikofaktoren geschuldet sind.

GALnet wird in diesem Projekt ein Special Issue in der Zeitschrift Cancer Epidemiology vorantreiben, wo mit mehreren Artikeln die Situation in den verschiedenen Kontinenten im Detail beschrieben wird. Artikel sind geplant für die Situation in Afrika, in Latein-Amerika, in Indien, in den Staaten der früheren Sowjetunion und für Industrieländer (Westeuropa und USA). Weiterhin wird ein alternativer statistischer Ansatz zur Berechnung von Inzidenzraten verfolgt, der das Potenzial der Unter-Diagnostik berücksichtigt. Dies wird global angewendet und ebenfalls publiziert.

2.2 SCHAFFUNG EINER GALNET KOMMUNIKATIONSPLATTFORM

Hier wird die bestehende Webseite <http://galnet.iarc.fr> um einen geschützten Bereich erweitert, den GALnet-Zentren zum Informationsaustausch nutzen können, auch z. B. was spezielle therapeutische Fragen angeht.

2.3 ÜBERSICHT ZU STRAHLENEXPOSITIONEN VON KINDERN

Mit dieser Einzelzielsetzung soll eine Review erstellt werden, in dem Informationen zu typischen Strahlenexpositionen von Kindern gesammelt und geographisch aufbereitet werden. Ionisierende Strahlung ist einer der wenigen gesicherten Risikofaktoren für ALL. Potenzielle Expositionen sind natürliche Hintergrundstrahlung, Radon und medizinische Anwendungen. Ob nicht-ionisierende Strahlung und hier insbesondere Magnetfelder im Niederfrequenzbereich (50 Hz, wie z. B. von Hochspannungsleitungen oder elektrischen Geräten ausgehend) das ALL-Risiko erhöhen ist wissenschaftlich nicht geklärt. Um einen Überblick über Expositionen zu erhalten sollen publizierte Daten wie z. B. von UNSCEAR, IAEA, WHO etc. zusammen getragen werden.

3. METHODIK

Methodische Aspekte betreffen vor allem die alternative Inzidenzschätzung, die unter 2.1 aufgelistet wurde. Hier werden erwartete Fallzahlen berechnet (nicht nur für ALL sondern für alle Formen von Kinderkrebs) auf Basis der Populationsdaten der Länder und der Inzidenzraten aus dem amerikanischen SEER¹⁾-Programm und der beobachteten Fallzahlen der bei der IARC vereinten Kinderkrebsregister gegenübergestellt.

4. DURCHFÜHRUNG

Die Autorengruppen für die verschiedenen Arbeiten wurden zusammengestellt und die Autoren offiziell im März von Cancer Epidemiology eingeladen. Die Berechnungen der Inzidenzen werden aktuell durchgeführt.

5. ERGEBNISSE

Ergebnisse liegen noch nicht vor.

6. GEPLANTE WEITERARBEIT

Die Weiterarbeit erfolgt plangemäß.

¹⁾ state education and environment roundtable

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, Oberschleißheim

Projektleitung
Dr. S. Moertl

Fachbetreuung BfS
Dr. S. Hornhardt / WR 1

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

Die Berichte zu AP 1, 2, 3 und 4 wurden erstellt.

5.1 CHARAKTERISIERUNG DER OBERFLÄCHENPROTEINE VON EXOSOMEN (AP 3)

In diesem Arbeitspaket wurde die Expression exosomaler Oberflächenproteine mittels Antikörpernachweis und Durchflusszytometrie ermittelt. Die Ergebnisse zeigen, dass ionisierende Strahlung in der Lage ist, die Proteinbeladung an der Exosomenoberfläche zu beeinflussen. Ein Vergleich der Regulation bei den verschiedenen Dosen ergab meist nur geringe Veränderungen bei 0,1 Gy, erst die Dosen von 2 und 6 Gy führten zu deutlichen Variationen. Ein Vergleich mit den mittels Massenspektrometrie ermittelten Proteinveränderungen zeigte die Korrelation der beiden Versuchsansätze. Sowohl die basale Proteinexpression als auch der Grad der Regulation ist aus den relativen Änderungen der mittleren Fluoreszenz ersichtlich. Aus methodischer Sicht zeigt dieser Vergleich, dass die durchflusszytometrische Analyse von Exosomen eine schnelle, wenig materialaufwändige Alternative zu Massenspektrometrie oder Western Blot für die Quantifizierung von Oberflächenproteinen darstellt. Welche Auswirkungen Oberflächenveränderungen auf die Funktion von Exosomen haben, ist eine wichtige zukünftige Fragestellung.

5.2 BESTIMMUNG VON MICRORNAS AUS EXOSOMEN (AP 4)

Die Analyse exosomaler miRNAs zeigt, dass ionisierende Strahlung Veränderungen in der microRNA-Zusammensetzung von Exosomen aus verschiedenen gesunden Spenderzellen induziert. Diese Veränderungen sind überwiegend zelltypspezifisch und keine einzige microRNA wurde in allen Zelltypen als strahlenreguliert gefunden. Interessanterweise konnte für einige microRNAs eine dosisabhängige Regulation gefunden werden, was diese als Kandidaten in der Biodosimetrie nahelegt.

5.3 BESTIMMUNG VON MICRORNAS UND AUSGEWÄHLTEN PROTEINEN IN EXOSOMEN VON RADIOTHERAPIEPATIENTEN (AP 5)

In den untersuchten In-vitro-Systemen wurden sowohl strahlenregulierte exosomale Proteine als auch microRNAs identifiziert. Ausgewählte Kandidatenproteine und microRNAs werden nun in AP 5 in Patientenproben validiert. Hierfür wird ein Patientenkollektiv von 30 Brustkrebspatientinnen bearbeitet. Die Isolierung und Qualitätskontrolle der Exosomen ist abgeschlossen.

6. GEPLANTE WEITERARBEIT

Die exosomalen Proteine und microRNAs in Exosomen aus Plasmaproben von Strahlentherapiepatientinnen (AP 5) werden quantifiziert.

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 / WR 1	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 Tumorsphärenassay überprüft, ob die Strahlenresistenz gleichermaßen bei dicht und dünn ionisierender Strahlung besteht. Weiterhin sollen geeignete Tumorstammzellmarker identifiziert und deren Expression nach Bestrahlung analysiert sowie die Zellzyklusverteilung, DNA-Reparatur, Zytogenetik und Genexpression der Gliomstammzelllinien näher untersucht werden.

2. EINZELZIELSETZUNG

Die Einzelzielsetzungen der im Berichtszeitraum bearbeiteten Arbeitspakete werden im Folgenden näher erläutert.

2.1 IDENTIFIZIERUNG VON STAMMZELLMARKERN

Die Expression von bestimmten Markern wird als geeignetes Kriterium zum Nachweis von Tumorstammzellen diskutiert, ein allgemeingültiger Marker wurde bisher allerdings nicht identifiziert. Daher sollte, basierend auf einer Literaturrecherche, die Expression verschiedener Oberflächen- und intrazellulärer Marker für Gliom-/Glioblastomstammzellen in den verwendeten Zelllinien untersucht und anschließend getestet werden, ob sich die Expression der Marker nach Bestrahlung mit dünn ionisierender Röntgenstrahlung bzw. dicht ionisierenden beschleunigten Kohlenstoffionen verändert.

2.2 EINFLUSS DER BESTRAHLUNG AUF DIE ZELLYKLUSVERTEILUNG

Als Folge einer strahlenbedingten DNA-Schädigung kann die Signalkaskade eines DNA-Checkpoints ausgelöst werden, so dass es zu einem Zellzyklusarrest kommt. Die Zellzyklusregulation von Tumor(stamm)zellen ist häufig verändert. Es sollte untersucht werden, ob eine Strahlungsexposition zu Veränderungen in der Zellzyklusverteilung führt. Weiterhin war von Interesse, ob sich die Zellzyklusveränderungen nach Bestrahlung mit Röntgenstrahlung und Kohlenstoffionen unterscheiden.

2.3 EINFLUSS DER BESTRAHLUNG AUF DIE DNA-REPARATUR

Dicht ionisierende Strahlung führt zu komplexeren DNA-Schäden als Röntgenstrahlung. Es sollte daher überprüft werden, ob sich die Schadensreparatur nach Kohlenstoffionen von der Reparatur nach Röntgenstrahlung in Tumorstammzellen unterscheidet.

3. METHODIK

Drei Gliom-/Glioblastomstammzelllinien wurden unter serumfreien Stammzellbedingungen als Tumorsphären kultiviert. Untersucht wurden der Einfluss von Strahlung auf die Stammzellmarkerexpression, die Zellzyklusverteilung und die DNA-Reparatur. Es wurde eine Dosis von 8 Gy dünn ionisierender Röntgenstrahlung und dicht ionisierender beschleunigter Kohlenstoffionen verwendet, die Kontrollzellen wurden scheinbestrahlt.

4. DURCHFÜHRUNG

4.1 IDENTIFIZIERUNG VON STAMMZELLMARKERN

Zur Identifizierung von Stammzellmarkern wurden unbestrahlte Tumorsphären enzymatisch vereinzelt und die Einzelzellen mit verschiedenen Antikörpern gefärbt. Insgesamt wurden 13 Marker getestet. Dies beinhaltete Oberflächenmarker wie CD15, CD44, CD133 und NG2 sowie intrazelluläre Marker wie Nestin, Sox2, Nanog und GFAP. Zum Vergleich wurden neurale Stammzellen verwendet. Die Analyse erfolgte nach Immunfluoreszenzfärbung der Marker im Durchflusszytometer. Anschließend wurde die Markerexpression nach Röntgen- bzw. Kohlenstoffionenbestrahlung analysiert. Dazu wurden Einzelzellen bestrahlt (8 Gy und unbestrahlte Kontrollen), für zwei Wochen zur Tumorsphärenbildung kultiviert, enzymatisch vereinzelt, gefärbt und im Durchflusszytometer analysiert.

4.2 EINFLUSS DER BESTRAHLUNG AUF DIE ZELLYKLUSVERTEILUNG

Von unbestrahlten Zellen sowie mit 8 Gy Röntgenstrahlung bzw. Kohlenstoffionen bestrahlten Zellen wurden zu mehreren Zeitpunkten von einer Stunde bis zu drei Tage nach Bestrahlung Proben genommen. Durch Färbung der DNA und anschließende Analyse im Durchflusszytometer wurde die Zellzyklusverteilung bestimmt. Für eine der verwendeten Zelllinien wurden zusätzlich EdU¹⁾-Einbau-Experimente zur Markierung der S-Phase durchgeführt.

4.3 EINFLUSS DER BESTRAHLUNG AUF DIE DNA-REPARATUR

Zur Erstellung von Reparatur-Kinetiken wurden die mit Kohlenstoffionen oder Röntgenstrahlung bestrahlten Zellen zu verschiedenen Zeitpunkten fixiert und eine Antikörperfärbung gegen gamma-H2AX, einen DNA-Doppelstrangbruch-Marker, durchgeführt. Die gefärbten Zellen wurden im Durchflusszytometer analysiert.

5. ERGEBNISSE

Im Folgenden werden die wichtigsten Ergebnisse der im Berichtszeitraum bearbeiteten bzw. fertig gestellten Arbeitspakete dargestellt.

5.1 IDENTIFIZIERUNG VON STAMMZELLMARKERN

Es wurde ein Expressionsmuster der 13 untersuchten Marker in den vier verwendeten Zelllinien (Gliom-/Glioblastom- sowie neurale Stammzellen) erstellt. Dabei zeigte sich, dass einige Marker, wie CD44, Nestin und GFAP von allen untersuchten Zelllinien exprimiert wurden, die Expression anderer Marker dagegen zelllinienspezifisch war. So wurde CD15-Expression nur in einer der verwendeten Gliom-/Glioblastomstammzelllinien gefunden. Zwei Wochen nach Bestrahlung mit 8 Gy Röntgenstrahlung bzw. beschleunigten Kohlenstoffionen ging die Expression von CD15 verglichen mit der unbestrahlten Kontrolle zurück. Bei den anderen untersuchten Markern zeigten sich keine Veränderungen durch Bestrahlung.

5.2 EINFLUSS DER BESTRAHLUNG AUF DIE ZELLYKLUSVERTEILUNG

Alle drei verwendeten Zelllinien zeigten nach Bestrahlung einen (unterschiedlich stark ausgeprägten) Arrest in der G2/M-Phase, ggf. verbunden mit einem verringerten Anteil von Zellen in der S-Phase. Die strahlenempfindlichste Zelllinie zeigte die deutlichsten Zellzyklusveränderungen nach Bestrahlung. Röntgenstrahlung und Kohlenstoffionen hatten ähnliche Auswirkungen.

¹⁾ Ethidium Desoxiuracil

5.3 EINFLUSS DER BESTRAHLUNG AUF DIE DNA-REPARATUR

Wenige Stunden nach Bestrahlung war das gamma-H2AX-Signal sowohl nach Röntgen- als auch nach Kohlenstoffionenstrahlung stark erhöht und fiel bis ca. 12 Stunden nach Bestrahlung steil, danach mit flacherem Verlauf ab. Der Verlauf der Reparatur-Kinetiken nach Kohlenstoffionen und Röntgenbestrahlung war ähnlich.

6. GEPLANTE WEITERARBEIT

In den nächsten Arbeitspaketen werden Genexpressionsanalysen und zytogenetische Untersuchungen durchgeführt werden.

Themenbereich 04
Medizinische Strahlenexposition / Röntgenverordnung

Subject area 04
Medical radiation exposures / X-ray Ordinance

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 / WR 3	verantwortlich für den Text Prof. Dr. H. Zeeb	

1. ZIELSETZUNG

In dieser Studie soll die medizinische Strahlenexposition von zunächst 3000 Teilnehmenden der NAKO¹⁾-Gesundheitsstudie orientierend retrospektiv und mittels eines entsprechenden Röntgenpasses prospektiv erfasst werden.

2. EINZELZIELSETZUNG

Das Projekt wird in 3 Arbeitspaketen bearbeitet:

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 nachfolgend genannten 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 werden beschrieben:

- Durchführung und Supervision der Erhebung (inkl. Follow-up Fragebögen)
- Zusammenführung der Angaben der prospektiven Erfassung
- Auswertungen
- Berichterstellung und Abschlussbericht.

¹⁾ Nationale Kohorte

3. METHODIK

Die als Level-3-Studie durchgeführte Untersuchung findet zusätzlich zum NAKO-Basisprogramm an vier teilnehmenden Studienzentren statt. Gemäß Angebot war vorgesehen, an jedem der beteiligten Studienzentren (Bremen, Essen, Neubrandenburg/Neustrelitz und Augsburg) 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 wurde der Röntgenpass, der auch für die Machbarkeitsstudie entworfen wurde, für die NAKO-Erhebung überarbeitet sowie ein kurzer Follow-up-Fragebogen konzipiert.

4. DURCHFÜHRUNG

4.1 REKRUTIERUNGSSTART UND ERSTER TEIL ERHEBUNG (AP 2)

Nach Erhebungsbeginn am Standort Bremen im Oktober 2017 erfolgte der Rekrutierungsstart an den verbleibenden Studienzentren im Januar/Februar 2018, am Standort Augsburg jedoch erst im April 2018. Die prospektive Follow-up-Erhebung startete dynamisch zwischen Ende August und Ende September 2018 an den Standorten Bremen, Essen und Neubrandenburg. Am Standort Augsburg wurde auf Grund des deutlich verspäteten Rekrutierungsstarts 2018 keine Follow-up Erhebung durchgeführt. Am Standort Bremen erfolgte die Aussendung der Erinnerung im Rahmen der Follow-up-Erhebung Ende September 2018.

4.2 FORTSETZUNG DER ERHEBUNG UND AUSWERTUNG (AP 3)

Die Aussendung der Erinnerungen an den Studienzentren Essen und Neubrandenburg folgte im Oktober 2018. Die Rückläufe der Follow-up-Kontaktierung sowie die der Erinnerungsphase wurden an allen beteiligten Standorten im weiteren Verlauf registriert und die entsprechenden Informationen in die Organisations- und Dokumentationsdatenbank an den einzelnen Studienzentren eingegeben.

5. ERGEBNISSE

5.1 REKRUTIERUNGSSTART UND ERSTER TEIL ERHEBUNG (AP 2)

- Der Start der Rekrutierungen an den verbleibenden Studienzentren erfolgte im Frühjahr 2018. Die Rekrutierungen endeten im August 2018.
- Im engen Austausch mit den Kolleginnen und Kollegen in den beteiligten Studienzentren wurden die Follow-up-Dokumente für die prospektive Erfassung gemeinsam abgestimmt und erstellt. Studienzentrumsübergreifende Prozessabläufe wurden ebenfalls entwickelt und implementiert.
- Ferner wurde am Standort Bremen eine Organisations- und Dokumentationsdatenbank für die Durchführung der prospektiven Erhebung entwickelt, die das Kontaktierungsmanagement steuert und den Rücklauf der Follow-up-Dokumente dokumentiert (inkl. Angaben in den Fragebögen und Röntgenpässen). Die Datenbank wurde den anderen Standorten zur Verfügung gestellt.
- Die prospektive Follow-up-Erhebung startete dynamisch an den Standorten Bremen (Ende August 2018) sowie Mitte bzw. Ende September 2018 in Essen und Neubrandenburg. Nach circa vier Wochen erfolgte in Bremen die Aussendung der Erinnerung im Rahmen der Follow-up-Erhebung Ende September 2018.
- Über den gesamten Rekrutierungszeitraum (Oktober 2017-August 2018) haben insgesamt 4 050 NAKO-Studienteilnehmende an der MedExpo-Level-3-Studie teilgenommen (Teilnahmerate: 82,0 % in Bezug auf alle in diesem Zeitraum an der NAKO Teilnehmenden). Hiervon haben 3 521 Teilnehmende den Touchscreen direkt vor Ort ausgefüllt. Der Anteil der Take-Home-Fragebögen an der Gesamterhebung lag bei 13,1 % (n = 529) und die Rücklaufquote beträgt 70,7 % (n = 374).
- Im Rahmen der ersten Follow-up-Erhebung (Ende August bis Ende September 2018) wurden 1 312 Studienteilnehmende postalisch kontaktiert. Vier Wochen nach Erstkontaktierung lag eine Rücklaufquote von 38,5 % (n = 505) vor.

5.2 FORTSETZUNG DER ERHEBUNG UND AUSWERTUNG (AP 3)

- Nach einmaliger Erinnerung (Ende September bis Ende Oktober 2018) an den weiteren Standorten stei-

gerte sich die Quote der zurückgesendeten Follow-up-Dokumente auf 66,1 % (n = 867) (Stand: 31.12.2018). Bei etwa einem Viertel der Fragebögen wurden radiologische Untersuchungen angegeben.

- Irrtümlich zurückgesendete private Röntgenpässe oder neue Austausch-Röntgenpässe wurden an die Studienteilnehmenden zurückgesandt.
- Insgesamt haben nur wenige Studienteilnehmende ihr Einverständnis zur Teilnahme an der Level-3-Studie im bisherigen Studienverlauf zurückgezogen.
- Die Erstellung der Eingabe-Masken für die Daten der Follow-up-Erhebung (Fragebogen, Röntgenpass) wird weiterhin mit der NAKO-IT abgestimmt. Die Bereitstellung verzögert sich jedoch auf Grund von zeitlichen Engpässen im Integrationszentrum der NAKO. Hier besteht enger Kontakt durch die Studienkoordination in Bremen.
- Ein Antrag auf Qualitätssicherung wurde im Dezember 2018 bei der NAKO-Geschäftsstelle eingerichtet und mittlerweile genehmigt.

6. GEPLANTE WEITERARBEIT

Im Anschluss an die finalen Abstimmungen mit der NAKO-IT werden die Follow-up-Daten via Eingabemaske in den NAKO-Datenbestand übertragen. Im Weiteren erfolgt die Qualitätssicherung der dann vorliegenden Studiendaten (retrospektiv und prospektiv) für die gesamte Kohorte. In diesem Rahmen werden auch erste orientierende Auswertungen durchgeführt.

Im engen Austausch mit allen beteiligten Studienzentren erfolgen die Anpassungen und Vorbereitungen für die anstehende weitere Follow-up-Erhebung an allen Standorten (voraussichtlich im Mai/Juni 2019). Nach erfolgreichem Durchlauf dieses 2. Follow-up, der Dateneingabe und der Qualitätssicherung erfolgen Auswertungen und die Erstellung des Abschlussberichts sowie ggf. einer ersten Publikation zu Machbarkeit und Ergebnissen.

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	31.07.2019	EUR 263.452,-
Forschungs- / Auftragnehmer			
Klinikum Nürnberg			
Projektleitung	Fachbetreuung BfS	verantwortlich für den Text	
Dr. J. Hartmann	S. Trinkl / MB 3	Dr. J. Hartmann, J. Singer	

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 der interventionellen Radiologie. Darüber hinaus sollen die einrichtungs- spezifischen 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 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 über das DMS bewertet.

Lokale Referenzwerte werden zur Bearbeitung des AP 3 definiert. Parallel werden die Prozessabläufe zur Erfassung und Optimierung von Strahlenanwendungen analysiert und dokumentiert.

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 dosisrelevanten Parametern der in AP 1 festgelegten Standarduntersuchungen, um die Einhaltung der DRW zu überprüfen. Dazu sind statistische Kenngrößen (1. und 3. Quartil, gleitende Mittelwerte) zu berechnen und etwaige Überschreitungen von DRW und internen Referenzwerten zu überprüfen.

2.4 ERSTELLUNG EINES LEITFADENS FÜR ANWENDER VON DMS (AP 4)

Das AP 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 in Abhängigkeit der Institutionsgröße sowie Empfehlungen beim 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. 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 jeweils 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 wurden die zu erfassenden medizinischen Strahlenanwendungen für AP 2 „Wirkung von DMS auf die Optimierung von dosisrelevanten Parameterwerten“ und AP 3 „Kontinuierliche Erfassung der Einhaltung von DRW mittels DMS“ festgelegt. Die Auswahl orientierte sich an den aktuellen DRW der Röntgendiagnostik, der interventionellen Radiologie und der Nuklearmedizin. Die Liste wurde durch häufig durchgeführte Untersuchungen in den Kliniken ergänzt und weitgehend in den Arbeitspaketen berücksichtigt.

Die Vereinheitlichung der Untersuchungsarten erfolgte anhand des RadLex Playbook. Eine durchgängige Zuordnung ist praktisch nicht möglich, da sich das RadLex Playbook auf Untersuchungsarten in der Radiologie und Nuklearmedizin beschränkt. An Stelle des RadLex-Begriffs wurde daher der Name der Untersuchungsart herangezogen. Im weiteren Projektverlauf wird geprüft, ob LOINC (Logical Observation Identifiers Names and Codes) als Alternative zum RadLex Playbook eingesetzt werden kann.

Die Projektteilnehmer ergänzten Beobachtungen und Ergebnisse mit eigenen Erfahrungswerten im Umgang mit DMS.

Für die möglichst eindeutige Zuordnung von Untersuchungsprotokollen zu ausgewählten Untersuchungs- und Eingriffsarten wurden Filter in Form von DICOM-Tags definiert. Grundlage hierfür war das Klassifikationsmodul von IVEU¹⁾, das bereits praxiserprobt in der Ärztlichen Stelle Hessen eingesetzt wird und eine korrekte Einordnung von Untersuchungsarten zwischen 90 % und 100 % erlaubt.

4.2 WIRKUNG VON DMS AUF DIE OPTIMIERUNG VON DOSISRELEVANTEN PARAMETERWERTEN (AP 2)

Anfänglich wurden die relevanten Röntgenanlagen im DMS angelegt und gerätespezifische Untersuchungsprotokolle zugeordnet. Durch den laufenden Betrieb musste die Konfigurationsarbeit regelmäßig nachgepflegt und überprüft werden.

¹⁾ IT-gestütztes Verfahren zur Erfassung von Untersuchungsparametern

Die Darstellung in sog. Dashboards erwies sich als fehlerträchtig. Grafische Darstellungen erzielten dabei nicht den gewünschten Effekt der Aussagefähigkeit. Die Kommunikation mit dem Anwendungs-Support der Hersteller in Bezug auf Entwicklungswünsche zeigte Mängel. Dennoch konnten einige Softwarefehler und Fehlinterpretationen aufgedeckt und teilweise behoben werden.

Problematisch wirkte sich aus, dass sich noch viele Anlagen in Betrieb befinden, die auf Grund ihrer Generation nicht alle dosisrelevanten DICOM-Tags mit Informationen füllen können.

Durch eine durchgeführte Plausibilitätsprüfung ist aufgefallen, dass sich hinter den definierten Protokollnamen eine Vielzahl unterschiedlicher Geräteprotokolle, Serien und Aufnahmen anderer Regionen verbergen. Dies zeigte sich besonders in großen Kliniken mit stark differenzierten Fragestellungen und häufig durchgeführten Kombi-Untersuchungen, die befundadaptiert individuell angefertigt werden. Die saubere Trennung der relevanten Serien konnte nicht immer erzielt werden.

Der administrative Aufwand des DMS in Form von Geräte- und Protokollpflege sowie der Überprüfung der gesammelten Daten wurde bis zur Projektdurchführung stark unterschätzt und beanspruchte einen großen Teil der aufgewandten Zeit.

Die vom DMS erfassten Daten wurden in ein Tabellenkalkulationsprogramm exportiert und die Untersuchungsarten den Begriffen aus dem RadLex Playbook zugeordnet. Anschließend konnten die Dosiswerte und die jeweiligen Dosis-relevanten Parameter analysiert und das Optimierungspotential der jeweiligen Untersuchungsprotokolle bestimmt werden.

Durchführende Kräfte waren ausschließlich die projektleitenden Partner. Personelle Ressourcen in den Fachabteilungen für die Analyse der erfassten Daten mittels DMS waren bei keinem Projektteilnehmer in ausreichender Form vorhanden.

Die Optimierung der jeweiligen Untersuchungsprotokolle erfolgte in Zusammenarbeit mit den jeweiligen Ärzten, um die notwendige Güte der Bildqualität zu gewährleisten. Die angepassten Parameter wurden ebenso wie der Zeitpunkt der Optimierung dokumentiert. Die Auswertung der optimierten Untersuchungsprotokolle steht noch aus.

4.3 KONTINUIERLICHE ERFASSUNG DER EINHALTUNG VON DRW MITTELS DMS (AP 3)

Für das AP 3 wurden die in AP 1 festgelegten Strahlenanwendungen für die Überprüfung etwaiger Überschreitungen von DRW bzw. von internen Schwellenwerten herangezogen.

Die Erfassung der dosis-relevanten Parameter über einen Zeitraum von 12 Monaten konnte abgeschlossen werden. Die Analyse hinsichtlich der Einhaltung der DRW und Anwendung lokaler Referenzwerte findet statt, so dass die notwendigen Prozessabläufe zur Anwendung eines DMS dokumentiert und bewertet werden können.

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 für kardiologische und einzelne interventionelle Verfahren konnte keine Zuordnung stattfinden. Die Ergebnisse wurden dem BfS bereits vorgestellt.

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 erheblich bezüglich der erfassten Dosis-relevanten Parameter und der Klassifizierung der erfassten Untersuchungen. Bei manchen DMS geschieht dies ausschließlich über den Protokollnamen, was besonders in der Computertomographie bei Kombi-Untersuchungen 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.

Es konnte gezeigt werden, dass erst durch strukturierte Auswertung der mittels DMS erfassten Daten unerwünschte Auswirkungen der verwendeten Untersuchungsprotokolle sichtbar gemacht und zur Diskussion mit den verantwortlichen Ärzten gestellt werden konnten.

Für das institutsübergreifende Benchmarking wurden die über das DMS erfassten dosisrelevanten Parameter in ein Tabellenkalkulationsprogramm 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)

Erste Ergebnisse aus dem AP 3 zeigen, dass bei den meisten analysierten Untersuchungsarten keine Überschreitungen der DRW auftreten. Mögliche lokale Referenzwerte werden noch bezüglich ihrer Anwendung diskutiert.

Die Erfassung Dosis-relevanter Parameter über einen längeren Zeitraum mittels eines DMS kann durch mögliche Übersichtstabellen und Diagramme den Anwender bei seiner täglichen Arbeit unterstützen. Allerdings können auch hier unpassende Bezeichnungen irreführend sein. Eine regelmäßige Kontrolle der Konfiguration und Systempflege, z. B. Zuordnung der Geräteprotokolle, ist obligat. Abschließende Ergebnisse des AP 3 liegen wegen den noch ausstehenden Auswertungen nicht vor.

6. GEPLANTE WEITERARBEIT

6.1 ARBEITSPAKETE 2 UND 3

Hierfür steht der Abschluss der Vorgänge zur Auswertung und Dokumentation der Ergebnisse bevor. Die Prüfung der Standarduntersuchungen hinsichtlich der Einhaltung der DRW dauert noch an. Die Erkenntnisse aus beiden Arbeitspaketen werden im Abschlussbericht dargelegt.

6.2 ARBEITSPAKET 4

Der Leitfaden für den Einsatz eines DMS soll möglichst hersteller- und produktunabhängig die Möglichkeiten, aber auch Limitationen der Systeme aufzeigen. Ebenso soll aufgeführt werden, was Anwender und Hersteller für eine bessere Funktionalität beachten müssen. Die Ausarbeitung berücksichtigt die zu diesem Zeitpunkt bekannten Empfehlungen von nationalen und internationalen Gremien und Organisationen.

Thema			
Betrieblicher Umgang mit (bedeutsamen) Vorkommnissen bei medizinischen Anwendungen radioaktiver Stoffe in der Nuklearmedizin und praktische Erprobung der Meldekriterien			
Subject			
<i>Operational handling of (significant) incidents in medical applications of radioactive material in nuclear medicine and practical testing of reporting criteria</i>			
Kennzeichen	Beginn	Ende	Fördermittel
3617S42332	01.01.2018	31.12.2019	EUR 190.439,-
Forschungs- / Auftragnehmer			
Städtisches Klinikum Braunschweig gGmbH			
Projektleitung	Fachbetreuung BfS	verantwortlich für den Text	
Dr. M. Borowski	Dr. A. Kamp / MB 3	Dr. M. Borowski	

1. ZIELSETZUNG

Die Richtlinie 2013/59/EURATOM sieht in Artikel 63 vor, dass „Unternehmen die zuständige Behörde so bald wie möglich über das Eintreten bedeutsamer Ereignisse ...“ unterrichten. Im Deutschen Strahlenschutzgesetz (StrlSchG) vom 27. Juni 2017 wurde diese Forderung in § 90 aufgenommen. Innerhalb der Strahlenschutzverordnung sind in Anlage 14 Meldekriterien für Vorkommnisse spezifiziert. Das Ziel dieses Vorhabens ist die systematische Erfassung und Bewertung von (bedeutsamen) Vorkommnissen und Beinahe-Vorkommnissen bei der Anwendung radioaktiver Stoffe am Menschen in der Medizin unter Berücksichtigung der vereinbarten Meldekriterien. Es ist hierdurch beabsichtigt, die Anwendbarkeit der Meldekriterien in der Praxis zu prüfen sowie Möglichkeiten der praktischen Implementierung einer Erfassung von Vorkommnissen und Beinahe-Vorkommnissen zu erarbeiten.

2. EINZELZIELSETZUNG

Die Leistungsbeschreibung zum Vorhaben sieht es vor, die Thematik im Rahmen von drei Einzelzielsetzungen zu bearbeiten.

2.1 AUFARBEITUNG DES STANDES VON WISSENSCHAFT UND TECHNIK

Die Erfahrungen, die Institutionen im In- und Ausland mit gängigen Systemen zur Erfassung, Auswertung und Weitergabe von Vorkommnissen gemacht haben, sind ebenso wie Vorzüge und Limitationen von Verfahren aufzuarbeiten. Auf Empfehlungen nationaler und internationaler Institutionen bezüglich der Erfassung und Bewertung von Vorkommnissen ist einzugehen.

Auf Grundlage der Aufarbeitung des Standes von Wissenschaft und Technik sind Verfahrenskonzepte für die Erfassung und Bewertung von Vorkommnissen und Beinahe-Vorkommnissen zu erarbeiten und auf Praxis-tauglichkeit zu prüfen.

2.2 ERFASSUNG VON VORKOMMNISSEN IM KLINISCHEN ALLTAG

In mindestens 10 verschiedenen nuklearmedizinischen Einrichtungen (davon 5 Praxen) unterschiedlicher Größe sind mindestens über 12 Monate fortlaufend Vorkommnisse und Beinahe-Vorkommnisse zu erfassen und zu bewerten. Dabei sind alle Teilschritte der therapeutischen und diagnostischen Anwendung radioaktiver Stoffe einzubeziehen. Die Einhaltung der ärztlichen Schweigepflicht ist dabei sicherzustellen.

2.3 ERSTELLUNG EINES LEITFADENS

Die gesammelten Kenntnisse und Erfahrungen sind in einem Leitfaden zusammenzufassen. Dieser Leitfaden hat Vorschläge zu unterbreiten, wie ein sachgerechtes und möglichst praxistaugliches System zur Erfassung und Bewertung von (Beinahe-)Vorkommnissen in Einrichtungen unterschiedlicher Größe und Spezialisierung eingerichtet und betrieben werden kann.

Der Leitfaden hat auch vorzuschlagen, welche konkreten Informationen Meldungen über Vorkommnisse enthalten sollten.

3. METHODIK

Zur Aufarbeitung des Standes von Wissenschaft und Technik wurden nationale und internationale Literaturquellen sowie Webpräsenzen hinsichtlich Beiträgen zu bedeutsamen Vorkommnissen und Beinahe-Vorkommnissen gesichtet. Weiterhin wurde mit Einrichtungen im In- und Ausland Kontakt aufgenommen, um die dortige Erfassung und ggf. Meldung von bedeutsamen Vorkommnissen zu ermitteln.

Für die Erfassung von Vorkommnissen sowie deren Übermittlung an die zuständigen Behörden wurde eine Dokumentationssoftware unter Berücksichtigung der Resultate der Arbeiten nach 4.1 sowie der Anmerkungen der mitwirkenden Einrichtungen erstellt.

4. DURCHFÜHRUNG

4.1 AUFARBEITUNG DES STANDES VON WISSENSCHAFT UND TECHNIK

Die Ergebnisse zur Aufarbeitung des Standes von Wissenschaft und Technik wurden in einem Bericht zusammengefasst und dem Bundesamt für Strahlenschutz zur Verfügung gestellt.

Vor dem Hintergrund der gewonnenen Erkenntnisse wurde eine Liste von sinnvollen Meldekriterien entwickelt. Zudem wurden Funktionen einer Software konzipiert, die der Erfassung von Meldungen dienen kann.

4.2 ERFASSUNG VON VORKOMMNISSEN IM KLINISCHEN ALLTAG

Es wurden Vereinbarungen mit 6 Kliniken, darunter zwei Universitätskliniken, sowie 6 Praxen über die Mitwirkung in der Anwendungsstudie getroffen. Mit den Einrichtungen wurde die Zielstellung der Anwendungsstudie besprochen. Ideen der Einrichtungen zu Meldekriterien sowie im Hinblick auf eine ergonomische Erfassung von Vorkommnissen wurden kritisch diskutiert und bei den weiteren Arbeiten berücksichtigt.

Die erstellte Software für die Erfassung von Vorkommnissen sieht im Vergleich zu den Meldekriterien des Strahlenschutzrechts niedrigere Schwellen vor. Dadurch soll erreicht werden, dass ein Überblick über Vorkommnisse im Allgemeinen erhalten wird, auch wenn diese nicht unmittelbar eine Meldepflicht nach Strahlenschutzverordnung zur Folge hätten.

In den Einrichtungen wurde die Software bereitgestellt und in das lokale IT-System integriert. Probleme bei der Implementierung wurden im Einklang mit den Einrichtungen bearbeitet. Leider zeigte sich in einem Fall, dass die Integration nicht realisierbar war. In dieser Einrichtung erfolgt die Datenerfassung hierdurch ausschließlich papierbasiert.

Die vor Ort tätigen Personen wurden in der Nutzung der Software unterwiesen. Zudem wurde ihnen der Themenbereich der Erfassung von Vorkommnissen und die Funktion der Anwendungsstudie erläutert. Rückfragen der Einrichtungen wurden kontinuierlich beantwortet.

Im November 2018 fand die erste Zwischenauswertung der Erhebung statt. Die Daten wurden unter Nutzung eines hierfür eigens entwickelten Software-Tools aufbereitet und ausgewertet. Ein Kurzbericht zu den beobachteten Meldungen wird erstellt und den mitwirkenden Einrichtungen zur Verfügung gestellt. Die bislang in einer Einrichtung aufgelaufenen Mängel werden im Vergleich zu denen der anderen Einrichtungen besprochen.

5. ERGEBNISSE

5.1 AUFARBEITUNG DER STANDES VON WISSENSCHAFT UND TECHNIK

Es zeigte sich, dass bislang kein allgemein etabliertes System zur Erfassung von Vorkommnissen außerhalb Deutschlands besteht. In Irland wurde lokal ein derartiges System 2013 eingerichtet. Die dort zur Anwendung kommenden Kriterien sind einfacher als die im deutschen Strahlenschutzrecht konkretisierten. In den international verfügbaren Arbeiten sowie Modellprojekten zur Etablierung von Meldekriterien wurden folgende Notwendigkeiten für ein funktionierendes System benannt:

- Niederschwelligkeit
- Anonymität
- Möglichkeit über eine Dokumentation hinaus, für Training und Optimierungen eingesetzt werden zu können.

5.2 ERFASSUNG VON VORKOMMNISSEN IM KLINISCHEN ALLTAG

Es zeigte sich, dass in den verschiedenen Einrichtungen mit unterschiedlich hohem Engagement Vorkommnisse dokumentiert werden. Es ist zu erwarten, dass in einigen Einrichtungen nicht sämtliche Vorkommnisse berichtet werden. Beinahe-Vorkommnisse wurden bislang nahezu nicht gemeldet. Es ist im weiteren Verlauf des Projektes durch gezielte Recherchen in Einrichtungen nachzuvollziehen, ob eine mögliche unvollständige Dokumentation bei Nachforschungen festgestellt werden kann.

Anhand der ersten Zwischenauswertung ist darüber hinaus allgemein festzuhalten:

- Im Bereich der Nuklearmedizin treten weniger Meldungen auf als in der Röntgendiagnostik.
- Keine der bislang erfassten Meldungen wäre unter Anwendung der Meldekriterien nach StrISchV ein meldepflichtiges Vorkommnis.

6. GEPLANTE WEITERARBEIT

Die Anwendungsstudie wird weitergeführt.

Die Dokumentationssoftware wird unter Berücksichtigung der Rückmeldungen aus den mitwirkenden Einrichtungen sowie der Erfahrungen im Projektteam weiterentwickelt.

Es ist beabsichtigt, in ausgewählten Einrichtungen ohne Vorabinformationen in der Dokumentation nach Vorkommnissen zu suchen und die dabei gewonnenen Erfahrungen in die Abschlussbetrachtung sowie die Erstellung des Leitfadens einfließen zu lassen.

Thema

Betrieblicher Umgang mit (bedeutsamen) Vorkommnissen bei medizinischen Anwendungen ionisierender Strahlung in der Röntgendiagnostik und interventionellen Radiologie und praktische Erprobung der Meldekriterien

Subject

Operational handling of (significant) incidents in medical applications of ionising radiation in diagnostic radiology and interventional radiology as well as practical experience of the reporting criteria

Kennzeichen
3617S42333

Beginn
01.01.2018

Ende
31.12.2019

Fördermittel
EUR 309.512,-

Forschungs- / Auftragnehmer

Klinikum Nürnberg, Institut für Medizinische Physik

Projektleitung
Dr. E. Rerich

Fachbetreuung BfS
S. Trinkl / MB 3

verantwortlich für den Text
Dr. E. Rerich, J. Singer

1. ZIELSETZUNG

Die Richtlinie 2013/59/EURATOM sieht in Artikel 63 vor, dass „das Unternehmen die zuständige Behörde so bald wie möglich über das Eintreten bedeutsamer Ereignisse ... unterrichtet“. Im Deutschen Strahlenschutzgesetz (StrlSchG) vom 27. Juni 2017 wurde diese Forderung in § 90 aufgenommen. Innerhalb der Strahlenschutzverordnung sind in Anlage 14 und 15 Kriterien für die Bedeutsamkeit eines Vorkommnisses spezifiziert. Ziel des Vorhabens ist die systematische Erfassung und Bewertung von (bedeutsamen) Vorkommnissen und Beinahe-Vorkommnissen bei medizinischen Anwendungen ionisierender Strahlung in der Röntgendiagnostik (einschließlich Zahnheilkunde) und der interventionellen Radiologie, unter Berücksichtigung der vereinbarten Meldekriterien. Es ist hierdurch beabsichtigt, die Anwendbarkeit der Meldekriterien im klinischen Betrieb zu prüfen sowie Möglichkeiten der praktischen Implementierung einer Erfassung von Vorkommnissen und Beinahe-Vorkommnissen zu erarbeiten.

2. EINZELZIELSETZUNG

Die Leistungsbeschreibung zum Vorhaben sieht es vor, die Thematik im Rahmen von drei Einzelzielsetzungen zu bearbeiten.

2.1 AUFARBEITUNG DES STANDES VON WISSENSCHAFT UND TECHNIK

Die Erfahrungen, die Institutionen im In- und Ausland mit gängigen Systemen zur Erfassung, Auswertung und Weitergabe von Vorkommnissen gemacht haben, sind aufzuarbeiten. Des Weiteren sind Vorzüge und Limitationen von Verfahren zu untersuchen. Auf Empfehlungen nationaler und internationaler Institutionen bezüglich der Erfassung und Bewertung von Vorkommnissen ist einzugehen.

Auf Grundlage der Aufarbeitung des Standes von Wissenschaft und Technik - dem Bericht zu Arbeitspaket 1 zu entnehmen - sind Verfahrenskonzepte für die Erfassung und Bewertung von Vorkommnissen und Beinahe-Vorkommnissen zu erarbeiten und auf Praxistauglichkeit zu prüfen.

2.2 ERFASSUNG VON VORKOMMNISSEN IM KLINISCHEN ALLTAG

In mindestens 17 mitwirkenden Einrichtungen unterschiedlicher Größe (davon 5 Praxen, 2 Zahnarztpraxen, 5 nichtakademische Krankenhäuser und 5 Universitätskliniken) sind mindestens über 12 Monate fortlaufend Vorkommnisse und Beinahe-Vorkommnisse zu erfassen und zu bewerten. Dabei sind alle Teilschritte der therapeutischen und diagnostischen Anwendung ionisierender Strahlung einzubeziehen. Die Einhaltung der ärztlichen Schweigepflicht ist dabei sicherzustellen.

2.3 ERSTELLUNG EINES LEITFADENS

Die gesammelten Kenntnisse und Erfahrungen sind in einem Leitfaden zusammenzufassen. Dieser Leitfaden hat Vorschläge zu unterbreiten, wie ein sachgerechtes und möglichst praxistaugliches System zur Erfassung

und Bewertung von (Beinahe-)Vorkommnissen in Einrichtungen unterschiedlicher Größe und Spezialisierung eingerichtet und betrieben werden kann.

Der Leitfaden hat auch vorzuschlagen, welche konkreten Informationen Meldungen über Vorkommnisse enthalten sollten.

3. METHODIK

Zur Aufarbeitung des Standes von Wissenschaft und Technik wurden nationale und internationale Literaturquellen sowie Webpräsenzen hinsichtlich Beiträgen zu bedeutsamen Vorkommnissen und Beinahe-Vorkommnissen recherchiert. Weiterhin wurde mit Einrichtungen im In- und Ausland Kontakt aufgenommen, um die dortige Erfassung und ggf. Meldung von bedeutsamen Vorkommnissen zu ermitteln.

Für die Erfassung von Vorkommnissen sowie deren Übermittlung an die zuständigen Behörden wurde eine Dokumentationssoftware unter Berücksichtigung der bisherigen Resultate sowie der Anmerkungen der mitwirkenden Einrichtungen erstellt.

4. DURCHFÜHRUNG

4.1 AUFARBEITUNG DES STANDES VON WISSENSCHAFT UND TECHNIK

Die Ergebnisse zum Teilprojekt wurden in einem Bericht zusammengefasst und dem Bundesamt für Strahlenschutz zur Verfügung gestellt.

Vor dem Hintergrund der gewonnenen Erkenntnisse wurde eine Liste von sinnvollen Meldekriterien entwickelt. Zudem wurden Funktionen einer Software konzipiert, die der Erfassung von Meldungen dienen kann.

4.2 ERFASSUNG VON VORKOMMNISSEN IM KLINISCHEN ALLTAG

Die Dokumentationssoftware für die Erfassung von Vorkommnissen sowie deren Übermittlung an die zuständigen Behörden sieht im Vergleich zu den Meldekriterien des Strahlenschutzrechts niedrigere Schwellen vor. Dadurch soll erreicht werden, dass ein Überblick über Vorkommnisse im Allgemeinen erhalten wird, auch wenn diese nicht unmittelbar eine Meldepflicht zur Folge hätten.

Es konnten Vereinbarungen mit 10 Kliniken, darunter 5 Universitätskliniken, sowie 4 Praxen aus dem Fachbereich Kardiologie oder Radiologie und 2 zahnärztlichen Praxen über die Mitwirkung in der Anwendungsstudie getroffen werden. In den Einrichtungen wurde die Software bereitgestellt. Die vor Ort tätigen Personen wurden in der Nutzung der Software unterwiesen. Zudem wurde ihnen der Themenbereich der Erfassung von Vorkommnissen und die Funktion der Anwendungsstudie erläutert. Rückfragen der Einrichtungen wurden kontinuierlich beantwortet.

Im November 2018 fand die erste Zwischenauswertung der Erhebung statt. Die Daten wurden unter Nutzung eines hierfür eigens entwickelten Software-Tools aufbereitet und ausgewertet. Die Ursachen für aufgetretene Vorkommnisse wurden als Freitext erfasst und konnten daher nicht automatisiert analysiert werden. Ein Kurzbericht zu den beobachteten Meldungen wird erstellt und den mitwirkenden Einrichtungen zur Verfügung gestellt. Die bislang in einer Einrichtung aufgelaufenen Mängel werden im Vergleich zu denen der anderen Einrichtungen besprochen.

5. ERGEBNISSE

5.1 AUFARBEITUNG DES STANDES VON WISSENSCHAFT UND TECHNIK

Wie im Bericht zu Arbeitspaket 1 zu entnehmen ist, zeigte sich, dass bislang kein flächendeckendes, allgemein (Nuklearmedizin, Radiologie und Onkologie) etabliertes System zur Erfassung von Vorkommnissen außerhalb Deutschlands besteht. In Irland wurde lokal ein derartiges System 2013 eingerichtet. Die dort zur Anwendung kommenden Kriterien sind einfacher als die im Deutschen Strahlenschutzrecht konkretisierten. In den international verfügbaren Arbeiten sowie Modellprojekten zur Etablierung von Meldekriterien wurden folgende Notwendigkeiten für ein funktionierendes System benannt:

- Niederschwelligkeit
- Anonymität

- Dokumentation zur Schaffung von Trainings- und Optimierungszwecken.

5.2 ERFASSUNG VON VORKOMMNISSEN IM KLINISCHEN ALLTAG

Die Rekrutierung der mitwirkenden Einrichtungen erwies sich erwartungsgemäß schwierig. Besonders die im jeweiligen Bereich tätigen Mitarbeiter begegneten dem Vorhaben äußerst skeptisch. Dass die Datenfreigabe an die Projektpartner anonymisiert erfolgt, konnte jedoch glaubhaft versichert werden. Als Motivation am Projekt teilzunehmen, wurde die Mitgestaltung eines zukünftig einheitlichen Meldesystems sowie eine rasche Struktur zur Umsetzung der neuen Strahlenschutz-Gesetzgebung in Aussicht gestellt.

Die Integration in die vorhandenen IT-Umgebungen stellte sich sehr unterschiedlich dar. In wenigen Einrichtungen konnte erst sehr verspätet mit der Erfassung von Vorkommnissen begonnen werden. Zudem zeigte sich, dass in den verschiedenen Einrichtungen mit unterschiedlich hohem Engagement Vorkommnisse dokumentiert werden. Es ist möglich, dass in einigen Einrichtungen nicht sämtliche Vorkommnisse berichtet werden. Beinahe-Vorkommnisse wurden bislang nahezu nicht gemeldet. Es ist im weiteren Verlauf des Projektes durch gezielte Recherchen in Einrichtungen nachzuvollziehen, ob eine mögliche unvollständige Dokumentation bei Nachforschungen festgestellt werden kann.

Anhand der ersten Zwischenauswertung ist darüber hinaus allgemein festzuhalten, dass im Bereich Röntgendiagnostik mit 217 von insgesamt 246 gemeldeten Ereignissen weit mehr erfasst wurde als von nuklearmedizinischen Einrichtungen.

Aus den erfassten Ursachen ist ersichtlich, dass etwa ein Drittel der gemeldeten Vorkommnisse auf technischen Fehlaufnahmen beruhen. Bei einem weiteren Drittel wurden keine Ursachen angegeben.

Keine der bislang erfassten Meldungen wäre unter Anwendung der Meldekriterien nach StrlSchV ein meldepflichtiges Vorkommnis.

6. GEPLANTE WEITERARBEIT

Die Anwendungsstudie wird bis etwa Juli/August 2019 weitergeführt. Es ist gegen Ende März 2019 eine weitere Zwischenauswertung und zum Abschluss der Anwendungsstudie eine Endauswertung vorgesehen.

Die Dokumentationssoftware wird unter Berücksichtigung der Rückmeldungen aus den mitwirkenden Einrichtungen sowie der Erfahrungen im Projektteam weiterentwickelt.

Es ist beabsichtigt, in ausgewählten Einrichtungen ohne Vorabinformationen in der Dokumentation nach Vorkommnissen zu suchen und die dabei gewonnenen Erkenntnisse in die Abschlussbetrachtung einfließen zu lassen.

Für den Bereich Röntgendiagnostik wird ein Leitfaden erstellt, der den Anwender beim sachgerechten Aufbau eines Dokumentationssystems unterstützen soll.

Thema Evaluation der Brustkrebsmortalität im Deutschen Mammographie-Screening-Programm			
Subject <i>Evaluation of the breast cancer mortality in the German mammography-screening-program</i>			
Kennzeichen 3617S42402	Beginn 01.01.2018	Ende 30.09.2020	Fördermittel EUR 995.485,-
Forschungs- / Auftragnehmer Westfälische Wilhelms-Universität Münster, Institut für Epidemiologie und Sozialmedizin, Bereich Klinische Epidemiologie			
Projektleitung Dr. H. Minnerup	Fachbetreuung BfS Prof. Dr. G. Brix / MB	verantwortlich für den Text Prof. Dr. H.W. Hense	

1. ZIELSETZUNG

Die Evaluationsstudie untersucht, ob es in der Folge des deutschen Mammographie-Screening-Programms zu einer Senkung der Brustkrebsmortalität bei Teilnehmerinnen gekommen ist.

Nach erfolgreich abgeschlossenen Machbarkeitsstudien ist am 01.01.2018 die Hauptstudie gestartet, deren erster Teil bis zum 30.09.2020 abgeschlossen sein soll und in der eine gemeinsame Datenbasis aus mehreren, sich ergänzenden Datenquellen aufgebaut wird. Im zweiten Teil der Hauptstudie sollen dann ab 2021 die statistischen Evaluationsanalysen erfolgen.

2. EINZELZIELSETZUNG

In der Hauptstudie I werden definierte Merkmale für alle im Epidemiologischen Registerteil erfassten Brustkrebsfälle aus dem Landeskrebsregister des größten deutschen Bundeslandes Nordrhein-Westfalen sowie für alle anspruchsberechtigten Versicherten aus sechs großen Gesetzlichen Krankenkassen, von denen vier bundesweit aktiv sind, in einer gemeinsamen Datenbasis zusammengeführt. Dabei werden die in den Machbarkeitsstudien entwickelten Verfahren zum Datenfluss und Datenschutz genutzt. Darüber hinaus ist geplant, auch die Daten aus mehreren, primär in Ostdeutschland lokalisierten Klinischen Krebsregistern in die Datenbasis einzuschließen.

Alle Daten ab dem Zeitpunkt der vollständigen Implementierung des Mammographie-Screening-Programms (2009) sollen im nachfolgenden zweiten Teil der Hauptstudie für detaillierte Analysen zur Verfügung stehen.

3. METHODIK

Die Evaluation des Mammographie-Screening-Programms soll mit unterschiedlichen methodischen Ansätzen im Rahmen von epidemiologischen Beobachtungsstudien durchgeführt werden. Dabei sollen die vermuteten Mortalitätseffekte mit diversifizierten methodischen Ansätzen - wie z. B. Register- bzw. sekundärdatenbasierte Prospektivstudien und Zeitreihenanalysen (Age-Period-Cohort-Modelle) - auf Ergebniskonvergenz überprüft werden. Nur wenn im Ergebnis ähnliche Effektstärken mit unterschiedlichen Analyseverfahren beobachtet werden und diese sich in quantitativen Sensitivitätsanalysen als robust erweisen, kann von einem Beleg für einen kausalen Zusammenhang ausgegangen werden.

4. DURCHFÜHRUNG

4.1 PROJEKTMANAGEMENT

Der Generalunternehmer (GU), die Universität Münster, koordiniert die administrativen und wissenschaftlichen Aktivitäten des Konsortiums. Die in den Machbarkeitsstudien bereits etablierte, zentral zugängliche Literaturdatenbank auf einem Server des GU wurde weiter halbjährlich aktualisiert und umfasst inzwischen über 600 aktuelle Arbeiten mit Bezug zum Forschungsthema. Bei einem Kick-off-Meeting Anfang 2018 wurden der aktuelle Stand und die Planungen aus Sicht des Auftraggebers sowie die allgemeinen und spezifischen Pla-

nungen besprochen. Im Verlauf des Jahres fanden dann regelmäßige Quartaltreffen zwischen GU und UA (Unterauftragnehmer) statt.

4.2 MODELL EPIDEMIOLOGISCHE KREBSREGISTER

Die in den Machbarkeitsstudien vom UA Landeskrebsregister NRW entwickelten Konzepte zu Datenfluss und Datenschutz wurden im ersten Jahr der Hauptstudie inhaltlich an die veränderten rechtlichen Rahmenbedingungen angepasst; ihre technische Entwicklung wurde abgeschlossen, so dass sie nun volle Funktionsfähigkeit aufweisen. Hierzu gehörte insbesondere die Fertigstellung der wesentlichen Komponenten der dedizierten Software SecuNym. Damit sind die technischen Voraussetzungen für die Zusammenführung von Daten aus dem Landeskrebsregister NRW und von den Kassenärztlichen Vereinigungen in Westfalen-Lippe und Nordrhein in einer Register-basierten Daten zusammenführenden Stelle geschaffen.

Das Datenschutzkonzept der Hauptstudie wurde nach Inkrafttreten der europäischen Datenschutzgrundverordnung nochmals überarbeitet, wobei sich hinsichtlich des Datenflusses allerdings kein nennenswerter Änderungsbedarf ergab. Darüber hinaus wurde auch ein neues Datenflusskonzept für die Zusammenführung der versicherten-basierten Krankenkassendaten in einer Kassen-basierten Daten zusammenführenden Stelle entwickelt und die IT-Umsetzung realisiert.

Daten zum Brustkrebsgeschehen in NRW seit Einführung des Mammographie-Screening-Programms werden regelmäßig aufbereitet (z. B. Identifizierung und Validierung von Intervallkarzinomen) und bereiten die Analysen im zweiten Teil der Hauptstudie vor. Hinzu kommen statistische Methodenentwicklungen, mit denen ein „Korrekturfaktor“ (zum Ausgleich eines Selbstselektionsbias bei Teilnehmerinnen) spezifischer an die epidemiologische Situation in NRW angepasst werden soll.

4.3 MODELL GESETZLICHE KRANKENKASSENDATEN

Die Nutzung von Daten sechs zum Teil überregional agierender Gesetzlicher Krankenkassen war in den Machbarkeitsstudien nur für die Modellregionen NRW, Niedersachsen, Bremen und Sachsen bereits geprüft worden. Der Datenbestand wird nun bei den Unterauftragnehmern (Leibniz-Institut für Epidemiologie und Präventionsforschung BIPS GmbH und SOCIUM Forschungszentrum Ungleichheit und Sozialpolitik, Abteilung Gesundheit, Pflege und Alterssicherung, der Universität Bremen) auf die gesamte Bundesrepublik ausgeweitet und gleichzeitig um neue Kalenderjahre erweitert.

Da eine genaue Todesursache im Datenbestand der Gesetzlichen Krankenkassen nicht enthalten ist, wird im Zuge einer Anreicherung der Krankenkassendaten mit amtlichen Todesursachen ein Record-Linkage mit den Epidemiologischen Krebsregistern in NRW, Niedersachsen und Bayern vorbereitet. Für den Abgleich wurden geänderte Verfahren erforderlichen, die gegenwärtig an neue landesgesetzliche Vorschriften angepasst werden.

Für Versicherte aus den übrigen Bundesländern wird in den Daten die Todesursache mit Hilfe eines Todesursachen-Prädiktions-Algorithmus angereichert, der in den Machbarkeitsstudien entwickelt und prinzipiell getestet worden war.

Die in den Machbarkeitsstudien eingesetzten statistischen Verfahren der Propensity-Score-Analyse zur Kontrolle des Healthy-Screenee-Bias werden deshalb fortlaufend bereits im ersten Teil der Hauptstudie an sich rasch entwickelnde, neue Analyseverfahren angepasst und im Konsortium weiterentwickelt.

In Vorbereitung des zweiten Teils der Hauptstudie werden methodisch-statistische Aspekte der komplexen Propensity-Score-Analysen in einem regelmäßigen am BIPS eingerichteten Treffen aller beteiligten Wissenschaftler von GU und UA diskutiert; diese widmen sich methodischen Neuerungen (z. B. inverse probability weighting vs. Propensity-Score-Matching; *emulated trials*), die relevante Innovationen für die Analysen ergeben könnten.

4.4 MODELL KLINISCHE KREBSREGISTERDATEN

Im ersten Jahr der Hauptstudie wurden vom UA Arbeitsgemeinschaft der deutschen Tumorzentren (ADT) zunächst die länderspezifischen Bestimmungen identifiziert, um zu prüfen, ob die Zusammenführung von Daten Klinischer Krebsregister mit Daten der Mammographie-Screening-Einheiten möglich ist.

Intensiv wird nach Möglichkeiten gesucht, die in den Klinischen Krebsregistern, vor allem in Ostdeutschland, seit Beginn des Mammographie-Screening-Programms erfassten Daten zu Brustkrebserkrankungen mit der Information zur Screeningteilnahme anzureichern. Dazu konzipiert die ADT gegenwärtig ein Forschungspro-

jekt in Mecklenburg-Vorpommern, das die datenschutzrechtlichen Bedingungen eines retrospektiven Datenabgleichs für die Jahre 2009 bis 2017 prüfen soll.

5. ERGEBNISSE

Ergebnisse liegen in diesem Stadium der Studie noch nicht vor.

6. GEPLANTE WEITERARBEIT

Die Errichtung einer register- und kassenbasierten Datenbasis bis zum Ende des Jahres 2020 wird weiterverfolgt. Diese Datenbasis ist dann Grundlage für die Auswertungen in der Hauptstudie II.

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**
31.08.2019**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. Giussani / MB 3**verantwortlich für den Text**
Dr. R. Pokora, Dr. D. Wollschläger,
Dr. G. Stamm, A. Jahnen,
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

Für AP 2 wurden in Abstimmung mit dem BfS bestimmte Röntgenanwendungen (insbesondere CT-Untersuchungen) und radiologische Interventionen für eine weitergehende Datenerhebung ausgewählt; für sie werden in den teilnehmenden ärztlichen Einrichtungen aus AP 1/Arbeitsschritt 2 aus einem zusammenhängenden Zeitraum von 24 Monaten anonymisierte Daten erhoben. Dazu gehören Patienten-Stammdaten (Altersgruppe und Geschlecht) und dosisrelevante Parameter.

Hierzu wurde für jede Datenquelle (manuell, Radiologisches Informationssystem (RIS), Picture Archiving and Communication System (PACS), Dosismanagementsystem (DMS)) ein standardisiertes Protokoll zur Datenerhebung (SOP) und zusätzlich für das PACS die Software PACS Series Query Tool 2.0 entwickelt. Das PACS Series Query Tool benötigt eine lokale Verbindung zum Krankenhaus-PACS mit den Operationen QUERY und RETRIEVE. Es dient dazu, die technischen Untersuchungsparameter, die im Rahmen des Projektes benötigt werden, aus den im PACS gespeicherten Bildern zu erfassen. Die dabei extrahierten Daten werden anonymisiert in Textdateien gespeichert.

Hierzu sollten die in AP 1 erhobenen Daten verwendet werden, um die IDs der relevanten Aufnahmen im PACS zu finden und auslesen zu können. Da die Daten aus AP 1 allerdings nur ein Jahr abdecken, würden nicht alle Untersuchungen erhoben. Es zeigte sich zudem, dass sich im weiteren Verlauf die Untersuchungs-namen u. U. änderten.

Aus diesem Grund musste das PACS-Tool überarbeitet werden. Aktuell sollen jetzt in einem zweistufigen Verfahren zuerst die Untersuchungs-namen aus AP 1 für zwei Jahre erhoben und anschließend mit dieser aktuellen Liste der Untersuchungs-namen die Untersuchungsparameter erhoben werden. Konkret erhebt das PACS Series Query Tool in einem ersten Schritt für den Zeitraum 01.07.2016 bis 30.06.2018 alle (je nach Datenmenge nur eine Stichprobe) Untersuchungen für die vom Projekt betrachteten Untersuchungsarten, die an Kindern bis zum Alter von 18 Jahren durchgeführt wurden. In diesem ersten Schritt legt die Software daraufhin auf der lokalen Festplatte eine Exportdatei an, die die Häufigkeiten der Untersuchungen und lokalen Studienbeschreibungen erfasst.

Diese Datei wird verwendet, um ein Mapping zwischen den zu erhebenden Untersuchungen und den dazugehörigen Studienbeschreibungen in der jeweiligen Institution zu erstellen. Nach einer Überprüfung in der Einrichtung werden in Schritt 2 der Datenerhebung mit dem PACS- Tool nur Untersuchungen dieser ausgewählten Standarduntersuchungen erfasst. Die Untersuchungsparameter werden in vier Listen (je eine Liste für jede Modalität: Röntgen, CT, Durchleuchtung und Angiographie) lokal in Textdateien abgelegt. Ist die Datenerfassung abgeschlossen, können die gesammelten Daten auf personenbezogene Informationen überprüft und übermittelt werden.

4. DURCHFÜHRUNG

Für AP 2 wurden alle zuvor identifizierten Einrichtungen kontaktiert, die ihre Bereitschaft zur weiteren Datenerhebung erteilt hatten. Ihnen wurde eine SOP zur Erhebung der Daten im RIS, DMS oder PACS zur Verfügung gestellt. Die Datenerhebung manuell, RIS und DMS ist dabei unterschiedlich aufwendig, weswegen jeder Einrichtung angeboten wurde, sie vor Ort zu unterstützen.

Für die Abfrage der bei einer Aufnahme verwendeten Geräteparameter aus dem PACS wurde das Java-basierte Softwaretool PACS-Tool 2.0 entwickelt und an der Universitätsmedizin Göttingen und Mainz erfolgreich getestet. Mittlerweile werden die Daten erhoben, und in zwei Einrichtungen konnte die Datenerhebung bereits abgeschlossen werden.

Die Entwicklung des PACS Query Tools benötigte mehrere Iterationen, da die Daten aus AP 1 zur Abfrage der Daten nicht ausreichten. Aus diesem Grund musste das Tool modifiziert werden und erhebt die Daten nun in zwei Schritten. In einem ersten Schritt werden alle Daten für zwei Jahre bei Kindern abgefragt. Aus diesen Daten werden dann mit SAS 9.4 die relevanten Untersuchungen extrahiert und eine Mapping-Datei erstellt. Mit Hilfe dieser Datei werden dann in einem zweiten Schritt mit dem PACS Query Tool die Dosisparameter für die relevanten Untersuchungen erhoben. Mit Hilfe von SAS werden die beiden anonymisierten Dateien dann über die DICOM SeriesID zusammengeführt.

5. ERGEBNISSE

Die in AP 1 vorgesehene Identifikation relevanter ärztlicher Einrichtungen erfolgte auf Basis einer Umfrage unter Chefärzten der Radiologie, Leitern der Kinderradiologie und Verantwortlichen in relevanten radiologischen Praxen. Bei der Auswertung von AP 1 zeigte sich, dass speziell die interventionelle Radiologie unterrepräsentiert ist¹⁾. Zur Nachrekrutierung wurden gezielt auf interventionelle Radiologie spezialisierte Einrich-

¹⁾ Literatur: Pokora R, Wollschläger D, Stamm G, Jahnen A, Hermen J, Mildenerger P, et al. Erfassung der relativen Häufigkeiten und Strahlendosen von Röntgenanwendungen in der pädiatrischen Radiologie. Fortschr Röntgenstr. 2018;190(10):867.

tungen angeschrieben, da das einmalige Anschreiben der 1 370 Mitglieder der Gesellschaft für Interventionelle Radiologie (DeGIR) im Oktober 2017 nicht zur Teilnahme dieser Einrichtungen führte.

Insgesamt konnten sieben weitere Teilnehmer hinzugewonnen werden: drei Herzzentren, zwei Kliniken für Kinderkardiologie an Universitätsmedizinern und zwei Zahnarztpraxen. Von den fünf interventionellen Einrichtungen hatten alle kinderradiologische Maßnahmen mit mehr als 20 Anwendungen pro Jahr durchgeführt. In allen fünf wurden diagnostische Angiographien mit mehr als 20 Anwendungen pro Jahr bei Kindern durchgeführt. Bei interventionellen Maßnahmen bei Gefäßmalformationen waren es nur vier. Vier Einrichtungen führten weitere Maßnahmen durch. Hier wurden ASD-Occlusionen, PDA-Occlusionen, Coilembolisation, BAP¹⁾ mit endolinen Stent, Kardioangiographie, diagnostische und therapeutische Herzkatheter und Katheterablationen genannt.

Die interventionellen Radiologen betonten, dass bei einer zukünftigen Studie die Deutsche Gesellschaft für Thorax-, Herz- und Gefäßchirurgie (DGTHG) und die Deutsche Gesellschaft für Pädiatrische Kardiologie (DGPK) kontaktiert werden sollten. Diese haben nach einer zweijährigen Pilotphase zum 1. Oktober 2011 mit einer Erhebung aller Operationen und Interventionen bei angeborenen Herzfehlern in Deutschland begonnen (<https://patientenvertretung.g-ba.de/antraege/qualitaessicherung/qualitaet-der-herzchirurgischen-versorgung-von-kindern-und-jugendlichen/>). Dies geschieht im Rahmen einer freiwilligen bundesweiten Qualitätssicherungs-Maßnahme. Abzuklären ist noch, ob zusätzlich Unfallchirurgen und Kinderchirurgen zu berücksichtigen sind, da dort auch routinemäßig C-Bögen zum Einsatz kommen.

Von den zwei Zahnarztpraxen hatte nur eine mehr als 20 Anwendungen bei Kindern durchgeführt. Hier wurden OPG²⁾ und Einzelzahnaufnahmen genannt. Zusätzlich gaben sie an, dass DVT³⁾ in Einzelfällen durchgeführt wird, allerdings deutlich seltener als 20-mal jährlich.

6. GEPLANTE WEITERARBEIT (AP 3)

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 Röntengeräten mit Speicherfolien weiter abnehmen, so dass ihre Berücksichtigung zunehmend verzichtbar wird.

¹⁾ Ballonangioplastie

²⁾ Orthopantomogramm

³⁾ Digitale Volumentomographie

Thema Erhebung von Häufigkeit und Dosis für nuklearmedizinische Untersuchungsverfahren			
Subject <i>Survey to determine frequency and radiation dose from nuclear medical diagnostics</i>			
Kennzeichen 3617S42443	Beginn 01.11.2017	Ende 31.10.2019	Fördermittel EUR 133.399,-
Forschungs- / Auftragnehmer Städtisches Klinikum Braunschweig gGmbH			
Projektleitung Dr. M. Borowski	Fachbetreuung BfS Dr. A. Kamp / MB 3	verantwortlich für den Text Dr. M. Borowski	

1. ZIELSETZUNG

Die regelmäßige Ermittlung der medizinischen Strahlenexposition der Bevölkerung und ausgewählter Bevölkerungsgruppen sowie die Erstellung von diagnostischen Referenzwerten (DRW) für nuklearmedizinische Untersuchungen gehören zu den Aufgaben des Bundesamtes für Strahlenschutz. Für die Berichterstattung sowie die Aktualisierung der in der StrlSchV 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. Ziel des Vorhabens ist es daher, die genannten Daten in einer repräsentativen Erhebung zu erfassen.

2. EINZELZIELSETZUNG

Im Vorhaben sind 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 und möglichst auch der Versicherungsstatus der Patienten über 2 Jahre möglichst lückenlos zu erheben.

2.1 REKRUTIERUNG EINER HINREICHEND GROßEN ANZAHL AN KLINIKEN UND PRAXEN

Es sind in ausreichender Anzahl Kliniken und Praxen, in denen Daten erhoben werden sollen, auszuwählen.

2.2 DATENERHEBUNG

Daten zur Häufigkeit nuklearmedizinischer Verfahren bei Patienten in Deutschland sind über einen Zeitraum von zwei kompletten Kalenderjahren (2016 und 2017) in den nach Abschnitt 2.1 rekrutierten Kliniken und Praxen zu erheben.

Der Datensatz muss wesentliche Informationen, z. B. Geschlecht und Alter der Patienten, das untersuchte Organsystem sowie die applizierte Aktivität enthalten. Bei Hybridmodalitäten sind ergänzend Daten zur Strahlenexposition durch die CT-Komponente zu erheben.

2.3 AUSWERTUNG DER DATEN UND BERECHNUNG DER EFFEKTIVEN DOSIS FÜR DIE EINZELNEN UNTERSUCHUNGEN

Die nach Abschnitt 2.2 erhobenen Daten sind auszuwerten und die effektive Dosis für die einzelnen Untersuchungen zu berechnen. Die Zusammenstellung ist für jedes untersuchte Jahr durchzuführen. Für jedes Organsystem sind zusätzlich statistische Größen zur Vorbereitung der Überarbeitung der diagnostischen Referenzwerte zu berechnen.

3. METHODIK

Kliniken und Praxen wurden durch die folgenden Aktionen angesprochen und zur Mitarbeit motiviert:

- Persönliche Ansprache der Teilnehmer aus der vorangegangenen Erhebung von Daten zu nuklearmedizinischen Untersuchungen sowie weiteren persönlich bekannten Einrichtungen

- Vorstellung des Projektes beim zentralen Erfahrungsaustausch der Ärztlichen Stellen sowie direkte Anfrage bei sämtlichen Ärztlichen Stellen und Bitte um Information der Einrichtungen im zugeordneten Bereich
- Unterstützung und Verteilung von Informationsmaterialien über den Bund Deutscher Nuklearmediziner (BDN)
- Kontaktaufnahme mit einigen Sachverständigenorganisationen sowie freien Medizinphysikexperten und Bitte um Werbung für die Erhebung
- Anfrage um Unterstützung bei der Deutschen Gesellschaft für Nuklearmedizin (DGN)
- Information über den bundesweit verfügbaren Newsletter der Ärztlichen Stelle Hessen.

4. DURCHFÜHRUNG

4.1 REKRUTIERUNG EINER HINREICHEND GROßEN ANZAHL AN KLINIKEN UND PRAXEN

Zur Information wurden Materialien erstellt und über die oben benannten Kanäle verteilt.

In Summe konnten in etwa 70 Einrichtungen rekrutiert werden. Von den ursprünglich rekrutierten Einrichtungen haben im Verlauf des Projektes einige Einrichtungen die Mitarbeit aufgekündigt. Als Hauptgründe wurden benannt:

- zu hoher Arbeitsaufwand
- Datenschutzbedenken
- keine Einsicht in die Notwendigkeit und Sinnhaftigkeit einer Erhebung im Sinne der Leistungsbeschreibung.

Um den in den Einrichtungen entstehenden Aufwand zu kompensieren, wurde allen mitwirkenden Einrichtungen eine Übernahme der Aufwendungen aus Projektmitteln zugesagt. Dieses war gleichwohl nicht immer ausreichend.

Um Datenschutzbedenken zu begegnen, wurde ein Datenschutzgutachten eingeholt. Dieses wurde jedoch nicht in allen Fällen als ausreichend angesehen.

Im Fall fehlender Einsicht in die Sinnhaftigkeit wurde mit den Einrichtungen eingehend gesprochen. Dieses war jedoch nicht in allen Fällen ausreichend.

4.2 DATENERHEBUNG

Daten zu der Häufigkeit nuklearmedizinischer Untersuchungen konnten in den meisten Fällen aus dem Dokumentationssystem der Einrichtungen entnommen werden. In einigen Fällen ließen sich die Daten vergleichsweise gut von dem klinischen oder Assistenzpersonal exportieren. In den meisten Fällen war für den Export die Unterstützung der vor Ort betreuenden IT oder der Herstellerfirma des Dokumentationssystems erforderlich. In einigen Fällen lagen zumindest Teile der Dokumentation, z. B. zu den verabreichten Aktivitäten, nicht elektronisch vor. In diesen Fällen wurden die Daten vollständig oder in Abstimmung mit dem BfS im Rahmen einer Stichprobe ergänzt.

Daten zu der bei der Hybridbildgebung ergänzend auftretenden Strahlenexposition durch die CT-Komponente waren in fast allen Fällen nicht elektronisch verfügbar. Die Erhebung dieser Daten stellt für die Betreiber einen wesentlichen Aufwand dar. Eine Erhebung ist daher nur im Rahmen überschaubarer Stichproben möglich.

4.3 AUSWERTUNG DER DATEN UND BERECHNUNG DER EFFEKTIVEN DOSIS FÜR DIE EINZELNEN UNTERSUCHUNGEN

Die Daten zu den nuklearmedizinischen Untersuchungen werden von den Einrichtungen in unterschiedlichen Datenformaten und Codierungen bereitgestellt. In etlichen Fällen ist eine Umcodierung erforderlich. Ergänzend werden als applizierte Aktivität unterschiedliche Daten dokumentiert. In einigen Einrichtungen wird hier wirklich die applizierte Aktivität unter Einbeziehung einer Rückmessung der in der Spritze verbleibenden Restaktivität dokumentiert. In anderen Einrichtungen unterbleibt die Rückmessung oder es wird gleich nur die zum Zeitpunkt der Präparation gemessene Aktivität dokumentiert und eine Korrektur um den Zerfall zwischen Präparation und Applikation unterbleibt. Die Daten werden vor der Auswertung durch Importfilter auf eine einheitliche Vorgehensweise korrigiert. Zudem werden vor der Analyse Dokumentationsfehler korrigiert.

Die Analyse der Daten steht noch aus, da der Schritt der Datennahme noch nicht abgeschlossen ist.

5. ERGEBNISSE

5.1 REKRUTIERUNG EINER HINREICHEND GROßEN ANZAHL AN KLINIKEN UND PRAXEN

Die Rekrutierung durch direkte Ansprache von Einrichtungen war aufwändig aber vergleichsweise erfolgreich. Von einigen Ärztlichen Stellen, z. B. Hamburg, Schleswig-Holstein oder Hessen, wurde die Erhebung aktiv unterstützt. Aus diesen Bereichen wurden überproportional viele Einrichtungen rekrutiert. Es gibt jedoch auch Bereiche, z. B. das Bundesland Sachsen, aus dem trotz aller Bemühungen bislang keine Einrichtung rekrutiert werden konnte.

5.2 ERHEBUNG

Ohne es bislang abschließend bewerten zu können, scheint im Zeitraum zwischen der vorangegangenen und dieser Erhebung der Ausbau der Dokumentation in den nuklearmedizinischen Einrichtungen nicht relevant vorangeschritten zu sein. In einigen Einrichtungen sind Daten ohne relevanten Aufwand und in guter Qualität verfügbar. Es verbleiben allerdings etliche Einrichtungen mit zumindest teilweise papierbasierter Dokumentation. Insbesondere im CT-Bereich ist es in den meisten Einrichtungen nicht möglich, Daten automatisch zu exportieren.

6. GEPLANTE WEITERARBEIT

Die Datenerhebung wird weiter durchgeführt und die erhobenen Daten zu den nuklearmedizinischen Untersuchungen werden anschließend ausgewertet. Die Studie soll gemäß Plan beendet werden.

Thema

Einweisung und Schulung medizinischen Personals in die sachgerechte Handhabung von Geräten zu diagnostischen Zwecken in der Radiologie und Nuklearmedizin (Evaluation der Ausbildungsqualität im Strahlenschutz (EDAQS))

Subject

Instruction and training of medical staff for the proper handling of diagnostic imaging modalities in radiology and nuclear medicine (Evaluation of the quality of education in radiation protection)

Kennzeichen
3617S42444

Beginn
01.03.2018

Ende
30.09.2019

Fördermittel
EUR 282.038,-

Forschungs- / Auftragnehmer

Universitätsklinikum Münster, Institut für Klinische Radiologie, Münster

Projektleitung
H. Lenzen

Fachbetreuung BfS
Dr. H. de las Heras Gala / MB 3

verantwortlich für den Text
P. Strauß

1. ZIELSETZUNG

Der Ausbildungsstand der im Umgang mit ionisierenden Strahlen tätigen Personen entscheidet in hohem Maße über die Strahlenexposition und die Sicherheit von Patient und Personal. Infolgedessen wird in diesem Projekt untersucht, ob das vorhandene, in der Fachkunderichtlinie vorgeschriebene Ausbildungskonzept, bestehend aus Sachkunde und Kursen im Strahlenschutz für die praktische Durchführung eines Strahlenschutzkonzepts, zielführend ist. Überdies soll überprüft werden, ob die nach der Medizinproduktebetriebsverordnung und Strahlenschutzverordnung erforderliche Einweisung des Personal optimal auf den dosisoptimierten Umgang mit radiologischen und nuklearmedizinischen Geräten vorbereitet. Das langfristige Ziel dieses Projekts ist die nachhaltige Verbesserung des Wissenstands des medizinischen Personals in Belangen des Strahlenschutzes und die Verbesserung der sachgerechten Handhabung von Röntgengeräten und nuklearmedizinischen Systemen zur Ausschöpfung aller Potentiale der Dosisoptimierung.

2. EINZELZIELSETZUNG

Das Projekt wird in zwei Arbeitspaketen bearbeitet und umfasst die nachfolgend genannten Einzelziele.

2.1 AUFARBEITUNG DES SYSTEMS, DES ERWERBS UND DER AKTUALISIERUNG DER FACHKUNDE IM STRAHLENSCHUTZ UND VERGLEICH MIT INTERNATIONALEN EMPFEHLUNGEN (AP 1)

Das AP 1 besteht aus den folgenden vier Abschnitten:

- Die Ziele der Ausbildung in Bezug auf die klinische Arbeit und den Strahlenschutz werden durch eine Expertenrunde detailliert festgelegt und darauf aufbauend Fragebögen und Surrogatparameter entwickelt.
- Rechtlich vorgeschriebene Strahlenschutzkurse werden bei unterschiedlichen Anbietern begleitet und durch Fragebögen hinsichtlich des vermittelten theoretischen und praktischen Wissensstoffs sowie der didaktischen Konzepte evaluiert.
- Zur Beurteilung der Ist-Situation werden Geräteeinweisungen und darauf aufbauende Übungsangebote der Gerätehersteller in den drei verschiedenen Disziplinen Computertomographie, interventionelle Radiologie und Nuklearmedizin begleitet und evaluiert.

Die Forderungen, die sich an die Umsetzung der aus AP 1 benannten Schulungen bzw. Kurse des medizinischen Personals richten, ergeben sich aus nationalen und internationalen Vorgaben. Neben einer Aufstellung dieser geforderten Maßnahmen wird der Umsetzungsgrad im Arbeitsalltag untersucht.

2.2 VORSCHLAG ZUR VERBESSERUNG DER GRUNDKENNTNISSE UND DER PRAKTISCHEN FERTIGKEITEN DES MEDIZINISCHEN PERSONALS AN GERÄTEN IN BELANGEN DES STRAHLENSCHUTZES (AP 2)

Vor dem Hintergrund der in AP 1 erzielten Ergebnisse werden konkrete Vorschläge zur nachhaltigen Verbesserung der bestehenden Ausbildung und von (beruflich begleitenden) Schulungen des medizinischen Personals in Belangen des Strahlenschutzes in den Disziplinen Röntgendiagnostik, interventionelle Radiologie und Nuklearmedizin erarbeitet.

3. METHODIK

Durch die Bildung einer Expertenrunde werden im Vorfeld Fragebögen und Surrogatparameter entwickelt, an Hand derer die Qualität von Wissensinhalten und deren Vermittlung beschrieben werden kann. Über einen speziellen Score soll jedem Themenbestandteil eine Wertigkeit zum Zielkatalog zugeordnet werden.

Die Überprüfung der Kurse erfolgt durch persönliche Teilnahme von je zwei Personen des Studienteams über die gesamte Kurszeit. Dabei wird die Qualität der Kurse mithilfe von Checklisten hinsichtlich der didaktischen Techniken und des Skriptinhalts (insbesondere der Anteil des klinisch relevanten Wissens) untersucht. Zusätzlich werden Kosten, Pausen, Prüfungsbedingungen und weitere relevante Rahmenbedingungen untersucht.

Neben der Auswertung des Ausbildungsmaterials erfolgen strukturierte Interviews mit Kursleitern und Referenten. Eine hohe Qualität der Kurse zeigt sich insbesondere durch eine Wissenserweiterung bei den Teilnehmern. Zur Ermittlung erfolgt eine Erhebung des Wissenstandes vor und nach dem Kurs anhand von anonymisierten Fragebögen mit persönlichen Identifikationsnummern (PIN). Hierdurch soll die Veränderung der Qualität der Antworten individuell nachgewiesen werden. Über einen weiteren Fragebogen mit PIN wird zusätzlich eine Kurzbefragung der Teilnehmer durchgeführt.

Das generelle Ausbildungs- und Einweisungskonzept wird durch Interviews mit den verantwortlichen Stellen der Hersteller erfasst. Die Visitationen mit einer Dauer von mindestens zwei Tagen werden durch zwei Mitglieder des Studienteams persönlich durchgeführt. Dabei werden Fragebögen an die Einzuweisenden verteilt sowie ein strukturiertes Interview mit dem Einweiser geführt.

4. DURCHFÜHRUNG

4.1 EXPERTENWORKSHOPS (AP 1)

Es wurden zwei Workshops mit Behördenvertretern, Radiologen, Medizinphysikern, Kursleitern, Lehr- und leitenden MTRAs durchgeführt. Dabei konnten die Inhalte der Fragebögen und Interviewbögen sowie erste Ansätze zur Bearbeitung des AP 2 erarbeitet werden.

4.2 STRAHLENSCHUTZKURSE (AP 1)

Die strukturierten Interviews konnten mit allen Kursleitern bzw. Veranstaltern geführt werden. Alle Terminabstimmungen wurden mit den Veranstaltern vorgenommen und es konnten 62 % aller Kurse visitiert und mit Fragebögen dokumentiert werden.

4.3 EINWEISUNG (AP 1)

Persönliche Interviews mit den Verantwortlichen der nationalen Ausbildungszentren der Hersteller wurden mit durchweg positiver Rückmeldung zum Projekt geführt. Trotz dieser positiven Reaktion zu Beginn des Projekts kam es im Verlauf zu Verzögerungen bei der Vermittlung von Einarbeitungsterminen unter anderem durch Bedenken der angesprochenen Betreiber. Mit einer gewissen Verzögerung konnte dennoch eine Terminabstimmung mit den Herstellern und den Betreibern für alle geplanten Geräte vorgenommen werden.

4.4 NATIONALE UND INTERNATIONALE VORGABEN (AP 1)

Es wurden alle wichtigen Literaturstellen aus EU und nationalen Quellen zusammengefasst und analysiert. Zugleich wurden Kontakte zu Fachpersonen aus dem Strahlenschutz mit Kenntnissen zur Gesetzgebung für Österreich bzw. Schweiz aufgenommen.

5. ERGEBNISSE

Mit Stand vom 12.02.2019 wurden folgende Ergebnisse erzielt:

5.1 EVALUATION FÜR DIE KURSE IM STRAHLENSCHUTZ (AP 1)

An der Evaluation des Kurssystems nahmen bisher 560 Teilnehmer aus 8 Kursen teil. Dabei kam es zu positiven Rückmeldungen der Teilnehmer und Veranstalter bezüglich des Projekts mit Ideen und Vorstellungen für mögliche Änderungen der gesetzlichen Vorgaben. Bei einer ersten Auswertung der Kurse zeigte sich eine durchgehend positive Wissenserweiterung der Teilnehmer. Außerdem fiel eine Diskrepanz zwischen der Einschätzung der Teilnehmer und des Studienteams in Hinsicht der Qualität der Kurse auf.

5.2 EVALUATION FÜR DAS EINWEISUNGSKONZEPT (AP 1)

Die Einweisungskonzepte der Hersteller können auf Grund der oftmals nicht optimalen Rahmenbedingungen während der Einweisungen nicht vollständig umgesetzt werden. Die Einweiser können sich dank ihrer Erfahrung flexibel an die verschiedenen Rahmenbedingungen anpassen. Von Seiten der Eingewiesenen wird ebenfalls die Problematik erkannt und es wurde häufig der Wunsch geäußert, die Rahmenbedingungen bei der nächsten Einweisung besser zu gestalten. Gleichzeitig weisen die Eingewiesenen bei den Einweisungen einen sehr heterogenen Vorbildungsgrad auf. Der Fokus liegt bei den Einweisungen nicht auf dem Strahlenschutz.

6. GEPLANTE WEITERARBEIT

Die Visitationen von Kursen und Einweisungen werden dem Studienplan entsprechend finalisiert. Anschließend werden die Anforderungen aus den nationalen und internationalen Vorgaben mit den praktischen Beobachtungen bezüglich ihres Umsetzungsgrades untersucht und die Ergebnisse im Abschlussbericht für AP 1 zusammengefasst.

In Vorbereitung auf den Abschlussbericht werden im Kontext des AP 2 zwei weitere Expertenworkshops geplant. In einem dieser Workshops sollen zusätzlich die Kursleiter und Veranstalter einbezogen werden. Eine endgültige schriftliche Erstellung des AP 2 findet dann ausschließlich zwischen den Mitgliedern dieses Projekts statt.

Themenbereich 05
Radioökologie

Subject area 05
Radioecology

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 / UR 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.

Im Rahmen des Forschungsprojektes sollen Säulenexperimente durchgeführt werden, die die Szenarien Grundwasseraufstieg und Beregnung für verschiedene REFESOL-Modellböden 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 ersetzt (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 werden mit dem vorhandenen Modell nachsimuliert. Die experimentell ermittelten Kd-Werten werden mit den vom Modell berechneten Werten verglichen, um dessen Gültigkeit zu untermauern.

3. METHODIK

In der Versuchsplanung wird der experimentelle Aufbau durch die Literaturrecherche sowie einer Vorabsimulation optimiert. Dies ist notwendig, um die einzusetzenden Aktivitäten so einzustellen, dass die radioaktive Belastung minimiert wird und gleichzeitig ausreichend Aktivität für die Radionuklidanalyse bereitgestellt werden kann. Anschließend finden die Säulenexperimente statt, bei denen in Szenario 1 der Grundwasseraufstieg und in Szenario 2 die Beregnung mit radioaktiv belastetem Wasser experimentell realisiert werden. Aus den Analysen des finalen Zustands werden die Kd-Werte der Radionuklide abgeleitet, die mit 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 radioaktive Versuchswasser zur Erzielung von Ausflussbedingungen, die unabhängig vom Wasserstand in dem Vorratsgefäß sind, einer Säule, 6 spiralförmig angeordneten Feuchtigkeits- und Temperatursensoren und einem Datenlogger.

Im Bodenfuß der Säule befindet sich eine Verteilschicht, auf der eine feinmaschige Gage aufgelegt ist. Diese stellt die Trennung zwischen Verteilschicht und Boden dar. Die Mariottesche 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. 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 radioaktiv dotiertem Wasser berieselt. Die Aufgabebelastung gelangt durch mehrere Kanülen die Bodenoberfläche. Die Zugabe erfolgt tropfenweise, um die Bildung von Fließkanälen zu vermeiden. Gleichzeitig wird 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.

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 Prozess besser quantifizieren zu können.

In Anbetracht der zu ermittelnden Parameter ist es möglich, die Kd-Werte der Radionuklide auf Grundlage labortechnischer Analysen zu bestimmen. Basierend auf den Randbedingungen und den spezifischen Materialeigenschaften sollen mit dem Modell die Kd-Werte geprüft werden. Ist dies erfolgreich, kann das Modell allgemeingültig 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.

5.2 DURCHFÜHRUNG UND SIMULATION DER EINSTAUVERSUCHE

Die Einstauversuche für die Referenzböden wurden abgeschlossen. Da die meisten Radionuklide eine hohe Sorptionsfähigkeit an den Modellböden aufweisen, ist die Ausbreitung der Radionuklide auf die untersten Zentimeter der Bodensäule beschränkt. Es wurden daher Analysen an je 3 cm mächtigen Schichten am Säulenfuß durchgeführt. Eine feinere Aufteilung der Bodenschichten war nicht möglich, da ausreichend Probenmaterial (Feststoff und Bodenlösung) für die Radionuklidanalyse bereitgestellt werden musste. Die Radionuklidanalyse stand vor der großen Herausforderung, mit wenig Probenmaterial und einer nicht unerheblichen Anzahl von Radionukliden belastbare Messergebnisse zu ermitteln. Die K_d -Werte wurden aus den Aktivitäten in Feststoff und Bodenlösung erhalten. Die geringsten K_d -Werte wurden erwartungsgemäß für I-129 ermittelt. Die Modellergebnisse spiegelten die experimentell bestimmten K_d -Werte z.T. wider. In einigen Fällen war die chemische Datengrundlage des Modells nicht ausreichend (z.B. Se). Die Versuchsergebnisse zeigen, dass die Ausbreitung der effektiven Radionuklidfront, die durch hohe adsorptiv gebundene Radionuklidaktivitäten gekennzeichnet ist, die ersten Zentimeter (ca. 3 cm) nicht überschritten hat. Die höherliegenden Schichten weisen demnach nur geringe Radionuklidaktivitäten auf, die die Sorptionsprozesse kinetisch hemmen und zur experimentellen Unterschätzung der K_d -Werte führen. Folglich können nur die belastbaren K_d -Werte der ersten Schicht mit der Modellierung abgeglichen werden.

6. GEPLANTE WEITERARBEIT

Die ersten beiden Beregnungsversuche werden durchgeführt. Nach Abschluss der ersten Testanordnung werden die Versuche planmäßig wiederholt. Gleichzeitig findet die analytische Bestimmung der Radionuklide im Feststoff und in der Bodenlösung aus der ersten Testanordnung statt. Sobald die erfassten Daten vorliegen, beginnt die modelltechnische Auswertung der Beregnungsversuche.

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 / UR 6		verantwortlich für den Text Dr. U. Fielitz

1. ZIELSETZUNG

Sus Scrofa (Wildschwein) ist die einzige Tierart, die auch 30 Jahre nach dem Tschernobyl-Fallout in einigen Gebieten der Bundesrepublik noch deutlich erhöhte Cs-137-Kontaminationen aufweist. Dabei ist die Variabilität der Cs-137-Messwerte sowohl innerhalb als auch zwischen verschiedenen Populationen sehr groß. Die wesentliche Kontaminationsquelle sind die Hirschtrüffel.

In diesem Forschungsvorhaben soll die Kontaminationssituation von Wildschweinen anhand aktueller Daten aus drei Untersuchungsgebieten (Bodenmais, Dahn und Zusmarshausen) über drei Jahre evaluiert werden.

2. EINZELZIELSETZUNG

Das Vorhaben ist in 3 Arbeitspakete unterteilt:

- Erhebung von Informationen zu Jagdstrecke und Abschussgewichten (AP 1)
- Probennahme und Messung von Hirschtrüffeln in den Untersuchungsgebieten (AP 2)
- Probennahme und Messungen an Muskelfleischproben von Wildschweinen (AP 3).

2.1 ERHEBUNG VON INFORMATIONEN ZU JAGDSTRECKE UND ABSCHUSSGEWICHTEN (AP 1)

Im ersten Arbeitspaket sollen in den drei Untersuchungsgebieten Daten zur Erlegung von Wildschweinen retrospektiv erfasst und daraus die Verteilung der Körpergewichte sowie der Abschüsse im Jahresverlauf analysiert werden. Die Fragestellung war:

- Welchen Einfluss haben gesetzliche Vorgaben, jagdliche Strategien und Umweltfaktoren auf die Abschusszahlen und die Erlegungsgewichte von Wildschweinen?
- Können aus diesen Informationen allgemeingültige Prognoseverfahren zur Gewichtsverteilung abgeleitet werden?

2.2 PROBENNAHME UND MESSUNG VON HIRSCHTRÜFFELN IN DEN UNTERSUCHUNGS- GEBIETEN (AP 2)

Im zweiten Arbeitspaket sollen die Cs-137-Aktivität von Hirschtrüffeln sowie deren Biomasse exemplarisch in den drei Untersuchungsgebieten bestimmt werden. Die Inventarbestimmung der Hirschtrüffel soll erstmals eine Abschätzung der für Wildschweine potentiell verfügbaren Fruchtkörpermasse ermöglichen. Dazu sollen in einem definierten Waldbodenvolumen alle vorhandenen Fruchtkörper erfasst werden.

2.3 PROBENNAHME UND MESSUNGEN AN MUSKELFLEISCHPROBEN VON WILDSCHWEINEN (AP 3)

Im dritten Arbeitspaket wird die Kontamination mit Cs-137 von Wildschweinfleischproben aus den drei Untersuchungsgebieten bestimmt. Zusammen mit den gewonnenen Daten aus AP 1 und AP 2 dienen diese Messwerte der Einschätzung der aktuellen Kontaminationssituation von Wildschweinen in Deutschland.

3. METHODIK

3.1 BESCHAFFUNG JAGDRELEVANTER DATEN

Von den Forstbetrieben Bodenmais, Dahn und Zusmarshausen wurden jagdrelevante Daten über Wildschweine beschafft: Abschussdatum, Aufbruchgewicht, Geschlecht, Altersklasse, zusätzlich Daten zum Abschussplan, den jagdlichen Gepflogenheiten, z. B. Jagdart, und die Freigabe bei Gesellschaftsjagden. Insgesamt standen 1 916 Datensätze von Wildschweinen zur Verfügung, wobei 1 750 Angaben zu Gewichten enthielten. Die Klassifizierung erfolgte als: Frischling, Überläufer, Bache und Keiler.

Zusätzlich wurden Informationen zum Thema „Einflussfaktoren auf die Gewichte von Wildschweinen“ durch eine Literaturrecherche erhoben.

3.2 HIRSCHTRÜFFELSUCHE AN RASTERPUNKTEN

Die Untersuchung der Hirschtrüffeln erfolgte in jedem Untersuchungsgebiet an 15 Rasterpunkten, die das Gebiet weitgehend gleichmäßig abdecken. Von jedem Rasterpunkt aus wurde die Suche nach Hirschtrüffeln gestartet. Die Fruchtkörper wurden anhand von Standortfaktoren und an Wühlstellen von Wildschweinen gesucht.

4. DURCHFÜHRUNG

4.1 BESTIMMUNG DER FRUCHTKÖRPER-BIOMASSE IN DEFINIERTEM BODENVOLUMEN

Wurden an einem Hirschtrüffelfundort mehr als 5 mittelgroße Fruchtkörper gefunden, erfolgte an dieser Stelle eine Inventarbestimmung. Bei geringerer Anzahl wurde die Suche an einer anderen Stelle fortgesetzt.

Die Inventarbestimmung wurde in einem standardisierten Bodenvolumen durchgeführt. Dazu wurde um jede Fundstelle herum (Summe 45), in einem Quadrat von 2 x 2 Meter Seitenlänge die vorhandene Biomasse der Trüffeln bis in eine Bodentiefe von 25 cm ermittelt.

Folgende Daten wurden erhoben: Untersuchungsgebiet, Probenentnahme-Datum, Fundort-Koordinaten, Anzahl Fruchtkörper, Gesamtfrischmasse [g], Hirschtrüffel-Art, Bodentiefe, Trüffelfund von [cm] bis [cm], Cs-137-Aktivität [Bq/kg] bezogen auf Frisch- und Trockenmasse.

4.2 PROBENAUFARBEITUNG UND CS-137-AKTIVITÄTSBESTIMMUNG

Die Trüffeln wurden mit anhaftenden Wurzelhüllen und Bodenpartikeln in Polyethylen-Beutel verpackt. Im Labor erfolgten die Artbestimmung und die Probenaufbereitung. Von jedem Rasterpunkt wurde die Cs-137-Aktivität einer einzelnen Hirschtrüffel bestimmt.

Die gammaspektrometrische Messung der Proben wurde im Labor für Radionuklide (LARI) der Universität Göttingen durchgeführt.

Das kleinste Volumen, für das eine Kalibrierung vorliegt, ist 25 ml. Auf Grund der geringen Masse einer einzelnen Hirschtrüffel wurden die Proben für die Messung auf Reinstgermaniumdetektoren in einem neuen Messgefäß mit getrockneter Aktivkohle auf 25 ml aufgefüllt.

5. ERGEBNISSE

5.1 LITERATURSTUDIE: VERHÄLTNIS VON AUFBRUCHGEWICHT ZU LEBENDGEWICHT (AP 1)

Die Analyse von 10 Veröffentlichungen ergab, dass bei Wildschweinen das Aufbruchgewicht durchschnittlich 80 % des Lebendgewichts beträgt.

5.2 MODELL DER GEWICHTSVERTEILUNG FÜR EIN MUSTERJAGDREVIER (AP 1)

Welche Gewichtsverteilung bei Wildschweinen ist für verschiedene Szenarien zu erwarten? In Tabelle 1 ist die mittlere Häufigkeitsverteilung in den drei Untersuchungsgebieten als beste Schätzung dargestellt.

Tabelle 1: Mittlere Häufigkeitsverteilung

Gewichtsklasse (kg)	Häufigkeit (%)
10	9,1
20	27,5
30	17,8
40	14,9
50	12,7
60	9,6
70	5,0
80	2,1
90	0,7
100	0,1
> 100	0,5

5.3 BIOMASSENVORKOMMEN VON HIRSCHTRÜFFELN (AP 2)

Insgesamt wurden 3 491 Hirschtrüffel gefunden. In Bodenmais war der Median der Trüffelfunde pro Rasterpunkt mit 88 deutlich höher als in Zusmarshausen mit 47 und in Dahn mit 45. Ebenso war es bei den Gesamtfrischgewichten der Trüffeln, die Mediane betragen 205 g, 96 g und 71 g.

Die Fruchtkörper wurden durchschnittlich in 8 -12 cm Bodentiefe gefunden. In diesem Bodenbereich befinden sich in vielen Waldgebieten auch Jahrzehnte nach dem Tschernobyl-Fallout die höchsten Cs-137-Aktivitäten.

6. GEPLANTE WEITERARBEIT

Die Cs-137-Messungen an Muskelfleisch von Wildschweinen aus den drei Untersuchungsgebieten werden fortgesetzt.

Thema

Freigabekonzepte einer neuen Strahlenschutzverordnung nach Euratom-Grundnormen 2013 in der Anwendung

Subject

Concepts for clearance according to a new radiation protection ordinance based on the Euratom Basic Safety Standards of 2013 in practice

Kennzeichen
4717E03510

Beginn
22.09.2017

Ende
31.08.2020

Fördermittel
EUR 457.923,-

Forschungs- / Auftragnehmer

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

Projektleitung
Dr. A. Artmann

Fachbetreuung BfS
Dr. R. Merk / UR 6

verantwortlich für den Text
Dr. A. Artmann

1. ZIELSETZUNG

Nicht bzw. leicht kontaminierte Materialien fallen bei der Stilllegung und dem Abbau von kerntechnischen Anlagen, 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.

Im Rahmen dieses Forschungsvorhabens wird eine generische Bestandsaufnahme und Bewertung der Praxis vorgenommen, inwieweit die den Regelungen der neuen Verordnung zugrunde liegenden Freigabekonzepte in der Anwendung zum Ausdruck kommen (Erfahrungsrückfluss). Für die GRS ergibt sich als Sachverständigenorganisation des Bundes die Notwendigkeit, ihre Kompetenz auf einer weiterentwickelten Rechtsgrundlage und Praxis auszubauen/weiterzuentwickeln und zu erhalten.

2. EINZELZIELSETZUNG

Im Forschungsvorhabens werden die folgende Einzelziele definiert:

- Recherche zum Stand von Wissenschaft und Technik zur deutschen Freigabepraxis
- Recherche zu den Stoff- und Materialströmen bei der Freigabe der anfallenden Abfälle
- Kriterien zur Bewertung radiologischer Expositionsszenarien
- Bestimmung von Freigabewerten anhand rechnerbasierter Methoden.

3. METHODIK

Die Arbeiten im Rahmen des Forschungsvorhabens werden in den folgenden Arbeitspaketen (AP) durchgeführt:

- Bestandsaufnahme und Bewertung der deutschen Freigabepraxis (AP 1):
 - Bestandsaufnahme aller der Freigabe in der Strahlenschutzverordnung (StrSchV) zugrunde liegenden radiologischen Modelle, ihrer Szenarien, Expositionspfade und Parameter (AP 1.1)
 - Identifizierung und Bewertung von Randbedingungen (AP 1.2)
 - Gegenüberstellung der Szenarien aus der EURATOM-Richtlinie mit denen aus der StrSchV (AP 1.3)
- Abgleich von Stoff- und Massenströmen mit Freigabepfaden und Modellannahmen (AP 2)
- Entwicklung und Auswahl von standardisierten Kriterien zur Bewertung radiologischer Expositionsszenarien für allgemeine, generische Zwecke (AP 3)
- Anwendung von rechnerbasierten Methoden zur Berechnung von Freigabewerten (AP 4).

4. DURCHFÜHRUNG

Im AP 1.1 wurden im Berichtszeitraum die den Freigabepfaden der uneingeschränkten Freigabe von festen und flüssigen Stoffen, Bauschutt und Bodenaushub, Bodenflächen und Gebäuden zur Wieder- u. Weiterverwendung und der spezifischen Freigabe von festen Stoffen zur Beseitigung auf Deponien, von Stoffen zur Beseitigung in einer Verbrennungsanlage, von Gebäuden zum Abriss und von Metallschrott zur Rezyklierung zugrunde liegenden radiologischen Modelle aus den entsprechenden Forschungsberichten und Stellungnahmen recherchiert, extrahiert und aufbereitet. Für jeden Freigabepfad wurden die zugehörigen Expositionsszenarien, deren zugehörige Rechenvorschriften und zu benutzende Parameter zusammengestellt. Am 06.09.2018 wurde mit Vertretern vom Öko-Institut ein Projektgespräch durchgeführt. Ziel war es, die Vorgehensweise bei der Bestandsaufnahme abzustimmen.

Auf der Grundlage der Ergebnisse im AP 1.1 wurden im AP 1.2 die Randbedingungen identifiziert und deren Herkunft recherchiert. Analog zur Voruntersuchung wurden für die anderen Freigabepfade Parameter und Randbedingungen recherchiert.

Die Arbeiten im AP 1.3 wurden fortgesetzt, und die aus den AP 1.1 und AP 1.2 identifizierten Szenarien, Parameter und Randbedingungen in Tabellen eingetragen, um die entsprechenden Angaben denjenigen der generalisierten Einzelszenarien aus dem Safety Report 44 gegenüberzustellen.

Im Arbeitspaket 2 wird untersucht, inwieweit für die Aufstellung der Modelle die der Strahlenschutzverordnung zugrunde liegenden prognostizierten Stoff- und Massenströme mit den tatsächlichen Werten übereinstimmen und insbesondere, wie sich die Stoff- und Massenströme geographisch verteilen. Es wird auch die Frage untersucht, ob es in der Praxis veränderte Verfahrenstechniken bei der Aufbereitung von Freigabeabfällen (Dekontaminationsschritte, Vorbehandlung etc.) gibt, die nicht durch die derzeitigen Modelle abgedeckt werden und ob wesentliche Modellannahmen auf Grund einer veränderten Praxis noch haltbar sind oder diese durch neue Annahmen ersetzt werden müssen.

Im Arbeitspaket 3 werden standardisierte Kriterien entwickelt und ausgewählt, um radiologische Expositionsszenarien für allgemeine generische Zwecke zu bewerten. Es werden definierende Mindeststandards festgelegt, die ein radioökologisches Expositionsszenario zur Freigabe für generische Zwecke als hinreichend repräsentativ und wahrscheinlich qualifizieren.

Im Berichtszeitraum wurde die Entwicklung standardisierter Kriterien fortgesetzt. Ein weiterer Schwerpunkt lag in der Erzeugung einer Verteilungsfunktion der zu erwartenden Inhalationsdosis mit Hilfe des Ansatzes des „abdeckenden Szenarios zur Inhalationsdosis“. Zu diesem Zweck wurden mit Hilfe von Excel ausgewählte Parameter (Expositionszeit, Staubkonzentration und Atemrate) als zufällige Input-Daten normalverteilt innerhalb vorgegebener Grenzen erzeugt und mit Hilfe dieser Daten die zu erwartende Dosis berechnet. Ferner wurde eine Recherche zu den Parametern durchgeführt, um die möglichen Verteilungen und Grenzen eben dieser Parameter festzulegen.

Neben der eigentlichen Berechnung von Freigabewerten wird im AP 4 besonders auf eine ausführliche und nachvollziehbare Dokumentation der durchgeführten Rechenschritte geachtet. Die GRS verwendet dabei ausgewählte, frei erhältliche Rechencodes wie Geant4, ARTM, PHREEQC und SPRING. Die Plausibilität der Ergebnisse wird durch Vergleichsrechnungen anderer Organisationen überprüft (Benchmarking). Für die Durchführung der Vergleichsrechnungen wurden Brenk Systemplanung GmbH und das Öko-Institut e. V. als Unterauftragnehmer ausgewählt.

Am 30.11.2018 wurde mit Vertretern von Brenk Systemplanung ein Projektgespräch durchgeführt. Ziel war es, die Vorgehensweise zur Überprüfung der Rechenergebnisse abzustimmen. Hierzu gehörte auch eine Vorstellung der Zwischenergebnisse der GRS zu den Modellrechnungen mit Geant4, ARTM, PHREEQC und SPRING. Ein thematisch vergleichbares Projektgespräch mit Vertretern des Öko-Institutes fand am 04.02.2019 statt.

5. ERGEBNISSE

Die Ergebnisse zum AP 1.1 wurden in einem separaten Bericht zusammengefasst. Der Entwurf des Berichtes, wurde gemäß der Aufgabenstellung im Unterauftrag zur Qualitätssicherung und Prüfung am 30.10.2018 an das Öko-Institut übersendet. Das Ergebnis der Prüfungen in Form eines Berichtes wird der GRS übermittelt.

Die Ergebnisse zum AP 1.2 und AP 1.3 werden in separaten Berichten zusammengefasst, liegen zum aktuellen Zeitpunkt aber noch nicht abschließend vor.

Die Arbeiten im AP 2 zur Recherche, Datenerfassung und Auswertung der jährlichen Meldungen zu freigegebenen Stilllegungsmassen und ihrer Stoffströme an die zuständigen Aufsichtsbehörden für die Anlagen KKR, KWL und KGR in den Zeiträumen 2009 bis 2016 wurden abgeschlossen.

Im Berichtszeitraum wurde die Entwicklung standardisierter Kriterien fortgesetzt im AP 3.

Im AP 4 wurde zunächst eine Parameterrecherche durchgeführt, um ein Gittermodell für den Rechencode SPRING zu generieren. Als Grundlage hierfür diente die aktuelle Deponieverordnung sowie der Bericht aus dem BMU-Vorhaben „Anwendung und (Weiter)entwicklung von Modellen für Endlagerlangzeitsicherheitsanalysen auf die Freigabe radioaktiver Stoffe zur Deponierung“ (3610S50004). Das daraus entwickelte Modellgebiet besteht aus einem ca. 240 m x 800 m Gitter auf dem die Deponie sowie der Entnahmebrunnen enthalten sind. Zur Modellierung und Bestimmung der aquatischen Speziation und möglicher Festphasen derjenigen Wässer, die über die Oberflächenentwässerung der Deponie in eine Kläranlage gelangen könnten, wurde für PHREEQC eine Einleseroutine entwickelt. Um Vergleichsrechnungen durchführen zu können, wurden für die Modelle und Szenarien aus SR-44¹⁾ entsprechende Rechenblätter in EXCEL programmiert.

6. GEPLANTE WEITERARBEIT

Die Arbeitspakete werden entsprechend ihrer Fragestellungen weiterbearbeitet.

¹⁾ Safty Reports Series No. 44, „Derivation of activity concentration values for exclusion, exemption and clearance“, IAEA, 2005

Themenbereich 06
Notfallschutz

Subject area 06
Emergency management

Thema			
Ausbau der wissenschaftlichen und der technischen Basis für die Aufgaben des Teams „Strahlenschutz“ im Notfallzentrum der GRS			
Subject			
<i>Enhancement of the Scientific and Technical Basis for the Tasks of the Team "Radiation Protection" within GRS' Emergency Center</i>			
Kennzeichen	Beginn	Ende	Fördermittel
3616S62550	07.03.2017	31.12.2019	EUR 556.560,-
Forschungs- / Auftragnehmer			
Gesellschaft für Anlagen- und Reaktorsicherheit (GRS) gGmbH			
Projektleitung	Fachbetreuung BfS	verantwortlich für den Text	
Dr. M. Sogalla	N. Zander / RN 2	Dr. M. Sogalla	

1. ZIELSETZUNG

Zur Wahrnehmung seiner Aufgaben im GRS-Notfallzentrum stützt sich das Team Strahlenschutz der GRS im Wesentlichen auf seine Fachkompetenz, die bislang im Rahmen verschiedener Vorhaben zum radiologischen Arbeitsschutz, zur Analyse möglicher radiologischer Freisetzungen im Ereignisverlauf und zum Notfallschutz aufgebaut und weiterentwickelt wurde. Mit dem vorliegenden Forschungsvorhaben soll diese Kompetenz für die Entwicklung und den Ausbau einer schnell und effizient nutzbaren wissenschaftlichen Basis von Informationen und Methoden genutzt und Lücken bezüglich bislang nicht durch andere Vorhaben abgedeckter Forschungsapakte geschlossen werden.

Dadurch soll insbesondere auch die gegenwärtige und die zukunftsorientierte Kompetenz der GRS für die fachliche Beteiligung an der Erstellung eines Lagebildes in Bezug auf ein breites Spektrum von nuklearen und radiologischen Notfällen gestärkt werden. Letztere wird insbesondere auf Grund der zukünftigen Veränderung von Kapazitäten im anlagenexternen Notfallschutz und der zu erwartenden Verschiebung von Aufgabenfeldern von der Landes- auf die Bundesebene in Verbindung mit der Beendigung der Kernenergienutzung in Deutschland erforderlich werden.

2. EINZELZIELSETZUNG

Die Forschungen zum Ausbau der wissenschaftlichen und technischen Basis umfassen drei Module mit jeweils eigenen Zielsetzungen:

- Wissenschaftliche Basis zur Bewertung der radiologischen Situation in der Anlage bei schweren Unfallabläufen (Modul 1):
Auf der Basis verfügbarer Analysen auslegungüberschreitender Ereignisse wird systematisch untersucht, welche ereignisbedingten Rahmenbedingungen für die Strahlenbelastung des Personals und die Umsetzung von anlageninternen Handlungsoptionen bei kerntechnischen Unfällen auftreten können und wie diese möglichen Einschränkungen zu bewältigen sind.
- Wissenschaftliche Basis zur Nutzung kombinierter radiologischer und anlagentechnischer Informationen für die Diagnose und Prognose des Unfallablaufs (Modul 2):
Die Forschungs- und Entwicklungsarbeiten in diesem Modul sollen die Kompetenz der GRS verbessern, auf Basis der im Ereignisfall verfügbaren Informationen erforderliche Quelltermabschätzungen zu qualifizieren oder vorzunehmen und für die Erstellung von Lagebildern verfügbar zu machen bzw. Stellungnahmen zu seitens des Betreibers vorliegenden Prognosen abzugeben.
- Entwicklung von Referenzszenarien und Berechnungsmethoden für die Ermittlung notfallschutzrelevanter Freisetzungen bei radiologischen Notfällen (Modul 3):
Zur Gestaltung von Übungen und für sicherheitstechnische Bewertungen sind durch die GRS auch Unfallabläufe bei der Beförderung und bei der Handhabung sonstiger radioaktiver Stoffe analysiert worden, z. T. unter auslegungüberschreitenden Bedingungen und mit notfallschutzrelevanten radiologischen Konsequenzen. Diese Untersuchungen sollen zur verbesserten Einschätzung derartiger Unfallabläufe mit Relevanz für Notfallschutzmaßnahmen systematisch erweitert und aufbereitet werden.

3. METHODIK

Die Methodik zum Ausbau der Wissensbasis gliedert sich für jedes der drei Module, die in Abschnitt 2 erläutert sind, in die folgenden Schritte:

- Analyse und Zusammenstellung der bestehenden Erkenntnisse und Methoden:
Der jeweils modulbezogene Kenntnisstand wird recherchiert, zusammengestellt und für das Vorhaben aufbereitet. Dazu zählen insbesondere auch unter anderen Gesichtspunkten bei der GRS entwickelte Methoden und Modelle, die potenziell für die Arbeit im Notfallzentrum genutzt werden können.
- Bewertung der Informationen im Hinblick auf die Arbeit des Teams Strahlenschutz:
Die Erkenntnisse und Methoden werden im Hinblick auf ihre Nutzungsmöglichkeiten und -grenzen für die Aufgaben des Teams Strahlenschutz ausgewertet und - soweit erforderlich und mit vertretbarem Aufwand durchführbar - ggf. ergänzt. Umfangreicherer Anpassungs- oder Ergänzungsbedarf wird ausgewiesen.
- Synthese von aufgabenbezogenen Werkzeugen und Arbeitshilfen:
Für die Arbeiten des Teams Strahlenschutz werden die relevanten Informationen und Methoden in handhabbare Unterstützungssysteme und Dokumentationsunterlagen zusammengefasst.
- Dokumentation und Schulung:
Um einen effizienten Einsatz der erstellten Arbeitshilfen und Werkzeuge zu ermöglichen, werden ein Handbuch zur Anwendung und Schulungsunterlagen erstellt. Die Schulungsunterlagen umfassen sowohl Anwendungsbeispiele und Übungseinheiten, die für Einzeltraining oder Selbststudium geeignet sind, als auch Module zum Training des gesamten Teams Strahlenschutz. Die Anwendung wird in Schulungen vermittelt.

4. DURCHFÜHRUNG

Das Vorhaben ist in die folgenden Arbeitspakete (AP) gegliedert:

- Aufarbeitung des für das Vorhaben relevanten Standes von Wissenschaft und Technik (AP 1)
- Wissenschaftliche Basis zur Bewertung der radiologischen Situation in der Anlage bei schweren Unfallabläufen (Modul 1, AP 2)
 - Analyse von Handlungsoptionen im Notfall aus radiologischer Sicht (AP 2.1)
 - Erarbeitung von Bewertungsschemata für Handlungsoptionen unter radiologischen Gesichtspunkten (AP 2.2)
 - Anleitung und Schulung zur Anwendung der neuen Bewertungsschemata (AP 2.3)
- Wissenschaftliche Basis zur Nutzung kombinierter radiologischer und anlagentechnischer Informationen für die Diagnose und Prognose des Unfallablaufs (Modul 2, AP 3)
 - Verknüpfung anlageninterner und anlagenexterner Informationen für die Quelltermabschätzung (AP 3.1)
 - Vereinfachte Quelltermabschätzung bei eingeschränkter Informationslage (AP 3.2)
 - Anleitung und Schulung zur Anwendung der neuen Verfahren zur Quelltermabschätzung (AP 3.3)
- Entwicklung von Referenzszenarien und Berechnungsmethoden für die Ermittlung notfallschutzrelevanter Freisetzungen bei radiologischen Notfällen (Modul 3, AP 4)
 - Analyse und Aufbereitung von Referenzszenarien (AP 4.1)
 - Entwicklung von Analysetools (AP 4.2)
 - Anleitung und Schulung zur Anwendung der neuen Analysetools (AP 4.3)
- Projektmanagement und Projektcontrolling (AP 5)

5. ERGEBNISSE

Im AP 1 wurde der für das Vorhaben relevante Stand von Wissenschaft und Technik zusammengestellt.

Im AP 2 wurde eine Recherche der relevanten Anforderungen an anlageninterne Notfallschutzmaßnahmen fortgeführt und das Ergebnis dokumentiert. Die Beschränkung der Datengrundlage auf frei verfügbare Dokumente lässt dabei nur generische Aussagen über erforderliche personelle Maßnahmen und radiologische

Randbedingungen zu. Dennoch ist aus den Ergebnissen eine allgemeine Methodik zur Bewertung von Handlungsoptionen unter radiologischen Gesichtspunkten ableitbar, die gegenwärtig erarbeitet wird.

Im AP 3 wurden Konzepte für Analysemethoden, die kombinierte radiologische und anlagentechnische Informationen für die Diagnose und Prognose des Unfallablaufs im Notfallzentrum nutzen sollen, entwickelt. Dazu wurden eine durchgängige, matrixbasierte Systematik zur Verknüpfung erstellt und Bewertungen von Messdaten, Berechnungsergebnissen und Annahmen entwickelt. Es wurde ein Verfahren zur schnellen Berechnung von Einflussmatrizen zur Verknüpfung von Emissions- und Messdaten auf Grund von Ausbreitungsmodellen als Prototyp realisiert und getestet sowie mit der Realisierung einer EDV-basierten Benutzeroberfläche begonnen.

Im AP 4 wurde ein umfangreiches Kompendium von bisher bei der GRS erfolgten Freisetzungsanalysen für radiologische Notfälle erstellt und ein szenarienbasierter Vergleich des Informationsbedarfs bei radiologischen Notfällen mit den bei der GRS verfügbaren Informationen und Werkzeugen durchgeführt. Auf dieser Basis wurde eine Systematik zum Abgleich benötigter und verfügbarer Informationen für alle Referenzszenarien erstellt und inhaltlich ausgefüllt. Zudem wurden verfügbare Analysewerkzeuge zur Ermittlung von Freisetzungen bei Unfällen und terroristisch motivierten Handlungen ausgebaut.

6. GEPLANTE WEITERARBEIT

Die geplante Weiterarbeit konzentriert sich auf den Ausbau und die Fertigstellung der Arbeitshilfen und Werkzeuge, die Erstellung der zugehörigen Handbücher sowie die anschließende Schulung der erarbeiteten Verfahren.

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 3617S62555	Beginn 01.06.2017	Ende 31.05.2019	Fördermittel EUR 204.978,-
Forschungs- / Auftragnehmer			
Stiftung Risiko-Dialog, Winterthur, Schweiz Universität Leipzig, Institut für Kommunikations- und Medienwissenschaft, Leipzig			
Projektleitung M. Holenstein	Fachbetreuung BfS Dr. C. Fehn / RN 1	verantwortlich für den Text 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 mit vier Arbeitspaketen (AP) dabei gezielt unterstützen, indem es das existierende Wissen aggregiert (AP 1), die unterschiedlichen Zielgruppen identifiziert und analysiert (AP 2), konkrete Kommunikationsszenarien differenziert (AP 3) und - mit einem Fokus auf digitale Kommunikation - untersucht, welche Kanäle sich für die spezifischen Ziele eignen (AP 4). Resultat des Projekts sind konkrete Handlungsempfehlungen zu Händen des BfS, die auch im Rahmen von Workshops vermittelt und interaktiv weiterentwickelt werden.

2. EINZELZIELSETZUNG

Das Projekt ist aufgeteilt in vier Arbeitspakete (AP):

- Aggregation 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).

3. METHODIK

Für die Erarbeitung der Resultate von AP 2 wurden Leitfadeninterviews, ein Expertenworkshop sowie eine Delphi-Befragung durchgeführt. Es wurde ein qualitatives Vorgehen gewählt, um die Offenheit des Forschungsprozesses zu gewährleisten. So konnte im Laufe der Erhebung das anfängliche Zielgruppenschema überprüft und erweitert werden, wenn sich im Gespräch mit den Interviewpartnern weitere bedeutsame Zielgruppen offenbarten, die zu Beginn der Untersuchung noch keine Berücksichtigung fanden. Ebenso konnten Modifikationen am Erhebungsinstrument vorgenommen werden (z. B. Ergänzung oder Abwandlung von Interviewfragen), sofern es das Erkenntnisinteresse verlangte. Mit Hilfe des qualitativen Zugangs konnten die Informations- und Kommunikationsbedürfnisse der einzelnen Zielgruppen, zu denen bislang wenig Erfahrungswerte existieren, mit Hilfe offener Fragen vertieft untersucht und subjektive Sichtweisen der Interviewpartner*innen herausgearbeitet werden. Dabei ist jedoch zu beachten, dass die Aussagen aus den qualitativen Interviews keine Repräsentativität beanspruchen. Die Befragung mehrerer Vertreter*innen pro Zielgruppe und die Koppelung der Leitfadeninterviews an eine Delphi-Befragung ermöglichten jedoch die Validierung der Interviewergebnisse.

Bei der Szenarienbeschreibung in AP 3 wurde der Fokus zudem über die ursprüngliche Ausschreibung hinaus erweitert. So wurden die Szenarien in „Ereignisphasen“ unterteilt beleuchtet und zusätzlich ein Überblick über die „Akteurslandschaft“ erstellt. Im Ereignisfall ist davon auszugehen, dass neben dem Radiologischen Lagezentrum (RLZ) auch andere Akteure kommunizieren werden. Sie alle haben ihre eigenen Hintergründe,

Ziele und Möglichkeiten. Um einen besseren Überblick zu erhalten und Redundanzen möglichst zu vermeiden, wurden die Szenarien zudem in vier Typen eingeteilt, für welche zusammenfassende Empfehlungen abgegeben werden.

4. DURCHFÜHRUNG

Zeitgleich wurden die beiden Arbeitspakete AP 2 - „Zielgruppenanalyse“ und AP 3 - „Szenarienanalyse“ gestartet und 2018 erfolgreich abgeschlossen. Gemäß Projektausschreibung war es das Ziel von AP 2, die Kommunikationszielgruppen des RLZ zu differenzieren sowie deren Kommunikations- und Informationsbedürfnisse im Falle eines radiologischen oder nuklearen Notfalls zu erheben. Ziel von AP 3 wiederum war es, die Erkenntnisse aus AP 2 anzuwenden, um die vom BfS erstellten zehn Szenarien zu analysieren.

Im Rahmen der im Projektverlauf durchgeführten Arbeiten wie auch beim gemeinsamen Workshop mit den Auftraggebern stellte sich heraus, dass es inhaltlich sinnvoll ist, die beiden ursprünglich voneinander unabhängigen Arbeitspakete AP 2 und AP 3 zusammen zu bearbeiten. Die Zielgruppenanalyse hängt mit den untersuchten Szenarien zusammen, gleichzeitig steht die Beschreibung der Szenarien im Bezug zur Beschreibung der Zielgruppenbedürfnisse. Dies führte auch dazu, dass die beiden Arbeitspakete mit einem gemeinsamen, integrierten Bericht abgeschlossen wurden.

Die Durchführung von AP 2 und AP 3 umfasst folgende Elemente:

Leitfadeninterviews

Neben Repräsentant*innen von 19 Zielgruppen wurden Interviews mit Vertreter*innen von Katastrophenschutzbehörden und Kernkraftwerksbetreibern geführt. Dies hatte den Zweck, die Informations- und Kommunikationsbedürfnisse der deutschen Gesamtbevölkerung im Überblick wie auch differenziert zu beleuchten. Katastrophenschutzbehörden und Kernkraftwerksbetreiber stellen keine direkten Zielgruppen für die Kommunikation im Ereignisfall dar. Sie besitzen jedoch hohes Fachwissen in Bezug auf die Krisenkommunikation mit der deutschen Bevölkerung, das u. a. zur Ermittlung weiterer bedeutender Zielgruppen dienen konnte. Die Ergebnisse aus diesen Interviews flossen in die Darstellung der Resultate zu den regulär Betroffenen ein.

Die Interviewanfragen wurden per E-Mail an die Zielgruppenrepräsentant*innen versendet. Die Kontaktvermittlung erfolgte in vielen Fällen über die Pressestelle der jeweiligen Organisation. Auf unbeantwortet gebliebene Anfragen wurde in Nachfassaktionen mit Remindern reagiert. Die Interviewphase lief vom 06.04.2018 bis zum 28.08.2018. Im Ganzen wurden 222 Interviewanfragen versendet, wovon 56 Interviews zustande kamen.

Expertenworkshop

Am 7. und 8. Juni 2018 wurde ein interdisziplinärer Expertenworkshop veranstaltet. Veranstaltungsort war die Dienststelle des Bundesamts für Strahlenschutz in Neuherberg. Neben der Präsentation der vorläufigen Resultate aus den Interviews bis zum 24.05.2018, die mit den Zielgruppen zu deren Informations- und Kommunikationsbedürfnissen in radiologischen Lagen geführt wurden, wurden die Ergebnisse ausführlich im Plenum und in Kleingruppen diskutiert, um Wissen und Erfahrung der teilnehmenden Expert*innen zu integrieren. Darüber hinaus diente der zweitägige Workshop dazu, gemeinsam Anknüpfungspunkte für die zukünftige Krisenkommunikation zu identifizieren. An der Veranstaltung nahmen neben zahlreichen Vertretern des Bundesamts für Strahlenschutz und dem Projektteam auch externe Vertreter*innen teil (insgesamt, neben dem Projektteam, 24 Teilnehmer*innen).

Delphi-Befragung

Mit dem Ziel, zentrale Ergebnisse aus den qualitativen Interviews zu validieren und bestehende Unklarheiten und Widersprüche, die sich aus den Interviews ergeben hatten, zu beheben, wurde vom 12.11.2018 bis zum 18.11.2018 eine Delphi-Befragung durchgeführt. In Form einer Online-Befragung wurden mehrere Expert*innen aus der Krisenkommunikation bzw. dem Strahlenschutz mit 18 Thesen zur Risiko- und Krisenkommunikation in radiologischen Notfällen konfrontiert. Diese Thesen wurden aus den Resultaten der Leitfadeninterviews abgeleitet und um weitere Vorschläge durch das Bundesamt für Strahlenschutz ergänzt. Der Link zur Online-Befragung wurde via E-Mail an die potentiellen Interviewpartner*innen versendet. Im Fragebogen sollten die Expert*innen ihre Zustimmung bzw. Ablehnung zu den einzelnen Thesen auf einer fünfstufigen Skala angeben und ihre Antwort gegebenenfalls in einem offenen Antwortfeld begründen. Insgesamt beantworteten zehn Expert*innen die Online-Befragung.

Schriftliche Befragung BfS

Um Kommunikationsakteur*innen sowie die Ereignisphasen für alle Szenarien spezifisch beschreiben zu können, wurde ein auf Literatur basierendes Analyseraster entwickelt. Dieses wurde mit Mitarbeitenden des BfS im Rahmen einer gemeinsamen Sitzung besprochen und anschließend von 7 Expert*innen des BfS schriftlich ausgefüllt.

5. ERGEBNISSE

Die Ziele der beiden Arbeitspakete AP 2 und AP 3 konnten ebenso erfolgreich erreicht werden: Basierend auf einer Zielgruppenanalyse, der Erstellung einer Akteurslandschaft sowie der Beschreibung der Ereignisphasen konnten sowohl für Szenariotypen wie auch Zielgruppen konkrete Handlungsempfehlungen abgeleitet werden.

6. GEPLANTE WEITERARBEIT

Nach Abschluss von AP 2 und 3 beginnt 2019 die Arbeit an AP 4.

Das Arbeitspaket 4 stellt den Abschluss des Projektes dar. Es erweitert das Projekt, das bis zu diesem Punkt das Augenmerk vor allem auf eine klassische Kommunikationswelt legte. Das Ziel des AP 4 ist es, die Potenziale digitaler Informationskanäle für die Risiko- und Krisenkommunikation des RLZ in den relevanten Kommunikationsszenarien kritisch zu würdigen (Websites, Apps, Social Media Profile/Seiten, etc.). Dabei sollen einerseits die heute bereits genutzten digitalen Kommunikationsangebote des BfS evaluiert sowie potenzielle weitere Kanäle und Instrumente abgewogen werden. Möglich ist hier auch die Identifikation von Best Practice-Beispielen für als tauglich evaluierte digitale Informationskanäle.

Thema

Ergänzung der Quelltermdatenbank des Entscheidungshilfesystems RODOS für Freisetzungen aus dem RDB bei Nichtleistungsbetriebszuständen in Kernkraftwerken

Subject

Extension of the source term data bank of the decision support system RODOS for the release from the RPV during shutdown modes

Kennzeichen
3617S62560

Beginn
28.05.2018

Ende
31.12.2019

Fördermittel
EUR 220.618,-

Forschungs- / Auftragnehmer

Gesellschaft für Anlage- und Reaktorsicherheit (GRS) gGmbH, Köln

Projektleitung
M. Kowalik

Fachbetreuung BfS
N. Zander / RN 2

verantwortlich für den Text
M. Kowalik

1. ZIELSETZUNG

Das Vorhaben dient der Abschätzung von Quelltermen bei einem schweren Störfallwährend des Nichtleistungsbetriebs (NLB) in einem Kernkraftwerk. Auf der Basis einer Quelltermbibliothek können unter Verwendung von dem GRS-Tool FaSTPro (Fast Source Term Prognosis) Quelltermprognosen erzeugt werden, die für die Empfehlungen für entsprechende Schutzmaßnahmen im Falle einer Krisensituation verwendet werden können. Die vom FaSTPro erzeugten Quellterme sind kompatibel mit dem vom BfS verwendeten Entscheidungshilfesystem RODOS (Realtime Online Decision Support System) und können als Input für entsprechende Rechnungen zur Ausbreitung von Radionukliden verwendet werden.

Die Quellterme basieren auf Simulationen, die mit dem Integralcode MELCOR erstellt werden. Solche Simulationen sind in den Vorhaben 3612R01361 (Freisetzung aus dem RDB¹⁾) und 3614560033 (Freisetzung aus Brennelementlagerbecken) für den NLB durchgeführt worden. Die Quelltermbestimmung ist nach dem damaligen Stand von Wissenschaft und Technik geschehen. Im Laufe der Zeit entwickelt sich dieser Stand weiter, sowohl in Hinsicht auf die physikalische Modellierung im Rechenprogramm MELCOR als auch in Hinsicht auf die Anlagenmodellierung, die dem Anwender obliegt. Entsprechend existieren mittlerweile sowohl neuere MELCOR-Versionen mit verbesserten physikalischen Modellen (z. B. das Modell für die Oxidation des Brennstab-Hüllrohrmaterials mit Wasserdampf oder Luftsauerstoff), als auch neue Anlagenmodelle (z. B. Modellierung der Reaktorgrube für die Schmelze-Beton-Wechselwirkung).

Somit ist es Ziel, neue Quellterme aus dem NLB (Brennelemente vollständig im RDB) zu erzeugen, die dem aktuellen Stand von Wissenschaft und Technik entsprechen. Einer der aktualisierten Quellterme soll mit dem entsprechenden Szenario als Grundlage für eine Notfallübung dienen.

Ferner sollen die Arbeiten für eine NLB-Version von FaSTPro weitergeführt werden.

2. EINZELZIELSETZUNG

Im Folgenden werden die einzelnen Zielsetzungen des Projektes kurz erläutert:

2.1 IDENTIFIZIERUNG DER RANDBEDINGUNGEN BEI UNFÄLLEN IM NICHTLEISTUNGSBETRIEB

Für die weiteren, unten genannten Zielsetzungen sind MELCOR-Simulationen durchzuführen, die Quellterme ergeben. Hierfür sind Unfallablaufsequenzen mit zugehörigen auslösenden Ereignissen zu identifizieren, die signifikante radiologische Folgen für die Umgebung erwarten lassen. Diese Identifikation geschieht unter Beachtung von spezifischen NLB-Anlagenzuständen. Ferner ist die Anzahl solcher Sequenzen zu begrenzen, da eine Simulation einen erheblichen Aufwand bedeutet. Dieser Aufwand besteht in der Einstellung der Sequenzen und der Pflege der Rechnungen. Daher sollen möglichst wenige Sequenzen den Nichtleistungsbetrieb weitgehend abdecken.

¹⁾ Reaktordruckbehälter (RDB), reactor pressure vessel (RPV)

2.2 BERECHNUNG DER EREIGNISVERLÄUFE IM NICHTLEISTUNGSBETRIEB MIT DEM INTEGRALCODE MELCOR

Mit der Auswahl der zu berechnenden Unfallablaufsequenzen werden die Anfangs- und Randbedingungen für eine MELCOR-Simulation definiert und in die Eingabedatensätze eingetragen, um entsprechende Simulationen durchzuführen. Auf der Grundlage der Ergebnisse dieser MELCOR-Simulationen wird die zusammenfassende Erarbeitung eines Satzes von Quelltermen zur Eingabe in die RODOS-Quelltermbibliothek für typische Unfallabläufe im Nichtleistungsbetrieb in DWR¹⁾/Konvoi-Blöcken unter Beachtung von Ergebnissen der genannten Vorarbeiten vorgenommen.

2.3 ENTWICKLUNG EINER AKTUALISIERTEN FASTPRO-VERSION FÜR DIE NICHTLEISTUNGSBETRIEBSZUSTÄNDE

Mit Hilfe der aus Zielsetzung 2.2 stammenden Quellterme wird eine aktualisierte Version von FaSTPro für den Nichtleistungsbetrieb erstellt. Hiermit wird die Prognosefähigkeit für Quellterme aus dem NLB verbessert, da FaSTPro nun auf Quellterme zurückgreifen kann, die dem aktuellen Stand von Wissenschaft und Technik (im Hinblick auf die Anlagenmodellierung) und dem Rechenprogramm entsprechen werden.

2.4 ERSTELLUNG VON AUF DEN GEWONNENEN ERKENNTNISSEN BASIERENDEN ÜBUNGS-UNTERLAGEN FÜR NOTFALLÜBUNGEN

Für die Durchführung von Table-Top-Notfallübungen des Radiologischen Lagezentrums des Bundes sind für Unfälle beim Nichtleistungsbetrieb entsprechende Übungsunterlagen zu erstellen. Hierfür ist zunächst eine geeignete Unfallsequenz aus dem Spektrum der Unfallsequenzen auszuwählen, die mit MELCOR simuliert worden ist. Dies geschieht in Absprache mit dem Auftraggeber. Für die Unterlagen sind Meldungen zum Anlagenzustand auf der Basis möglicher anlagentechnischer Ereignis- und zeitabhängiger Parameterverläufe schriftlich niederzulegen, die das Kraftwerk in einem Krisenfall übergeben würde.

2.5 DURCHFÜHRUNG EINER NOTFALLÜBUNG

Mit Hilfe der aus Zielsetzung 2.4 stammenden Notfallunterlagen ist ein Übungsdrehbuch zu erstellen und eine Notfallübung für das Radiologische Lagezentrum des Bundes vorzubereiten, durchzuführen und auszuwerten. Dies geschieht anhand der ebenfalls mit der aus Zielsetzung 2.4 stammenden Wahl der Unfallsequenz in einer kerntechnischen Anlage. Hierbei soll das Zusammenspiel verschiedener Behörden im Radiologischen Lagezentrum des Bundes für einen solchen Unfall eingeübt werden.

3. METHODIK

Im Folgenden soll kurz die Methodik der einzelnen Zielsetzungen beschrieben werden, die eine Durchführung der entsprechenden Arbeiten ermöglicht.

3.1 IDENTIFIZIERUNG DER RANDBEDINGUNGEN, MIT DENEN BEI DER ANALYSE VON UNFÄLLEN IM NICHTLEISTUNGSBETRIEB ZU RECHNEN IST

Für die Identifizierung der Anfangs- und Randbedingungen von Unfallabläufen ist die Relevanz der einzelnen Unfallsequenzen zu berücksichtigen. Diese Relevanz ergibt sich einerseits aus der Häufigkeit der Sequenz, die in der PSA²⁾ der Stufe 1 ermittelt worden ist, und andererseits aus der Schwere der Folgen. Somit werden auch solche Sequenzen berücksichtigt, die gemessen an der Häufigkeit weniger relevant sind, sich jedoch durch eine besondere Schwere auszeichnen oder besondere Phänomene implizieren.

3.2 BERECHNUNG DER EREIGNISVERLÄUFE IM NICHTLEISTUNGSBETRIEB MIT DEM INTEGRALCODE MELCOR

Mit Hilfe der Festlegung der Anfangs- und Randbedingungen der zu berechnenden Sequenzen werden diese in die entsprechenden MELCOR-Eingabedatensätze eingegeben. Hierzu stellt MELCOR dem Anwender verschiedene Modellierungsgegenstände zur Verfügung, die in Kontrollvolumen, Strömungspfaden, Wärmestrukturen und Kontrollfunktionen bestehen.

¹⁾ Druckwasserreaktor

²⁾ probabilistische Sicherheitsanalyse

Eigenarten des NLB bestehen dabei z. B. in einem entfernten Deckel des Reaktordruckbehälters (RDB), dessen Kontrollvolumen im MELCOR-Modell entsprechend mit einem Volumen des Sicherheitsbehälters (SHB) mittels eines Strömungspfades zu verbinden ist. Daneben ist die zugehörige Wärmestruktur an ein anderes Kontrollvolumen innerhalb des SHB zu verknüpfen. Andere technische Einstellungen wie Füllstandsabsenkungen werden mittels einer Massensenke und einer Steuerung durchgeführt, die durch geeignete Kontrollfunktionen realisiert werden.

3.3 ENTWICKLUNG EINER AKTUALISIERTEN FASTPRO-VERSION FÜR DIE NICHTLEISTUNGSBETRIEBSZUSTÄNDE

Zur Aktualisierung der NLB-Version des Prognoseprogramms FaSTPro ist zunächst eine Bearbeitung und Erprobung des BBN (Bayesian Belief Network) notwendig. Weiterhin sind die Fragen zu programmieren, die dem Anwender gestellt werden, der in FaSTPro den aktuellen Anlagenzustand eingeben muss. Weiterhin ist die spezifische FaSTPro-interne Quelltermberechnung für den NLB einzubringen. Hierzu gehört auch die Anpassung der Zeitabläufe der Ereignissequenz der Unfallszenarien.

3.4 ERSTELLUNG VON AUF DEN GEWONNENEN ERKENNTNISSEN BASIERENDEN ÜBUNGSUNTERLAGEN FÜR NOTFALLÜBUNGEN

Für die Erstellung der Notfallunterlagen ist zunächst eine geeignete, mit MELCOR simulierte Unfallsequenz auszuwählen. Dann sind die entsprechenden Parameter zu erfassen, die in den Meldungen der Anlage an das Radiologische Lagezentrum gesendet würden. Diese Parameter mögen physikalische wie Druck, Temperatur oder Ortsdosisleistung oder auch technische sein wie die Stellung von Ventilen oder die Verfügbarkeit von Systemen. Um diese mit den Variablen, die die MELCOR-Simulationen beinhalten, in Einklang zu bringen, sind beispielsweise die Positionen von Messstellen herauszufinden, die im MELCOR-Modell z. B. einem Kontrollvolumen und Wärmestrukturen zugeordnet sind, die die entsprechende Region bzw. Komponenten abbilden. Ist eine solche Identifizierung abgeschlossen, können diese MELCOR-Ausgabevariablen verwendet werden.

3.5 DURCHFÜHRUNG EINER DARAUF AUFBAUENDEN NOTFALLÜBUNG

Die Durchführung wird mit Behördenvertretern als Table-Top-Übung durchgeführt, wobei die Notfallunterlagen mit dem Übungsdrehbuch das Szenario und damit den Ablauf der Übung bestimmen. Anhand der fiktiven Meldungen von Anlagenparametern wird das Zusammenspiel der beteiligten Übungsgruppen eingeübt.

4. DURCHFÜHRUNG

4.1 IDENTIFIZIERUNG DER RANDBEDINGUNGEN, MIT DENEN BEI DER ANALYSE VON UNFÄLLEN IM NICHTLEISTUNGSBETRIEB ZU RECHNEN IST

Eine detaillierte Auswertung der PSA der Stufe 1 wurde bereits im Vorhaben „Unfallanalysen in Kernkraftwerken nach anlagenexternen auslösenden Ereignissen und im Nichtleistungsbetrieb“ (3612R01361) durchgeführt, welche in der Auswahl von fünf Rechenfällen mündete. Eine Revision dieser (im Hinblick auf den Nichtleistungsbetrieb (NLB)) hat zu einem Ausschluss des Falles DWR-NLB-C geführt, da dieser noch wesentliche Eigenarten des Leistungsbetriebes aufwies. Entsprechend wurden die Fälle DWR-NLB-A/B/D und E als relevante Fälle für dieses Projekt ausgewählt. Ferner sind diese in MELCOR-Eingabedatensätzen unter Berücksichtigung der aktuellen Anlagenmodellierungen eingestellt worden.

4.2 BERECHNUNG DER EREIGNISVERLÄUFE IM NICHTLEISTUNGSBETRIEB MIT DEM INTEGRALCODE MELCOR

Die im vorgelagerten Schritt eingestellten Rechenfälle sind mittels der neuesten MELCOR- Version 2.2_11932 weitgehend berechnet worden. Auf Grund von Instabilitäten dieser MELCOR-Version sind häufige Eingriffe des Anwenders notwendig gewesen, um die Rechnungen vorantreiben zu können.

5. ERGEBNISSE

5.1 IDENTIFIZIERUNG DER RANDBEDINGUNGEN, MIT DENEN BEI DER ANALYSE VON UNFÄLLEN IM NICHTLEISTUNGSBETRIEB ZU RECHNEN IST

Eine Identifizierung von Unfallsequenzen ist abgeschlossen, wobei eine weitgehende Übernahme der Sequenzen aus Vorhaben „Unfallanalysen in Kernkraftwerken nach anlagenexternen auslösenden Ereignissen und im Nichtleistungsbetrieb“ (3612R01361) durchgeführt worden ist. Lediglich eine Sequenz (DWR-NLB-C) ist ausgeschlossen worden.

5.2 BERECHNUNG DER EREIGNISVERLÄUFE IM NICHTLEISTUNGSBETRIEB MIT DEM INTEGRALCODE MELCOR

Die Berechnung der Unfallsequenzen mittels MELCOR mit der neuesten Version 2.2_11932 hat zu entsprechenden Erfahrungen im Umgang mit dieser instabil laufenden Version geführt. Trotz dieser Instabilitäten konnten die Simulationen durch Anpassung der Zeitschrittweiten zum gewünschten Ende geführt werden.

6. GEPLANTE WEITERARBEIT

Da die MELCOR-Rechenfälle nun berechnet sind, steht die Auswertung dieser Simulationen bevor. Hierbei sollen die wesentlichen Unterschiede zu den früheren Simulationen insbesondere in Hinsicht auf die Radionuklidfreisetzung herausgestellt werden. Mit Hilfe dieser Simulationen werden Notfallunterlagen hergestellt, die die Grundlage der späteren Notfallübung bilden werden. Ferner wird sich eine Auswertung für die Quelltermprognosesoftware FaSTPro anschließen.

Thema			
Erarbeitung eines Konzeptes und dessen Umsetzung für die Vernetzung zwischen dem Notfallzentrum der GRS und dem BfS-Lagezentrum Neuherberg			
Subject			
<i>Development of a concept and its implementation for the networking between the Emergency centre of GRS and the BfS situation centre in Neuherberg</i>			
Kennzeichen 3618S62574	Beginn 01.09.2018	Ende 30.06.2020	Fördermittel EUR 178.818,-
Forschungs- / Auftragnehmer Gesellschaft für Anlagen- und Reaktorsicherheit (GRS) gGmbH			
Projektleitung Dr. T. Stahl	Fachbetreuung BfS N. Zander / RN 2	verantwortlich für den Text Dr. T. Stahl	

1. ZIELSETZUNG

Das Forschungsvorhaben soll dazu dienen, die fachliche Leistungsfähigkeit und die organisatorische Effizienz des Radiologischen Lagezentrums des Bundes (RLZ) für die vielfältigen Aufgaben bei der Bewältigung von überregionalen oder regionalen Notfällen unter Berücksichtigung bereits etablierter Strukturen zu stärken.

Das RLZ ist nach § 106 StrlSchG seit Oktober 2017 bei einem überregionalen oder regionalen Notfall die verantwortliche Stelle zur Koordinierung von Schutzmaßnahmen und von Messungen, zur Information der Bevölkerung und zur Bewertung der Lage. Es erstellt hierfür u. a. das radiologische Lagebild, ein Bericht mit relevanten Informationen zur radiologischen Lage, welches allen festgelegten obersten Bundesbehörden und den Ländern bereitgestellt und übermittelt wird. Das RLZ setzt sich aus der Kopfstelle des BMU in Bonn, dem BfS-Lagezentrum in Neuherberg und dem GRS-Notfallzentrum in Köln zusammen, wobei das BfS noch über weitere Standorte (z. B. Freiburg, Berlin) verfügt, die im Einsatzfall ebenfalls eingebunden werden können. Um die vielfältigen Aufgaben zu bewältigen, müssen die internen Schnittstellen des RLZ und die Informationsflüsse zwischen den Standorten klar definiert, zum Teil aufgebaut und getestet werden. Dies beinhaltet die technischen Rahmenvoraussetzungen für die interne Vernetzung des RLZ, die im Rahmen dieses Vorhabens unter Beachtung bereits bestehender Strukturen entwickelt und getestet werden sollen.

Neben den technischen Aspekten liegt ein weiterer Schwerpunkt des Vorhabens auf der sicheren operativen Vernetzung zwischen BfS und GRS. Das BfS bewertet die radiologische Gefährdung für Mensch und Umwelt und legt diese Bewertung der RLZ-Kopfstelle im BMU vor. Um die Schnittstelle zwischen der GRS und dem BfS sicherzustellen, soll im vorliegenden Vorhaben neben den infrastrukturellen Analysen eine inhaltlich abgestimmte gemeinsame Lageberichtsstruktur für das radiologische Lagebild erarbeitet werden.

Die Erkenntnisse innerhalb des Vorhabens im Hinblick auf Methoden, Abläufe und technische Einrichtungen zur Vernetzung sollen durch Schulungen den Mitarbeitern der Notfallorganisation von GRS und BfS vermittelt und deren Umsetzung durch die mit dem Auftraggeber abgestimmten Notfallübungen überprüft werden.

2. EINZELZIELSETZUNG

Die Erarbeitung eines Konzepts für die Vernetzung zwischen dem GRS-Notfallzentrum und dem BfS-Lagezentrum Neuherberg geht mit den nachstehenden, miteinander verknüpften Einzelzielen einher:

- Gestaltung eines Lageberichts Kapitels
Das BfS verfügt über eine mit der RLZ-Kopfstelle abgestimmte Lageberichtsvorlage. Dieser Lagebericht ist hinsichtlich der durch das GRS-Lagezentrum in einem Einsatzfall bereitgestellten Angaben zu erweitern. Dabei soll berücksichtigt werden, wie sich die inhaltliche Gestaltung dieses Kapitels in Abhängigkeit von den verschiedenen Referenzszenarien des allgemeinen Notfallplans des Bundes verändern könnte.
- Technische Rahmenbedingungen für die Vernetzung im RLZ
Die technischen Rahmenbedingungen für die Vernetzung innerhalb des RLZ inklusive der Kommunikation im Ereignisfall soll unter Beachtung der bereits bestehenden IT-Strukturen entwickelt und gemeinsam mit dem Auftraggeber getestet sowie bei RLZ-Übungen angewendet werden.

- Dokumentation und Vermittlung von Ergebnissen
Die erarbeiteten und in Tests verifizierten Lösungsvorschläge sollen als Handbuch-Unterlage dokumentiert und den Mitarbeitern der RLZ-Kopfstelle und des BfS-Lagezentrums in Neuherberg vor Ort präsentiert werden.
- Notfallübungen
Unter Verwendung der im Vorhaben erarbeiteten Ergebnisse sollen mindestens zwei im Jahr 2019 geplante Notfallübungen des RLZ unterstützt werden.

3. METHODIK

Die Methodik zur Erarbeitung eines Konzepts für die o. g. Vernetzung gliedert sich entsprechend den Einzelzielen aus Kapitel 2 wie folgt:

- Gestaltung eines Lageberichts Kapitels (AP 1)
In Abhängigkeit von den 10 Referenzszenarien und dem Szenario der unklaren Situation (Szenario 0) des allgemeinen Notfallplans werden die Vorgaben des RLZ für die erforderlichen Informationen zu Quelltermabschätzungen bei einem radiologischen Notfall analysiert und geeignete Vorschläge zur Gestaltung des ersten Kapitels des Lageberichtes des BfS-Lagezentrums Neuherberg erarbeitet.
- Technische Rahmenbedingungen für die Vernetzung im RLZ (AP 2)
Derzeitig bestehen zwischen BMU und GRS sowie zwischen BMU und BfS abgestimmte Schnittstellen mit zugeordneten IT-Strukturen und Kommunikationskanälen. Diese werden unter den aktuellen Voraussetzungen des RLZ analysiert. Für die Vernetzung innerhalb des RLZ werden zusätzlich die möglichen bzw. als notwendig erachteten Schnittstellen zwischen GRS und BfS inklusive der benötigten Kommunikation im Ereignisfall ermittelt, mit der vorhandenen technischen Ausstattung verknüpft und ggf. Defizite in der vorhandenen technischen Ausstattung ermittelt.
- Dokumentation und Vermittlung von Ergebnissen (AP 3)
Basierend auf den Ergebnissen aus AP 1 und AP 2 werden Handbuchunterlagen erweitert und überarbeitet, um so die Ergebnisse zu dokumentieren. Diese Dokumentation beinhaltet Schemata zu Prozessabläufen mit Angaben von Schnittstellen sowie die erarbeiteten Vorschläge hinsichtlich der Angaben für den Lagebericht.
- Notfallübungen (AP 4)
Unter Verwendung der im Vorhaben erarbeiteten Ergebnisse werden zwei geplante Notfallübungen, die für das Jahr 2019 vorgesehen sind, unterstützt.

Die Ergebnisse des Vorhabens sollen im SSK-Ausschuss Notfallschutz fortlaufend präsentiert und zur Diskussion gestellt werden.

4. DURCHFÜHRUNG

- Im AP 1 wurde mit den Arbeiten zur Gestaltung des Lageberichtes begonnen. Zur Abstimmung der Arbeiten fand am 15.11.2018 ein Projektgespräch mit dem Auftraggeber in der GRS Köln statt.
- Im AP 2 wurde damit begonnen, die technischen Rahmenbedingungen für die Vernetzung zu untersuchen.
- Im AP 3 wurde mit ersten Arbeiten zur Dokumentation der Ergebnisse begonnen.
- Im AP 4 wurde der Auftraggeber für die Vorbereitung der geplanten Notfallübung am 26. Februar 2019 unterstützt.

5. ERGEBNISSE

Ergebnisse liegen für den Berichtszeitraum noch nicht vor.

6. GEPLANTE WEITERARBEIT

Es ist geplant, die im Vorhaben begonnenen Arbeiten entsprechend der Arbeitsplanung weiterzuführen. Insbesondere ist für den 26. Februar 2019 eine erste Notfallübung vorgesehen.

Themenbereich 07

Vorhaben mit allgemeiner Bedeutung für den Strahlenschutz

Subject area 07

Projects of general importance to radiation protection

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 / UR 3	verantwortlich für den Text Dr. C. Richter, Dr. M. Pattantyús-Ábrahám	

1. ZIELSETZUNG

Im Rahmen von bereits drei Forschungsvorhaben (StSch 4443 „Entwicklung, Validierung und Bereitstellung eines atmosphärischen Ausbreitungsmodells für luftgetragene radioaktive Stoffe auf der Basis des Ausbreitungsmodells AUSTAL2000 der neuen TA-Luft“, 3608S05005 „Erweiterung und Validierung von ARTM für den Einsatz als Ausbreitungsmodell in AVV und SBG“ und 3611S50007 „Ergänzende Untersuchungen zur Validierung des Atmosphärischen Radionuklid-Transport-Modells (ARTM)“) 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 5 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 (auch als Videokonferenzen) 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 weiter recherchiert und wenn nötig für die Umsetzung in ARTM bzw. TALdia aufbereitet. Unter anderem wurde recherchiert, ob sich das "Grazer Mesoscale Model" GRAMM dazu eignet, als prognostisches Windfeldmodell in ARTM verwendet zu werden, da die Verwendung der Modelle WRF, FDS und MUKLIMO_3 bereits ausgeschlossen werden konnte.

Im Jahr 2018 wurde ein Projektgespräch mit der Fachbegleitung als Videokonferenz durchgeführt. Darin wurde nach eingehender Diskussion gemeinsam das prognostische Windfeldmodell MISKAM für die exemplarische Anbindung an ARTM ausgewählt, obwohl in diesem Modell nicht alle gewünschten Funktionalitäten vorhanden sind. Insbesondere die Berücksichtigung einer Orographie ist darin nicht vorgesehen. Das zuletzt noch in die Auswahl einbezogene GRAMM hatte sich allerdings auf Grund seiner Komplexität sowie seiner anderen Rechengitter-Struktur als nicht geeignet herausgestellt.

Die Dokumentation der Modellauswahl wurde erstellt und es wurde mit der Implementation der Schnittstelle begonnen. Ebenso wurde mit der Anpassung des Grenzschichtmodells begonnen. Dabei wurden insbesondere einige programminterne Datenstrukturen überarbeitet und für die neuen Anforderungen der Verwendung einer Grenzschichtprofil-Zeitreihe als meteorologischem Input erweitert und angepasst. Die Neustrukturierung dieser programminternen Datenstrukturen wirkt sich zudem auf die Parallelisierung des diagnostischen Windfeldmodells TALdia aus. Die durch die Parallelisierung entstehenden Anforderungen an die Datenstrukturen wurden analysiert und bei der Umsetzung der neuen Datenstruktur ebenfalls berücksichtigt.

Für die weltweite Nutzung von ARTM wurde unter anderem ein Hilfsprogramm zum Im- und Export der zeitreihe.dmna in das Datenformat von MS-Excel© erstellt. Dies ermöglicht beispielsweise die einfache Anpassung von Lokalzeitangaben oder zeitabhängiger sonstiger Parameter.

Eine Test-Modellversion, welche die Ausgabe zeitlich aufgelöster dreidimensionaler Simulationsergebnisse ermöglicht (das Standardmodell kann lediglich zeitliche Mittelwerte über den Simulationszeitraum ausgeben), wurde der Fachbetreuung übergeben. Aus diesen zeitlich aufgelösten Ergebnisfeldern können Zeitreihen an beliebigen, nachträglich definierten Beobachtungspunkten oder Monitorbereichen im Simulationsgebiet extrahiert werden.

Mit einem weiteren, der Fachbetreuung übergebenen Test-Programm, können aufbauend auf den zeitlich aufgelösten dreidimensionalen Konzentrations-Ergebnisfeldern die zeitlich aufgelösten Gammasubmersionsfelder am Boden simuliert werden. Damit können erstmals Zeitreihen der Gammasubmersion an beliebigen, gegebenenfalls auch erst nachträglich definierten Beobachtungspunkten im Simulationsgebiet simuliert werden.

Ende des Jahres 2018 wurde in Zusammenarbeit mit der Fachbetreuung eine eintägige ARTM/DARTM Anwenderschulung mit anschließendem zweitägigen Anwenderworkshop mit rund 30 Teilnehmern durchgeführt. Dabei wurden den Anwendern die aktuellen Weiterentwicklungen vorgestellt und diese diskutiert.

6. GEPLANTE WEITERARBEIT

Der Stand von Wissenschaft und Technik wird weiter verfolgt und dokumentiert. Ansonsten steht im letzten Jahr des Projektes hauptsächlich die Fertigstellung, der Test und die Dokumentation der Programmänderungen und -erweiterungen auf dem Programm.

Thema

Überarbeitung von technischen Strahlenschutznormen aus dem Bereich des Normenausschusses Materialprüfung (NMP) bzw. aus dem K967 des DKE

Subject

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

Kennzeichen
3617S72381

Beginn
01.11.2017

Ende
30.09.2020

Fördermittel
EUR 255.285,-

Forschungs- / Auftragnehmer
DIN Deutsches Institut e.V., Berlin

Projektleitung
V. Seibicke

Fachbetreuung BfS
U. Häusler / MB 6

verantwortlich für den Text
M. Treige

1. ZIELSETZUNG

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

2. EINZELZIELSETZUNG

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

- DIN 25422:2013-06
Aufbewahrung und Lagerung radioaktiver Stoffe - Anforderungen an Aufbewahrungseinrichtungen und deren Aufstellungsräume zum Strahlen-, Brand- und Diebstahlschutz
- Normen der Reihe DIN 25425
Radionuklidlaboratorien (4 Teile, 3 Beiblätter)
- Normen der Reihe DIN 54115
Zerstörungsfreie Prüfung - Strahlenschutzregeln für die technische Anwendung umschlossener radioaktiver Stoffe (6 Teile, 1 Beiblatt)

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

3. METHODIK

Die zu prüfenden Normen werden existierenden Arbeitsausschüssen des DIN-Normenausschusses Materialprüfung (NMP) zugeordnet.

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

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

Die jeweiligen Norm-Entwürfe werden mit einer Einspruchsfrist von 2 Monaten veröffentlicht. Die in dieser Zeit eingegangenen Stellungnahmen werden in den Arbeitsausschüssen mit den Einsprechern diskutiert, danach werden im Konsensverfahren überarbeitete Manuskripte erstellt. Diese werden 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, werden von DIN e.V. die dazu erforderlichen Spiegelgremien eingerichtet, in denen die Dokumente der ISO/IEC verteilt, entsprechende Stellungnahmen erarbeitet und an ISO/IEC weitergeleitet werden.

4. DURCHFÜHRUNG

Das Vorhaben wird in folgenden Schritten durchgeführt:

- Die Normen wurden den folgenden Arbeitsausschüssen zugeordnet:
 - DIN 25422
NA 062-07-62 AA „Strahlenschutzeinrichtungen“
 - Normen der Reihe DIN 25425
NA 062-07-63 AA „Radionuklidlaboratorien“
 - Normen der Reihe DIN 54115
NA 062-07-47 AA „Zerstörungsfreie Prüfung in der Kerntechnik“
- Die Arbeitsausschusssitzungen werden durchgeführt (bis zu 3 Termine pro Jahr) und die vergebenen Aufgaben nachverfolgt. Je nach Beschluss werden Vorlagen für die Überarbeitung erstellt und dann als Manuskript zum Norm-Entwurf verabschiedet. In der Geschäftsstelle erfolgt dann die Drucklegung der Texte und Veröffentlichung als Norm-Entwurf.
- Nach Ablauf der Einspruchsfrist wird die Einspruchsverhandlung durchgeführt. Sind alle Einsprüche behandelt, wird eine Vorlage zur Norm erstellt und als Manuskript zum Druck als Norm verabschiedet. In der Geschäftsstelle erfolgt die Schlussbearbeitung und Drucklegung bzw. Veröffentlichung als Norm.
- Auf den Sitzungen der Arbeitsausschüsse werden die internationalen Themen besprochen und in die Normüberarbeitung mit einbezogen.

5. ERGEBNISSE

5.1 ZU DIN 25422 "AUFBEWAHRUNG UND LAGERUNG RADIOAKTIVER STOFFE - ANFORDERUNGEN AN AUFBEWAHRUNGSEINRICHTUNGEN UND DEREN AUFSTELLUNGSRÄUME ZUM STRAHLEN-, BRAND- UND DIEBSTAHLSCHUTZ"

Im zuständigen Arbeitsausschusses NA 062-07-62 AA wurde diskutiert, wie die Überarbeitung der Norm vorgenommen werden soll, da momentan noch nicht alle notwendigen Unterlagen wie z. B. nachrangige Verordnungen zum Strahlenschutzgesetz oder die SEWD¹⁾-Richtlinie zu sonstigen radioaktiven Stoffen vorliegen. Insbesondere die als Verschlussache zu behandelnde Richtlinie stellt bei der Überarbeitung der Norm eine Herausforderung dar, da auf sie als nicht-öffentliches Dokument nicht verwiesen werden darf, die Inhalte aber berücksichtigt werden müssen. Die Klärung mit dem BMU, um Einsichtnahme in die Richtlinie zu erhalten, gestaltete sich aufwändig, konnte aber geregelt werden. Für die Umsetzung der Vorgaben der Richtlinie wurde eine Arbeitsgruppe innerhalb des Arbeitsausschusses gebildet, die sich mehrfach getroffen und bereits entsprechende Änderungen in das Manuskript eingearbeitet hat. Ein weiterer Termin steht noch aus. Es wird angestrebt, bei diesem Termin die Überarbeitung des Manuskriptes in Bezug auf den Diebstahlschutz in enger Zusammenarbeit mit dem BMU abzuschließen. Zudem wird die Anregung des Arbeitsausschusses NA 062-07-47 AA, die Inhalte von DIN 54115-7 „Teil 7: Aufbewahrung radioaktiver Stoffe - Anforderungen an Aufbewahrungseinrichtungen und deren Aufstellungsräume zum Strahlen-, Brand- und Diebstahlschutz“ in DIN 25422 aufzunehmen, umgesetzt.

Die Erarbeitung der Änderungen zu den Anforderungen an den Brandschutz konnten im letzten Jahr bereits abgeschlossen und ins Manuskript eingearbeitet werden.

Unter den oben genannten Voraussetzungen kann auf der Sitzung des Arbeitsausschusses im Mai mit einer Verabschiedung des Manuskriptes zum Norm-Entwurf gerechnet werden.

5.2 ZU DER NORMENREIHE DIN 25425 "RADIONUKLIDLABORATORIEN"

Der Arbeitsausschuss NA 062-07-63 AA traf sich zu seiner ersten Sitzung zu diesem Thema am 1. März 2018. Auf dieser Sitzung wurde das weitere Vorgehen zur Überarbeitung der Normen (Zeitplan, Projektpaten, zu erledigende Aufgaben der Experten und der Geschäftsstelle) festgelegt.

Es wurde festgestellt, dass für eine abschließende Überarbeitung das Strahlenschutzgesetz und die zugehörige Strahlenschutzverordnung veröffentlicht sein müssen. Die Überarbeitung von DIN 25425-3 „Radionuklidlaboratorien - Teil 3: Regeln für den vorbeugenden Brandschutz“ und DIN 25425-4 „Radionuklidlaboratorien

¹⁾ Richtlinie für den Schutz gegen Störmaßnahmen oder sonstige Einwirkungen Dritter

- Teil 4: Regeln für den Personenschutz“ wurde aber bereits begonnen, um die technischen Änderungen, die nicht direkt mit den Änderungen der gesetzlichen Regelungen zusammenhängen, auf der kommenden Sitzung bereits abschließend diskutieren zu können. Dazu wurden mehrere Webkonferenzen durchgeführt. Dabei wurde entschieden, das Beiblatt 1 zu Teil 4 „Hinweise für die Erstellung einer Strahlenschutzanweisung für den Umgang mit radioaktiven Stoffen in Radionuklidlaboratorien“ in den Teil 4 einzuarbeiten. Auf der Sitzung am 18. Oktober 2018 wurden beide Manuskripte fertiggestellt, so dass nach Rücksprachen mit den Ob-leuten und Projektpaten die Umfrage zur Freigabe der Veröffentlichung als Entwurf gestartet werden konnte. Die Umfrage endete am 2. Januar 2019. Die Rückmeldungen der Experten wurden eingearbeitet und die Ma-nuskripte zur Veröffentlichung eingereicht. Die Entwürfe werden daher voraussichtlich im März 2019 veröf-fentlicht.

Die Überarbeitung von DIN 25425-1 wurde am 18. Oktober 2018 begonnen. Es wurde eine Arbeitsgruppe be-stimmt, die bis zur nächsten Sitzung am 11. April 2019 ein Manuskript für den Entwurf vorlegen soll. Bezüglich der DIN 25425-5 „Radionuklidlaboratorien - Teil 5: Regeln zur Dekontamination von Oberflächen“ wird auf der April-Sitzung überprüft, ob Überarbeitungsbedarf vorliegt.

5.3 ZU DEN NORMEN DER REIHE DIN 54115 "ZERSTÖRUNGSFREIE PRÜFUNG - STRAHLEN-SCHUTZREGELN FÜR DIE TECHNISCHE ANWENDUNG UMSCHLOSSENER RADIOAKTIVER STOFFE"

Der Arbeitsausschuss hatte die Überarbeitung der Normenreihe beschlossen und dabei folgendes Vorgehen vereinbart: Die Teile 1 und 3 werden zu DIN 54115 Teil 1 „Zerstörungsfreie Prüfung - Strahlenschutzregeln für die technische Anwendung umschlossener radioaktiver Stoffe - Teil 1: Ortsfester und ortsveränderlicher Umgang in der Gammadiagnostik“ zusammengefasst. Das Beiblatt 1 zu DIN 54115-1 wird zurückgezogen und die Information als Anhang in den Teil 5 zu DIN 54115 aufgenommen. Es werden Normungsvorhaben zu DIN 54115 Teil 1, 4, 5 und 6 gestartet.

Der Arbeitsausschuss hat zudem dem NA 062-07-62 AA vorgeschlagen, die Inhalte von DIN 54115-7 mit in die DIN 25422 aufzunehmen, was von diesem akzeptiert wurde.

Auf seiner Sitzung am 26. April 2018 in Hannover hat der Arbeitsausschuss das vorgelegte Manuskript zu den einzelnen Teilen gesichtet und offene Fragestellungen besprochen. Diese Fragestellungen konnten teilweise bis Ende Juli geklärt werden und die Manuskripte entsprechend weiter bearbeitet werden. Die weitere Bear-beitung wird Anfang 2019 erfolgen, wenn neben dem Strahlenschutzgesetz auch die Strahlenschutzverord-nung vorliegt. Weiterhin wurde diskutiert, wie ausführlich der Abschnitt zur Beförderung gestaltet werden muss. Es wurde festgehalten, dass hier nur die Anforderungen aus dem Strahlenschutz aufgenommen wer-den sollen und das Thema Gefahrgut an dieser Stelle nicht berücksichtigt werden soll.

Die Sichtung von Teil 4 ergab eine große Übereinstimmung mit ISO 3999 „Radiation protection - Apparatus for industrial gamma radiography - Specifications for performance, design and tests“. Daher wurde diskutiert, ob nicht eine Übernahme der ISO-Norm mit Modifizierungen der bessere Weg sei. Dies wird in der nächsten Sitzung Anfang April 2019 abschließend diskutiert.

Die Bearbeitung der Teile 5 und 6 musste verschoben werden, da hierfür Ringversuche erforderlich sind, für die derzeit keine Kapazität bei den Experten vorhanden ist.

6. GEPLANTE WEITERARBEIT

Der Entwurf zu DIN 25422 wird voraussichtlich Mitte 2019 erscheinen. Die Einspruchsverhandlung wird im Herbst 2019 durchgeführt, so dass mit einem Erscheinen der Norm im Frühjahr 2020 gerechnet werden kann.

Die Überarbeitung der Normenreihe DIN 25425 wird fortgesetzt. Die Einspruchsverhandlungen zu DIN 25425-3 und DIN 25425-4 werden auf der Sitzung im Sommer 2019 durchgeführt. Das Manuskript zu DIN 25425-1 wird voraussichtlich auf der April-Sitzung als Entwurf verabschiedet, so dass die Einspruchsverhandlung auf der Herbstsitzung durchgeführt werden kann. Der Überarbeitungsbedarf für DIN 25425-5 wird auf der April-Sitzung diskutiert.

Die Veröffentlichung des Entwurfes für DIN 54115-1 wird für den Sommer 2019 geplant, die Überarbeitung von Teil 4 wird im April 2019 gestartet, entweder als direkte Überarbeitung oder als Übernahme von ISO 3999. Für die Überarbeitung von Teil 5 und Teil 6 wird weiter nach einer Lösung für die Umsetzung eines Ringversuches gesucht.

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 A. Kummer	Fachbetreuung BfS L. Kammerer / MB 4	verantwortlich für den Text A. Kummer, M. Johnen	

1. ZIELSETZUNG

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 Fragestellung ergab sich aus den verhältnismäßig hohen Personaldosen der etwa 2 500 in diesem Tätigkeitsfeld beschäftigten Personen im Vergleich zu anderen nach StrlSchV und RöV ausgeübten Tätigkeiten. Das Gefährdungspotential soll durch eine eingehende Analyse des Umgangs mit radioaktiven Quellen der mobilen Radiographie besser eingeschätzt und mögliche Optimierungen zum Schutz des beschäftigten Personals abgeleitet werden.

2. EINZELZIELSETZUNG

Das Projekt ist in fünf Arbeitspakete unterteilt:

2.1 ERMITTLUNG DER TÄTIGKEITEN, DER BENUTZTEN GERÄTE/RADIOAKTIVEN QUELLEN UND DER BETRIEBE IN DER MOBILEN RADIOGRAPHIE (AP 1)

AP 1 umfasst die Erstellung und das Versenden einer Umfrage zur Datenerhebung zur Nutzung mobiler Radiographie bei relevanten Betrieben, um einen Überblick über die verwendeten Geräte, Anzahl der strahlenexponierten Mitarbeiter, die Arbeitsabläufe, Strahlenschutzmaßnahmen und das Notfallmanagement zu erlangen.

2.2 REGULATORISCHE ANFORDERUNGEN FÜR GERÄTE UND TÄTIGKEITEN DER MOBILEN RADIOGRAPHIE (AP 2)

Im Rahmen des AP 2 werden Anforderungen und Regelungen für die Durchführung von Messungen mit Geräten zur mobilen Radiographie dargelegt. Dazu gehört die Darstellung der aktuellen Gesetze, Verordnungen und Richtlinien für den Betrieb und die Beförderung der Geräte.

2.3 DATENSAMMLUNG DER TÄTIGKEITSBEZOGENEN PERSONENDOSEN (AP 3)

AP 3 dient der Sammlung von Expositionsdaten des Personals, wie sie beispielsweise durch Auswertung der betrieblichen Dosiserfassung, zusätzliche Messungen vor Ort oder aus Dosisdaten des Strahlenschutzregisters des BfS erhoben werden können. Neben der Erhebung sollen die Daten auch auf ihre Konsistenz und Plausibilität geprüft werden.

2.4 AUSWERTUNG DER BESONDEREN VORKOMMISSE, NOTFALLVORSORGE (AP 4)

AP 4 beschäftigt sich mit der Aufbereitung und Auswertung von Meldungen über besondere und potentielle Ereignisse, insbesondere beim Einsatz von hochradioaktiven Quellen, die zu ungeplanten Expositionen führen könnten.

2.5 DATENANALYSE (AP 5)

Der Fokus des AP 5 liegt auf der Analyse der dosimetrischen Daten in Bezug auf die Wirksamkeit und Angemessenheit der regulatorischen Anforderungen. Ziel ist dabei die Optimierung des Arbeitsschutzes mit konkreten Hinweisen zu Arbeitsabläufen, die zu Dosisersparungen führen können.

3. METHODIK

3.1 ERMITTLUNG DER TÄTIGKEITEN, DER BENUTZTEN GERÄTE/RADIOAKTIVEN QUELLEN UND DER BETRIEBE IN DER MOBILEN RADIOGRAPHIE (AP 1)

Die Umfrage, die an verschiedene Betriebe mit mobiler Radiographie versendet wird, dient der Datensammlung zu den Themenbereichen „verwendete Geräte“, „Anzahl der strahlenexponierten Mitarbeiter“, „Strahlenschutzmaßnahmen“ und „Notfall und Zwischenfälle“. Die Adressen der relevanten Betriebe sind in gewissem Umfang bekannt und werden durch Verbände, wie beispielsweise der Deutschen Gesellschaft für Zerstörungsfreie Prüfung e. V. (DGZfP), und Aufsichtsbehörden unterstützt.

3.2 REGULATORISCHE ANFORDERUNGEN FÜR GERÄTE UND TÄTIGKEITEN DER MOBILEN RADIOGRAPHIE (AP 2)

Für das AP 2 werden die bestehenden regulatorischen Anforderungen an die Verwendung und den Transport von Geräten für die mobile Radiographie recherchiert und aktuelle Richtlinien gesichtet.

3.3 DATENSAMMLUNG DER TÄTIGKEITSBEZOGENEN PERSONENDOSIS (AP 3)

Im AP 3 werden anhand der Datenerhebung aus AP 1 Betriebe ermittelt, bei denen die Dosisdaten der verwendeten Geräte und Methoden sowie die tatsächlichen Dosiswerte der Mitarbeiter ausführlich erhoben werden sollen. Um eine vollständige Abdeckung der Überwachung der Dosiswerte zu gewährleisten, werden den Betrieben zusätzliche Dosimeter bereitgestellt. Damit sollen die involvierten Mitarbeiter (anonymisiert), die Methoden und Arbeitsabläufe, die ausgeführten Tätigkeiten und die Dauer des Einsatzes genau ermittelt und auf Plausibilität überprüft werden. Zusätzlich werden Strahlungsfelder in der Umgebung der Strahlenquellen bei der Installation, dem Abbau, während der Messdurchführung, dem Transport und der Lagerung der mobilen Messgeräte vor Ort mit geeigneten Ortsdosisleistungsmessgeräten gemessen.

3.4 AUSWERTUNG DER BESONDEREN VORKOMMISSE, NOTFALLVORSORGE (AP 4)

AP 4 umfasst eine Literaturrecherche zu allen in Deutschland seit 2010 dokumentierten meldepflichtigen Vorkommnissen im Bereich der mobilen Radiographie. Zusätzlich werden mögliche Ereignisse benannt, die zu ungeplanten Expositionen hätten führen können.

3.5 DATENANALYSE (AP 5)

Die erhobenen Daten werden im AP 5 abschließend auf Wirksamkeit und Angemessenheit analysiert. Dabei werden vor allem die in AP 3 erhobenen Expositionsdaten der Strahlungsfelder in der Umgebung der Strahlenquellen und die Dosiswerte des Personals betrachtet. Aus der Datenanalyse können gegebenenfalls Optimierungsmöglichkeiten für die weiteren Tätigkeiten an den Geräten der mobilen Radiographie abgeleitet werden. Dazu gehören die Aspekte einer guten Strahlenschutzorganisation, Schutzausrüstung, Vorgehensweisen und Arbeitsabläufe, schnelle Einschätzungen des Gefahrenpotentials bei besonderen Vorkommnissen und der Einfluss von Fortbildungs- und Informationsveranstaltungen.

4. DURCHFÜHRUNG

4.1 ERMITTLUNG DER TÄTIGKEITEN, DER BENUTZTEN GERÄTE/RADIOAKTIVEN QUELLEN UND DER BETRIEBE IN DER MOBILEN RADIOGRAPHIE (AP 1)

Im Forschungsvorhaben wurde eine Umfrage konzipiert und an eine umfassende Anzahl an Betrieben verschickt, die in der Gamma- und Röntgenradiographie tätig sind. Daraus sollen dosisintensive Einsatzbereiche und Arbeitsabläufe ermittelt werden.

Die Resonanz auf die verschickten Umfragen lag unter 10 % und führt zu einer geringen Dichte an gesamtem Datenmaterial, so dass eine Auswertung möglich, aber statistisch nicht sehr repräsentativ ist. Dennoch bieten die Daten einen guten Überblick über die eingesetzte Messtechnik sowie die angelegte Spannung und übliche Belichtungszeiten. Daraus lassen sich schon einzelne Aussagen über mögliche Dosen und Risiken für das Personal ableiten.

4.2 REGULATORISCHE ANFORDERUNGEN FÜR GERÄTE UND TÄTIGKEITEN DER MOBILEN RADIOGRAPHIE (AP 2)

Eine Liste von Verordnungen, Normen und Richtlinien zu den regulatorischen Anforderungen für Geräte und Tätigkeiten der mobilen Radiographie wurde erstellt. Darunter fallen die Strahlenschutz- (StrlSchV) und Röntgenverordnung (RöV) und zahlreiche DIN-Normen. Grundlegend sind zunächst die Regelungen zur technischen Anwendung umschlossener radioaktiver Stoffe bei der zerstörungsfreien Prüfung.

5. ERGEBNISSE

5.1 ERMITTLUNG DER TÄTIGKEITEN, DER BENUTZTEN GERÄTE/RADIOAKTIVEN QUELLEN UND DER BETRIEBE IN DER MOBILEN RADIOGRAPHIE (AP 1)

Unter AP 1 wurden die Antworten der versendeten Fragebögen ausgewertet. In der mobilen Radiographie werden überwiegend die Strahlenquellen Ir-192 oder Se-75 verwendet. Eine weitere mögliche Strahlenquelle ist Co-60, die jedoch seltener verwendet wird. Die eingesetzten Aktivitäten und Belichtungszeiten hängen von der Strahlungsquelle, den Spezifikationen des Gerätes und dem Verwendungszweck ab. Ein direkter Vergleich der Belichtungszeiten und angesetzten Aktivitäten bei der Röntgenradiographie ist nur schwer möglich, da es sich immer um Geräte von unterschiedlichen Herstellern gehandelt hat.

Die durch die Umfrage erfassten strahlenexponierten Mitarbeiter sind zum Großteil der Strahlenschutzkategorie A zugehörig und unterliegen einer medizinischen Überprüfung. Die Auswertung der amtlichen Dosimeter ergab, dass die höchste jährliche effektive Dosis für Mitarbeiter in der mobilen Radiographie bis maximal 6 mSv pro Jahr beträgt. Der jährlich zulässige Grenzwert für strahlenexponiertes Personal liegt bei 20 mSv im Jahr. Der Großteil der Mitarbeiter erfährt jedoch Dosen unter 3 mSv (etwa 92 %). Etwa 50 % des gesamten exponierten Personals erfährt eine zusätzliche Dosis von unter 1 mSv im Jahr. Die natürliche Strahlenbelastung in Deutschland variiert regional zwischen 1 und 6 mSv im Jahr. Um eine gefährliche Strahlenbelastung zu erkennen sind alle strahlenexponierten Mitarbeiter, neben dem amtlichen vorgeschriebenen Dosimeter, mit einem betrieblichen Dosimeter mit akustischem Alarm ausgestattet. Die Anzahl der durchgeführten Durchstrahlungsprüfungen variiert für das betroffene Personal stark zwischen einzelnen bis hin zu mehr als 100 Anwendungen im Monat.

In den meisten Betrieben beträgt der Abstand zur offenen Strahlenquelle während der Belichtung mehr als 10 Meter. Dazu ist das Gerät meist mit Kollimatoren, Abschirmungen und Blenden ausgestattet und zusätzlich werden Gebäudestrukturen und Bleiabschirmungen verwendet.

In den letzten fünf Jahren kam es nach Angaben der Betriebe zu keinem Zwischenfall, beinahe Unfall oder sonstigen Vorkommnissen bei der Verwendung von Strahlenquellen. Bei Unfällen würden die Informationen zu den Vorkommnissen an die zuständigen Aufsichtsbehörden oder andere öffentliche Institutionen weitergegeben.

5.2 REGULATORISCHE ANFORDERUNGEN FÜR GERÄTE UND TÄTIGKEITEN DER MOBILEN RADIOGRAPHIE (AP 2)

In AP 2 wurden bisher die aktuellen regulatorischen Anforderungen gesichtet und zusammengefasst. Übergeordnet fungieren die Strahlenschutzverordnung und das zum Ende 2018 verabschiedete Strahlenschutzgesetz sowie die Röntgenverordnung. Darin ist festgelegt, wie hoch die jährliche effektive und Organdosis für strahlenexponiertes Personal sein darf, welche Grenzwerte nicht überschritten werden dürfen und wie die Regularien überprüft werden müssen. In der Regel sind Strahlenschutzbeauftragte für die Überwachung und Einhaltung der Grenzwerte der Mitarbeiter zuständig.

6. GEPLANTE WEITERARBEIT

Das Arbeitspaket 1 ist weitestgehend abgeschlossen, AP 2 ist in Bearbeitung. Mit der durchgeführten Umfrage konnte ein Überblick über die Tätigkeiten und Anwendung der mobilen Radiographie erstellt werden. Im weiteren Projektverlauf wird mit der Dosisüberwachung in relevanten Betrieben begonnen.

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 and design of a dose meter resp. dose rate meter for dose-equivalent $H^*(10)$ and $H'(0,07)$, in particular for photon energies less than 30 keV</i>			
Kennzeichen 3617S72384	Beginn 16.01.2018	Ende 30.06.2019	Fördermittel EUR 192.059,-
Forschungs- / Auftragnehmer GWT-TUD GmbH, Dresden			
Projektleitung Dr. J. Henninger	Fachbetreuung BfS L. Kammerer / MB 4		verantwortlich für den Text L. Kammerer

1. ZIELSETZUNG

Messgrößen für die Ortsdosis bzw. Ortsdosisleistung sind die Umgebungs-Äquivalentdosis $H^*(10)$ sowie die Richtungs-Äquivalentdosis $H'(0,07)$ bzw. deren Leistung („gesetzliche Messgrößen“). Da im niedrigen Energiebereich unter 30 keV keine handhabbaren Messgeräte auf dem Markt verfügbar sind, die in den gesetzlichen Messgrößen messen und zugleich über eine Bauartzulassung bzw. Konformitätsbewertung nach dem Mess- und Eichrecht verfügen, sind Übergangslösungen zur Ermittlung von Ortsdosis und Ortsdosisleistung zugelassen. Im Rahmen des Forschungsvorhabens soll eine Verbesserung des Messgeräteangebots für spezielle bisher nicht abgedeckte Bereiche herbeigeführt werden.

2. EINZELZIELSETZUNG

Ziel des Vorhabens ist es, ein in den gesetzlichen Messgrößen $H^*(10)$ sowie $H'(0,07)$ messendes Gerät für Photonenenergien von 15 keV bis 150 keV konformitätsbewertet nach den Anforderungen des Mess- und Eichrechts konzeptionell zu entwickeln. Im Anschluss ist ein in realen Strahlungsfeldern geprüfter Prototyp herzustellen.

2.1 ERMITTLUNG DER GESETZLICHEN ANFORDERUNGEN (AP 1)

Im Arbeitspaket 1 wurden die gesetzlichen Anforderungen an ein Ortsdosimeter und Ortsdosisleistungsmeter für die Messgrößen $H^*(10)$ sowie $H'(0,07)$ für kontinuierliche und gepulste Felder zusammengestellt (Fehlertoleranz, Energie- und Winkelabhängigkeit, usw.).

2.2 KONZEPTION EINES GEEIGNETEN ORTSDOSISMESSGERÄTES (AP 2)

Im Arbeitspaket 2 wurde ein Konzept für ein Ortsdosis- und Ortsdosisleistungsmessgerät für die Messgrößen $H^*(10)$ sowie $H'(0,07)$ entwickelt.

2.3 PRÜFUNG DES DOSIMETERPROTOTYPS IN REALEN STRAHLUNGSFELDERN (AP 3)

Im Arbeitspaket 3 wird die Eignung des Prototyps zur Messung von $H^*(10)$ bzw. $H'(0,07)$ in realen Strahlungsfeldern gemäß PTB-Anforderungen (PTB-A 23.3: „Ortsdosimeter zur Messung der Umgebungs- und Richtungs-Äquivalentdosis und der Umgebungs- und Richtungs-Äquivalentdosisleistung“) geprüft.

3. METHODIK

Für das AP 2 wurden Luminophore und Lichtdetektoren auf Basis von Photo-Sekundärelektronenvervielfachern bzw. Halbleiterkonzepte auf ihre Eignung zur Lösung der gestellten Aufgaben in Bezug auf Empfindlichkeit, Gewebeäquivalenz, Zeitverhalten und Verfügbarkeit hin untersucht, wobei die Kriterien der PTB-A 23.3 berücksichtigt wurden. Anhand der fundamentalen physikalischen Eigenschaften wird ein geeignetes Material vorgeschlagen.

4. DURCHFÜHRUNG

Es wurden Testmessungen mit BeO-Sensoren u. a. in einem Caesium-137-Strahlungsfeld und einem Am-241-Strahlungsfeld durchgeführt. Das Ansprechvermögen der Radiolumineszenz von BeO wurde untersucht, indem ein BeO-Chip (Abmessungen 4,7 mm x 4,7 mm x 0,5 mm) vor das Eintrittsfenster eines Einzelphotonensensors gebracht wurde.



Abbildung 1: Dosimeter Prototyp

5. ERGEBNISSE

Die Testmessungen zeigen die Notwendigkeit der Abschirmung der Photokathode vom Primärstrahlungsfeld, die beim hier beabsichtigten Nenngebrauchsbereich der Photonenenergien gut umsetzbar ist.

6. GEPLANTE WEITERARBEIT

Ausgehend von den physikalischen Betrachtungen wird u. a. das Verhalten des Funktionsmusters auch bei intensiver, stark gepulster Strahlung untersucht.

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 3617S72572	Beginn 01.06.2017	Ende 31.01.2020	Fördermittel EUR 563.792,-
Forschungs- / Auftragnehmer Brenk Systemplanung GmbH, Aachen RCM Radiochemie München, Garching			
Projektleitung Dr. S. Thierfeldt	Fachbetreuung BfS A. Heckel / UR 3		verantwortlich für den Text 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 AP 3 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

Im Berichtszeitraum wurde AP 2 abgeschlossen und mit AP 3 begonnen:

4.1 ERARBEITEN DER MESSSTRATEGIE, PLANUNG DER MESSUNGEN

Die Arbeiten zu AP 2 konzentrierten sich im Wesentlichen auf folgende Bereiche:

- Entwicklung einer Messstrategie und
- Einholen von Zustimmungen der kerntechnischen Anlagen.

Im ersten Schritt wurden geeignete Anlagen ausgewählt, in denen das Messprogramm zu AP 3 durchgeführt werden soll. Um das Ziel der Bestimmung der Aktivitäts- und Partikelgrößenverteilung im Nano- und Millimeterbereich in der Fortluft kerntechnischer Anlagen mit und ohne Vollfilterung zu erreichen, wurden die jeweiligen Messaufgaben und deren Ziele definiert. Hierzu zählte auch die Festlegung, unter welchen Bedingungen die Messungen erfolgen sollen. Da sowohl Anlagen mit als auch Anlagen ohne Vollfilterung untersucht wer-

den sollen, ergeben sich unterschiedliche Messaufgaben und damit unterschiedliche Messanforderungen an die Messtechnik. Ebenso wurden mit Hilfe der bereits im ersten Berichtszeitraum durchgeführten Untersuchungen an der RCM die jeweiligen Messverfahren bestimmt.

Im Berichtszeitraum erfolgten zusätzlich erste Abstimmungen mit den jeweiligen Anlagen, in denen die experimentelle Untersuchung stattfinden wird.

Hierzu wurden mit folgenden Anlagen die generelle Zustimmung für die Durchführung der Messungen vor Ort abgesprochen:

- Kernkraftwerk Isar (KKI)
- Kernkraftwerk Biblis (KWB)
- Kernkraftwerk Gundremmingen (KGG)
- Forschungsreaktor München (FRM (alt)), in Stilllegung

Im Berichtszeitraum wurden seitens der Brenk Systemplanung GmbH zwei Niederdruckimpaktoren aus Eigenmitteln angeschafft, um auch lange Messzeiträume an der Anlage selber zu ermöglichen. Die Impaktoren sind mit denen des Forschungszentrums vergleichbar. Beide Systeme unterscheiden sich nur darin, dass bei den Messgeräten aus dem Forschungszentrum die Möglichkeit besteht, Online-Messsignale ebenfalls zu messen und darzustellen.

4.2 VORBEREITENDE UNTERSUCHUNG ZUR BESTIMMUNG DER MESSDAUER IN ATMOSPHERÄN MIT EINER SEHR NIEDRIGEN PARTIKELDICHTE IM FRM (ALT)

Eine Hauptaufgabe dieses Forschungsvorhabens ist es, die Aktivitäts- und Partikelgrößenverteilung in kerntechnischen Anlagen mit einer Vollfilteranlage zu untersuchen. Generell kann bei diesen Anlagen davon ausgegangen werden, dass die Partikeldichte in der Fortluft tendenziell sehr niedrig sein wird. Daher ergibt sich hieraus, dass sehr niedrige Abscheidungen auf den jeweiligen Impaktorstufen vorzufinden sein werden. Daraus folgt ebenfalls, dass die Offline-Messungen sehr lange durchgeführt werden müssen, um eine geeignete hohe Aktivität auf ihnen zu sammeln. Um eine zeitliche Abschätzung für diese Messungen durchzuführen, wurde eine Messung im FRM (alt) an der Lüftungsanlage durchgeführt, bei der nur die Raumluft umgewälzt wurde und dementsprechend eine sehr geringe Partikeldichte vorliegt.

5. ERGEBNISSE

5.1 MESSVORBEREITUNG

Im Berichtszeitraum wurden die unterschiedlichen Messziele und die daraus resultierenden Messaufgaben festgelegt. Neben der Auswertung der Aktivitätsbestimmung, die bereits im vorherigen Berichtszeitraum untersucht wurde, wurde diesmal festgelegt, wie die Partikelproben aus der Fortluft zu entnehmen und welche unterschiedlichen Messaufbauten notwendig sind. Um die Auswirkungen sich ändernder Partikelverteilung auf die Partikelgrößenverteilung in der Fortluft kerntechnischer Anlagen bestimmen zu können, ist bei Anlagen mit Vollfiltern die Filtereffizienz für jede untersuchte Größenklasse zu bestimmen. Dazu werden mit Niederdruckimpaktoren die Atmosphäre vor und nach dem Filter gleichzeitig untersucht und miteinander verglichen. In ähnlicher Weise wird bei Anlagen ohne Vollfilterung die Atmosphäre an zwei Stellen gleichzeitig untersucht. Dazu ist in solchen Anlagen geplant, eine Probenentnahme in unmittelbarer Nähe zum Aerosolentstehungsort und eine weitere in der Fortluft der Anlage aufzubauen. Mit diesem Aufbau ist eine Bewertung der Partikelrückhaltung in der Leitungsführung nach Größenklassen gegeben.

Im Berichtszeitraum wurden Vorabstimmungen mit den jeweiligen kerntechnischen Anlagen KKI, KWB, KGG und FRM (alt) durchgeführt. Um mit den Messungen in den Anlagen zeitnah beginnen zu können, wurden weitere Absprachen mit einer Besichtigung der jeweiligen Stellen vor Ort durchgeführt.

5.2 MESSUNGEN

Im Berichtszeitraum wurden Messungen in der Lüftungsanlage des FRM (alt) durchgeführt. Hiermit wurden abschätzende Messungen in Bezug auf die Messdauer mit den neu erworbenen Messgeräten in einer nahezu partikelfreien Umgebung durchgeführt. Dazu wurde im Hauptluftstrom der Lüftungsanlage über eine isokinetische Probenentnahme ein Niederdruckimpaktor angeschlossen und kontinuierlich über zwei Wochen die Partikelgrößenverteilung gemessen. In diesem Zeitraum wurden Partikelmassen in der Größenordnung der

Messgenauigkeit der Waage erzielt, so dass unter diesen Bedingungen eine deutlich längere Messdauer von mindestens der doppelten Versuchszeit notwendig wird.

Generell wird die Vorbereitung der Messungen in der RCM stattfinden. Dies hat den Vorteil, dass eine temperierte Waage für die Bestimmung der massenabhängigen Partikelgrößenverteilung zur Verfügung steht, wodurch der Einfluss der Temperatur auf das Messergebnis reduziert wird. Gleichzeitig liegen die Proben mit Partikeln direkt im Kontrollbereich des RCM zur Aktivitätsauswertung vor.

6. GEPLANTE WEITERARBEIT

Die geplanten Arbeiten umfassen die Durchführung der Messungen in den kerntechnischen Anlagen. Im Anschluss werden die auf den Impaktorplatten abgeschiedenen Partikel in der RCM in Bezug auf die massenbezogene Partikelgrößenverteilung als auch die Aktivitätsverteilung nach Größenklassen untersucht.

Nach bereits erfolgten Vorbereitungen zu Messungen im KKI und im KWB werden neue Messungen voraussichtlich ab April durchgeführt, sobald alle erforderlichen Zusagen seitens der Betreiber vorliegen.

Thema			
Erweiterung und Aktualisierung von ProZES (Programm zur Berechnung der Zusammenhangswahrscheinlichkeit zwischen einer Erkrankung und einer Strahlenexposition)			
Subject			
<i>Extension and update of ProZES (program for assesment of assigned share between cancer and radiation exposure)</i>			
Kennzeichen	Beginn	Ende	Fördermittel
3618S72230	01.09.2018	31.08.2019	EUR 156.999,-
Forschungs- / Auftragnehmer			
Helmholtz Zentrum München, Institut für Strahlenschutz			
Projektleitung	Fachbetreuung BfS	verantwortlich für den Text	
Dr. M. Eidemüller	Dr. M. Schnelzer / WR 3	Dr. M. Eidemüller	

1. ZIELSETZUNG

In dem Forschungsvorhaben soll das Software-Paket ProZES weiterentwickelt werden. In zwei früheren vom Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit (BMU) geförderten Forschungsvorhaben wurde die ProZES-Software entwickelt. Diese berechnet die Zusammenhangswahrscheinlichkeit zwischen einer Krebserkrankung und vorangegangener Strahlenexposition und wurde mit neuen strahlenepidemiologischen Daten und aktuellen Modellen zum Strahlenrisiko entwickelt. Dabei wurden für die häufigsten Krebserkrankungen eigens entwickelte Modelle verwendet; für die anderen Krebsarten wurden gruppierte Modelle entwickelt. Das Programm befindet sich zur Zeit in einer Testphase. Auf Basis der gesammelten Erfahrungen wurden in einem Fachgespräch Vorschläge zur Erweiterung, Aktualisierung und Verbesserung der Software erarbeitet. Diese sollen in dem Forschungsvorhaben umgesetzt werden.

2. EINZELZIELSETZUNG

Das Projekt gliedert sich in 3 Arbeitspakete mit unterschiedlichen Einzelzielsetzungen.

2.1 ERGÄNZEN FEHLENDER BERECHNUNGSMÖGLICHKEITEN (AP 1)

Die aktuelle Version von ProZES enthält kein Risikomodell für Multiples Myelom. Auf Basis der Daten der Atombombenüberlebenden von Hiroshima und Nagasaki (LSS¹)-Kohorte) soll ein Risikomodell entwickelt werden. (AP 1.1)

Die aktuelle Version von ProZES enthält keine Möglichkeit, die Zusammenhangswahrscheinlichkeit bei Erkrankungen an mehreren Primärtumoren zu berechnen. Eine solche Methode soll entwickelt und in die Software implementiert werden. (AP 1.2)

2.2 ÜBERARBEITEN DER BERECHNUNGSMÖGLICHKEITEN MIT VERBESSERUNGSBEDARF (AP 2)

Die Leukämie-Modelle sollen mit dem LSS-Datensatz neu analysiert werden. Dabei soll ein besonderer Schwerpunkt auf die Robustheit der Modelle gelegt werden. Für verschiedene mögliche Expositionsszenarien sollen die Risikowerte evaluiert werden. (AP 2.1)

Das Berechnungsverfahren für die Verursachungswahrscheinlichkeit von Lungenkrebs durch Hoch-LET-Strahlung im Bergbau soll überarbeitet werden. Das Modell soll in Abstimmung mit der BfS-Fachbetreuung auf der Wismut-Kohorte basieren. (AP 2.2)

Das derzeitige Berechnungsverfahren für die Verursachungswahrscheinlichkeit von Lungenkrebs durch Radon und Radonfolgeprodukte in Wohnräumen soll hinsichtlich seiner Eignung für den Arbeitsplatz überprüft und gegebenenfalls durch ein modifiziertes Verfahren ersetzt werden. (AP 2.3)

¹) Life Span Study

2.3 VERBESSERN DER BENUTZERFREUNDLICHKEIT DES PROGRAMMS (AP 3)

Es sollen folgende Aspekte der ProZES Software verbessert und implementiert werden:

- Tutorial und Benutzerfreundlichkeit (AP 3.1):
 - Erstellung eines Tutorials mit Beispielrechnungen
 - Überarbeitung der Hilfe-Datei des geänderten Programms
 - Überprüfung von Möglichkeiten geeigneter Pop-up-Hilfen und deren Implementierung
 - Überprüfung der Wertebereiche der verschiedenen Eingabeparameter.
- Modellimplementation und Qualitätssicherung (AP 3.2):
 - Die Möglichkeit der Eingabe der Daten über ein Excel-Formular soll überprüft werden und gegebenenfalls implementiert werden.
 - Die Implementation der finalen Risikomodelle und Erweiterungen soll abgeschlossen werden.
 - Eine Qualitätssicherung und Tests der implementierten Risikomodelle soll vorgenommen werden.

3. METHODIK

Die Entwicklung der Risikomodelle und Berechnung der Zusammenhangswahrscheinlichkeit soll auf Basis der in ProZES implementierten Methodik erfolgen. Zur Entwicklung der Risikomodelle für Multiples Myelom sowie der Leukämie-Modelle müssen ERR¹⁾- und EAR²⁾-Risikomodelle entwickelt und an die LSS-Daten angepasst werden. Die Leukämie-Modelle werden explizit für die Leukämie-Subtypen ALL³⁾, AML⁴⁾, CML⁵⁾ und Lymphome inklusive CLL⁶⁾ erstellt. Inzidenzraten der entsprechenden Endpunkte müssen aus Datenbanken für die deutsche Bevölkerung gewonnen werden. Die erhaltenen Risikomodelle müssen auf Plausibilität sowie Konsistenz mit der Literatur überprüft werden.

Zur Abschätzung der Zusammenhangswahrscheinlichkeit beim Auftreten von mehreren Primärtumoren soll ein mathematisches Verfahren hergeleitet werden. Insbesondere soll überprüft werden, ob die in IREP⁷⁾ implementierte Methode für die obere Grenze des 99 %-Konfidenzintervalls sich allgemeiner für die gesamte Verteilung der Zusammenhangswahrscheinlichkeit übertragen lässt.

4. DURCHFÜHRUNG

Für Multiples Myelom (MM) wurde der Datensatz der LSS-Kohorte auf Basis des Follow-ups von Hsu et al.⁸⁾ analysiert. Es existieren 136 Fälle von MM. Es wurde eine parametrische Baseline angepasst, die von Alter, Geschlecht und Geburtsjahr abhängig ist, sowie das zusätzliche relative Risiko (ERR) bestimmt.

Es wurde ein Berechnungsverfahren zur Ableitung der Zusammenhangswahrscheinlichkeit bei Erkrankung an mehreren Primärtumoren hergeleitet und mit der in IREP implementierten Formel verglichen. Dabei wurde untersucht, inwieweit die Resultate von der zugrunde liegenden Annahme der Korrelation der Zusammenhangswahrscheinlichkeiten der einzelnen Primärtumoren abhängen.

Chronisch myeloische Leukämie (CML) wurde auf Basis des LSS-Datensatzes von Hsu et al. analysiert. Da CML sehr komplexe Altersabhängigkeiten aufweist, wurden separate kategorielle Analysen zu Zeit seit Exposition, Alter und Alter bei Exposition durchgeführt. Es wurden verschiedene Risikomodelle für ein kombiniertes Modell mit der Multi-Modell-Inferenzmethode ausgewählt.

1) excess relative risk, zusätzliches relatives Risiko
2) excess absolute risk, zusätzliches absolutes Risiko
3) akute lymphatische Leukämie
4) akute myeloische Leukämie
5) chronische myeloische Leukämie
6) chronische lymphatische Leukämie
7) Interactive Radio Epidemiological Risk Tables
8) Hsu et al., Radiat. Res. 2013, 179:361-382

5. ERGEBNISSE

Für Multiples Myelom ist das Hintergrundrisiko vom Geschlecht abhängig und größer für Männer als für Frauen. Der Anstieg mit dem Alter ist dabei für beide Geschlechter ähnlich. Das Strahlenrisiko war positiv und in einer ähnlichen Größenordnung wie für alle soliden Tumore mit

$$\text{ERR/Gy} = 0,41 \pm 0,38 \text{ (SE, standard error);}$$

es ist dabei nicht signifikant auf dem 95%-Konfidenzintervall.

Im Falle von 2 Primärtumoren und unter der Annahme einer vollständigen Korrelation der Unsicherheiten bestimmt sich die Zusammenhangswahrscheinlichkeit mit

$$Z_{\text{total}} = 1 - (1 - Z_1)(1 - Z_2).$$

Diese ist identisch mit der in IREP verwendeten Formel. Unter Annahme von unkorrelierten, oder nicht vollständig korrelierten, Unsicherheiten können sich Abweichungen ergeben. Diese wurden mit Simulationsstudien untersucht.

Für CML wurde festgestellt, dass eine sehr starke Abhängigkeit des Risikos von der Zeit seit Exposition vorhanden ist. Die besten Risikomodelle sind ERR-Modelle, bei denen das Risiko mit dem Alter seit Exposition abfällt. Das beste Modell nach Devianz weist 2 Stufen auf, eine Stufe bei 10 Jahren seit Exposition und eine bei 40 Jahren seit Exposition. Bei weniger als 10 Jahren seit Exposition ist das zusätzliche relative Risiko hoch, bei etwa 40/Gy, zwischen 10 und 40 Jahren ist es etwa 5/Gy, und verschwindend klein für mehr als 40 Jahre seit Exposition. Beim kontinuierlichen Modell fällt das Risiko exponentiell mit Alter seit Exposition ab. Basierend auf den Ergebnissen von INWORKS¹⁾, in denen keine eindeutige Altersabhängigkeit gefunden wurde, wurde auch ein konstantes ERR-Modell mitberücksichtigt.

6. GEPLANTE WEITERARBEIT

Die geplante Weiterarbeit beinhaltet:

- Entwicklung von Risikomodellen für AML
- Entwicklung von Risikomodellen für ALL
- Entwicklung von Risikomodellen für Lymphome inklusive CLL
- Risikomodell zu Radon für Bergarbeiter
- Risikomodell zu Radon an anderen Arbeitsplätzen
- Einbau der Risikomodelle in die Software
- Verbesserung der Benutzerfreundlichkeit der Software.

¹⁾ INWORKS ist eine von der Internationalen Krebsforschungsagentur (IARC) koordinierte Studie, in der der Zusammenhang zwischen Strahlung und Krebsrisiko bei über 300 000 Nukleararbeitern aus drei verschiedenen Ländern (Frankreich, GB und USA) untersucht wird.

Thema			
Fortschreibung der Untersuchung und Bewertung der tätigkeitsbezogenen Strahlenexposition in Anlagen nach AtG und standortnahen Zwischenlagern für radioaktive Abfälle			
Subject			
<i>Update of the investigation and evaluation of task-related radiation exposure in nuclear facilities and on-site interim storage facilities for radioactive waste</i>			
Kennzeichen 3618S72392	Beginn 01.11.2018	Ende 30.09.2021	Fördermittel EUR 316.966,-
Forschungs- / Auftragnehmer Gesellschaft für Anlagen- und Reaktorsicherheit (GRS) gGmbH			
Projektleitung Dr. A. Günther	Fachbetreuung BfS L. Kammerer / MB 4	verantwortlich für den Text Dr. A. Günther	

1. ZIELSETZUNG

Ein erheblicher Teil der gesamten beruflichen Strahlenexposition in Deutschland entsteht während des Betriebs und bei 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, zwei weiteren bis Ende 2017 und der Abschaltung aller Leistungsreaktoren bis 2022 erhält die mit den genannten Arbeiten einhergehende Strahlenexposition zusätzlich eine aktuelle Bedeutung für den radiologischen Arbeitsschutz in kerntechnischen Anlagen. Ebenso gewinnt der Betrieb standortnaher Zwischenlager für abgebrannte Brennelemente sowie für die Lagerung radioaktiver Abfälle aus Stilllegung und Abbau von Leistungsreaktoren an Bedeutung.

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 aufbauend auf den Ergebnissen des Vorläufervorhabens 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.

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 2017 bis 2019 erhoben, aufbereitet und in jährlichen bzw. zweijährlichen 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. Die internationale Zusammenarbeit und der 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 Internationalen Atomenergie-Organisation (IAEO) sind vorgesehen.

2.4 EINSATZ VON AUSLÄNDISCHEM FREMDPERSONAL

Aufbauend auf den Ergebnissen des Vorläufervorhabens und 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.

3. METHODIK

3.1 METHODIK ZUR UNTERSUCHUNG DER BERUFLICHEN STRAHLENEXPOSITION IN KERNTÉCHNISCHEN ANLAGEN

Der VGB¹⁾ und damit die deutschen Betreiber von Leistungsreaktoren sind zum 31. März 2016 aus ISOE ausgetreten. Die Betreiber sind trotz des Ausstiegs aus ISOE im Rahmen der jährlichen Berichterstattung an die RSK²⁾ weiterhin verpflichtet, Angaben zur Strahlenexposition des Personals gemäß der ISOE-Datenauswertung vorzunehmen, so dass die Detailtiefe der von den Betreibern zur Verfügung gestellten Daten weiterhin gewährleistet ist. Allerdings hat sich im Vorläufervorhaben herausgestellt, dass die Sammlung der Expositionsdaten im Vergleich zu den Vorjahren erschwert wird, da ein Großteil der Betreiber ihre Expositionsdaten nicht mehr direkt an ISOE melden und die GRS dadurch teilweise auf andere Quellen angewiesen ist. Darüber

¹⁾ Vereinigung der Großkesselbesitzer

²⁾ Reaktorsicherheitskommission

hinaus werden für Teilbereiche die Daten durch ergänzende Anfragen bei den jeweiligen Anlagen angereichert. Die bei der Auswertung und Analyse gewonnenen Ergebnisse werden für die verschiedenen Themenbereiche in Berichten dokumentiert. Die in den Abschnitten 2.2 und 2.3 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.

4. DURCHFÜHRUNG

4.1 UNTERSUCHUNG DER BERUFLICHEN STRAHLENEXPOSITION IN KERNTÉCHNISCHEN ANLAGEN

Die Daten der kerntechnischen Anlagen eines Jahres werden jeweils im Folgejahr in den Anlagen erhoben. Mit dem Austritt des VGB 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, u. a. die Berichte der Betreiber an die RSK, 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

Die Sammlung der Daten zur Strahlenexposition für das Berichtsjahr 2017 wurde weitergeführt. Es wurde mit ersten vorbereitenden Maßnahmen zur Erstellung des nach Abschnitt 2.1 vorgesehenen Jahresberichts mit Übersichten über die berufliche Strahlenexposition in Anlagen der Ver- und Entsorgung für die Jahre 2016 und 2017 begonnen. Aus Gründen des Datenschutzes stehen die Berichte der Öffentlichkeit nicht zur Verfügung.

5.2 INTERNATIONALER ERFAHRUNGSUSTAUSCH

Es erfolgte eine enge Mitarbeit in den Gremien und Arbeitsgruppen des ISOE, die die Sitzungen der ISOE Working Group on Data Analysis (WGDA) und des ISOE Management Boards (MB), die im Dezember 2018 stattfanden, umfassten.

6. GEPLANTE WEITERARBEIT

Für das Jahr 2019 ist die Fortführung der Arbeiten geplant. Dies umfasst insbesondere die im Vorhaben vorgesehene Datensammlung und die Fortführung der jährlichen bzw. zweijährlichen Berichterstattung zur Strahlenexposition in kerntechnischen Anlagen. Ebenso wird die Mitarbeit in den Gremien und Arbeitsgruppen des ISOE fortgesetzt, welche neben der WGDA¹⁾ und des ISOE, insbesondere auch die im Frühjahr 2015 gegründete ISOE-Expertengruppe WGDECOM, die sich speziell mit Fragestellungen der Stilllegung von Kernkraftwerken befasst, umfasst, um sowohl deutsche Erfahrungen in den internationalen Erfahrungsaustausch als auch umgekehrt internationale Erfahrungen in den deutschen Erfahrungsaustausch einzubringen.

¹⁾ Working Group on Data Analysis

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	31.03.2019	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 / WR 5	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. Die Datenerhebung ist seit Sommer 2018 abgeschlossen.

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 Befeldungschemas, 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 Vormittagen 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 (Duke aus der Virtual Population) durchgeführt. Als potenzielle Einflussgrößen auf die resultierende Exposition wurden anatomische Variationen (Verwendung zweier deutlich unterschiedlicher Kopfmodelle), Unsicherheiten bezüglich der dielektrischen Gewbeeigenschaften, 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 diesen hatte ein Proband das Interesse an einer weiteren Studienteilnahme bereits vor der Gewöhnungsnacht verloren und 41 mussten wegen polysomnographisch definierter Ausschlusskriterien (vorwiegend auf Grund schlafbezogener Atmungsstörungen) ausgeschlossen werden, so dass insgesamt 33 Personen in die Studie eingeschlossen werden konnten. Zwei Probanden hatten die Studie vorzeitig beendet und die Daten eines weiteren Probanden mussten wegen unzureichender Qualität von der Auswertung ausgeschlossen werden.

6. GEPLANTE WEITERARBEIT

Die erhobenen Daten werden unter Wahrung der Verblindung vorausgewertet. Für die endgültige Auswertung werden die Daten entblindet und hinsichtlich von Expositionseffekten auf die Zielparameter ausgewertet. Mit den Ergebnissen wird ein barrierefreier Abschlussbericht erstellt.

Thema

Leukämie im Kindesalter - Einfluss des Immunsystems auf die Entstehung der Erkrankung (experimentelle Studie an einem geeigneten Tiermodell)

Subject

Childhood leukemia - influence of the immune system on the development of the disease (experimental study in a suitable animal model)

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 / WR 5

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 Leukämie-spezifische Veränderung im Erbgut und scheinen daher als Tiermodell besonders geeignet. Eine Zuchtkolonie des Tiermodells wurde am Fraunhofer ITEM etabliert und auf die benötigte Tierzahl expandiert (siehe Punkt 3.1)

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 auf die jungen Mäuse soll anhand von Lymphozyten aus immunologisch relevanten Organen untersucht werden. Basierend auf den Daten der vorausgehenden Studien soll dabei speziell auf die Entwicklung der T-Lymphozyten eingegangen werden.

2.4 ETABLIERUNG DER GENETISCHEN UNTERSUCHUNGEN

Eine Untersuchungsmethode zur Unterscheidung der Wurfgeschwister wurde am Fraunhofer ITEM etabliert. Hierzu wird das bei der Ohrmarkierung an Tag 21 bzw. während der Sektion an Tag 7 und 14 ausgestanzte Gewebe für die Gewinnung von genomischer DNA verwendet. Die anschließende Genotypisierung erfolgt mittels PCR.

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 (mikro-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) befledet. Für die Ausprägung der Leukämie-spezifischen Veränderung Sca1-ETV6-RUNX1 in der zu untersuchenden F1-Generation der Mäuse besteht eine Wahrscheinlichkeit von 50 %. Demnach werden alle Nachkommen zur Untersuchung herangezogen und nach Abschluss der jeweiligen Aufarbeitungen genotypisiert. Tabelle 1 zeigt die geplante Anzahl der männlichen (m) und weiblichen (w) Mäuse, die drei Untersuchungszeitpunkte (Tage post partum - nach der Geburt) und die unterschiedlichen Expositionsszenarien (Feldstärken in milli-Tesla).

Tabelle 1: Versuchsdesign

Untersuchungszeitpunkt (Tage pp)	Anzahl Sca1-ETV6-RUNX1 + Wildtyp Jungtiere (m / w)	Anzahl Sca1-ETV6-RUNX1 Jungtiere (m / w)	Feldstärke [mT]
7	40 / 40	20 / 20	0
	40 / 40	20 / 20	0,01
	40 / 40	20 / 20	1
	40 / 40	20 / 20	Käfigkontrolle
14	40 / 40	20 / 20	0
	40 / 40	20 / 20	0,01
	40 / 40	20 / 20	1
	40 / 40	20 / 20	Käfigkontrolle
28	40 / 40	20 / 20	0
	40 / 40	20 / 20	0,01
	40 / 40	20 / 20	1
	40 / 40	20 / 20	Käfigkontrolle
Gesamtzahl Jungtiere	480 / 480	480 / 480	
Gesamtzahl Muttertiere	120	120	

3.2 ZEITLICHE PLANUNG

Die Verpaarung der ersten Tiere ist für den 08.01.2019 vorgesehen, womit die erste Sektion zum Untersuchungszeitpunkt 7 Tage am 05.02.2019 realisiert werden soll. Wöchentlich werden 4 Würfe zu je 8 Tieren seziiert, so dass der tierexperimentelle Teil voraussichtlich mit der letzten Sektion am 03.09.2019 abgeschlossen werden kann.

3.3 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 mangel-

haft ausgebildeten Immunsystems gelegt. Es werden Untersuchungen zur Immunhistopathologie, Immunstatus und Immunphänotypisierung in immunologisch relevanten Organen wie Blut, Milz, Knochenmark und Thymus durchgeführt.

4. DURCHFÜHRUNG

4.1 ABSTIMMUNG DER (TIER-)EXPERIMENTELLEN UNTERSUCHUNGEN

Das finale Versuchsdesign wurde resultierend aus einem Projekttreffen am BfS festgelegt (siehe Tab. Punkt 3.1).

4.2 WIEDERAUFBAU DER EXPOSITIONSANLAGE

Notwendige Soft- und Hardwareaktualisierungen der Befeldungstechnik wurden durch Mitarbeiter der Firma IMST GmbH (Kamp-Lintfort) am Fraunhofer ITEM abgeschlossen.

4.3 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 und auf die benötigte Tierzahl expandiert.

4.4 Festlegung der immunologischen Untersuchungen an der Maus

Mit Heparinisierung und anschließendem Entbluten der Mäuse nach Dekapitation wurde die Blutentnahme auf das geringe terminale Blutvolumen der Jungtiere optimiert. Zur Immunphänotypisierung relevanter Organe wurden folgende Antikörperpanel etabliert:

- T-Lymphozyten-Entwicklung im Thymus: CD25, CD69, CD4, CD44, TCR β , CD45R/B220, Viabilitätsfarbstoff
- CD5, CD8, B-Lymphozyten-Entwicklung im Knochenmark: IgM, BP1, CD34, CD19, CD43, CD45R/B220, Viabilitätsfarbstoff, CD127
- Allgemeine Immunphänotypisierung im Blut: CD3, CD335, CD28, CD19, CD8, IgM, CD45R/B220, Viabilitätsfarbstoff, CD4, I-A/I-E; T-Lymphozyten Subsets in der Milz: IgM, CD69, CD4, CD19, CD8, CD44, CD45R/B220, CD62L, CD3.

5. ERGEBNISSE

Vorversuche zur Ermittlung der Zellzahlen relevanter Organe ergaben folgende durchschnittliche Messwerte (Tabelle 2):

Tabelle 2: Zellzahlen (in Millionen) je halbes Organ

	7 Tage	14 Tage	28 Tage
Blut	0,5	1	1,5
Milz	3	5	5
Thymus	25	23	20
Knochenmark	5	5	6

5.1 GEPLANTE WEITERARBEIT

Die vorgesehenen Assays werden etabliert und anschließend der Hauptversuch durchgeführt.

Thema Erfassung der Magnetfeldexposition der allgemeinen Bevölkerung			
Subject <i>Evaluation of the magnetic field exposure of the general population</i>			
Kennzeichen 3616S82442	Beginn 01.03.2018	Ende 30.09.2020	Fördermittel EUR 867.290,-
Forschungs- / Auftragnehmer IMST GmbH, Kamp-Lintfort (Projektleitung); EM-Institut GmbH, Regensburg; Niedersächsischer Landesbetrieb für Wasserwirtschaft- Küsten- und Naturschutz, Hildesheim; LMU Institut für Statistik, München; USUMA GmbH Institut für Marktforschung und Sozialforschung, Berlin; Deutscher Verein der Blinden und Sehbehinderten in Studium und Beruf e.V. (DVBS), Marburg			
Projektleitung M. Ridder	Fachbetreuung BfS D. Geschwentner / WR 5	verantwortlich für den Text M. Ridder	

1. ZIELSETZUNG

Dieses Forschungsvorhaben will die Informationslage zur Exposition der Bevölkerung gegenüber technischen Magnetfeldern aktualisieren sowie einige neue Aspekte erstmals beleuchten, wie zum Beispiel die Exposition gegenüber magnetischen Gleichfeldern sowie gegenüber Magnetfeldern im Frequenzbereich bis 100 kHz. Die Feldermittlung soll hierbei durch Messungen erfolgen, wobei so weit wie möglich die individuelle Exposition über längere Zeiträume mittels Personendosimeter bestimmt werden soll.

2. EINZELZIELSETZUNG

2.1 AUFARBEITUNG DES RELEVANTEN STANDES VON WISSENSCHAFT UND TECHNIK

Im Rahmen der ersten Projektphase soll zunächst der aktuelle Stand von Wissenschaft und Technik auf dem Bereich der Langzeiterfassung statischer bzw. niederfrequenter Magnetfelder dokumentiert werden.

2.2 AUSWAHL UND ERPROBUNG EINES GEEIGNETEN MESSGERÄTES

Ein geeignetes Personendosimeter zur Erfassung statischer und niederfrequenter Magnetfelder soll identifiziert und eingehend erprobt werden. Nach erfolgreicher Erprobung des Dosimeters sollen insgesamt 20 Geräte beschafft werden.

2.3 BESTIMMUNG DER EXPOSITION IM HÄUSLICHEN BEREICH

Zur Exposition im häuslichen Bereich tragen sowohl die Elektrizitätsnutzung im eigenen Haushalt als auch Quellen bei, deren Magnetfelder von außen auf den häuslichen Bereich einwirken.

2.4 BESTIMMUNG DER HINTERGRUNDEXPOSITION IM HÄUSLICHEN BEREICH

Die Hintergrundexposition im häuslichen Bereich ist die bestehende Exposition im eigenen Haushalt, wenn keine Elektrizität genutzt wird. Diese Hintergrundexposition soll bei 100 zufällig aus der in 2.3 untersuchten Gruppe von Probanden extrahiert werden.

2.5 ALLTÄGLICHE EXPOSITION

Die alltägliche Exposition setzt sich zusammen aus der Exposition im häuslichen Bereich und der Exposition, die außerhalb des häuslichen Bereichs vorhanden ist.

2.6 EXPOSITIONSBEITRÄGE VON ANLAGEN DER ÖFFENTLICHEN ELEKTRIZITÄTSVERSORGUNG

Im Rahmen dieses Arbeitspakets soll mittels Messungen die Veränderung der Exposition auf Grund von Ausbauprojekten der Energieversorger näher untersucht werden.

2.7 EXPOSITIONSBEITRÄGE VON BAHNSTROMANLAGEN

In diesem Arbeitspaket sind die Expositionsbeiträge zu bestimmen, die durch Bahnstromanlagen verursacht werden. Dazu gehören elektrifizierte Bahnstrecken, dazugehörige Energieversorgungsleitungen und Nebenanlagen, die mit einer Frequenz von 16,7 Hz betrieben werden.

2.8 EXPOSITIONSBEITRÄGE VON ANLAGEN, DIE MAGNETISCHE GLEICHFELDER EMITTIEREN

In diesem Arbeitspaket werden die Expositionsbeiträge von Anlagen bestimmt, die magnetische Gleichfelder emittieren. Dazu gehören - neben HGÜ-Übertragungsleitungen - die mit Gleichstrom betriebenen Verkehrsmittel wie U-Bahn und Straßenbahnen sowie Elektrobusse und ihre Versorgungsanlagen. Zudem existieren häusliche Quellen von magnetischen Gleichfeldern.

3. METHODIK

3.1 AUFARBEITUNG DES RELEVANTEN STANDES VON WISSENSCHAFT UND TECHNIK

Der relevante Stand von Wissenschaft und Technik wird auf Grundlage einer Literaturrecherche bestimmt.

3.2 AUSWAHL UND ERPROBUNG EINES GEEIGNETEN MESSGERÄTES

Die Qualifizierung und Erprobung des ausgewählten Personendosimeters erfolgte unter Laborbedingungen sowie unter realitätsnahen Bedingungen mit ausgesuchten Probanden im Feld. Für die eigentliche Datenerhebung werden diese Dosimeter an die Probanden gegeben und die Ergebnisse statistisch ausgewertet.

3.3 BESTIMMUNG DER EXPOSITION IM HÄUSLICHEN BEREICH

Die typische Exposition im häuslichen Bereich soll mit einer Stichprobe von 24h-Messungen an 1 000 Probanden ermittelt werden. Die Probandenrekrutierung erfolgt über eine Telefonstichprobe. Die Rekrutierung von Teilnehmern wird in ausgewählten Bundesländern (Bayern, Berlin, Nordrhein-Westfalen und Thüringen) durchgeführt.

3.4 BESTIMMUNG DER HINTERGRUNDEXPOSITION IM HÄUSLICHEN BEREICH

Diese Hintergrundexposition soll bei 100 zufällig aus der in 3.3 untersuchten Gruppe von Probanden extrahiert werden.

3.5 ALLTÄGLICHE EXPOSITION

Da bei den 24h-Messungen in 3.3 erwartet werden kann, dass sich die überwiegende Mehrzahl der Probanden nicht über den gesamten Erfassungszeitraum im häuslichen Bereich aufhalten wird, kann ein Großteil der 24h-Messergebnisse aus 3.3 ebenso für die Auswertung von 3.5 verwendet werden.

3.6 EXPOSITIONSBEITRÄGE VON ANLAGEN DER ÖFFENTLICHEN ELEKTRIZITÄTSVERSORGUNG VON BAHNSTROMANLAGEN UND VON ANLAGEN, DIE MAGNETISCHE GLEICHFELDER EMITTIEREN

Hier sind Messungen mit je 100 Probanden vorgesehen, die im Einflussbereich der öffentlichen Elektrizitätsversorgung, im Einflussbereich von Bahnstromanlagen oder im Einflussbereich von Anlagen, welche mit magnetischen Gleichfeldern arbeiten, wohnen.

4. DURCHFÜHRUNG

4.1 AUFARBEITUNG DES RELEVANTEN STANDES VON WISSENSCHAFT UND TECHNIK

Für die Aufarbeitung des relevanten Standes von Wissenschaft und Technik wurde in verschiedenen Datenbanken (z. B. EMF-Portal der RWTH Aachen, US National Library Of Medicine, Radiation Protection Dosimetry der Oxford Academy, International Journal Of Environmental Research And Public Health) recherchiert. Dabei wurden wichtige frühere nationale und internationale Projekte der letzten 20 Jahre identifiziert und ver-

gleichend gegenübergestellt, bei denen ebenfalls die individuelle Feldexposition mittels Langzeitmessungen bestimmt wurde. Die dort jeweils gegebenen Informationen zu den eingesetzten Messgeräten, dem erfassten Frequenzbereich, der Gerätetaktung sowie der Zahl der im Projekt vorgenommenen Messungen wurden zusammengestellt und untereinander verglichen.

4.2 AUSWAHL UND ERPROBUNG EINES GEEIGNETEN MESSGERÄTES

Die für die aktuelle Studie zu verwendenden Personendosimeter zur Erfassung niederfrequenter Magnetfelder sollten mindestens die Eigenschaften der Messgeräte besitzen, wie sie die im Rahmen der in den Jahren 1996 bis 1997 vom Bundesamt für Strahlenschutz (BfS) initiierten „Bayernstudie“ eingesetzten Geräte aufweisen, und zusätzlich sowohl die DC-Komponente des Magnetfeldes als auch einen bis 100 kHz erweiterten Frequenzbereich abdecken. Auf Grund dieser gesteigerten Anforderungen konnte das in der „Bayernstudie“ genutzte Gerät nicht erneut zur Anwendung kommen, da es nicht den Messbereich von 0 Hz bis 100 kHz, sondern nur die Einzelfrequenzen 16,7 und 50 Hz abdeckt.

5. ERGEBNISSE

Aus den Resultaten der früheren Untersuchungen wurde abgeleitet, mit welcher Größenordnung der magnetischen Flussdichte im aktuellen Projekt zu rechnen ist, damit dies bei der technischen Charakterisierung eines geeigneten Messgeräts berücksichtigt werden kann. Es wurden für die häusliche Exposition Werte im Bereich zwischen 0,039 und 0,15 μT (RMS¹⁾) und für die berufliche Exposition zwischen 0,04 und 15,3 μT (RMS) ermittelt. Allerdings ergab der durchgeführte Messgerätevergleich, dass derzeit nur ein Dosimeter auf dem Markt verfügbar ist, das die mit dieser Studie verbundenen Anforderungen weitestgehend erfüllt. Es handelt sich hierbei um das ExpoM-ELF der Firma Fields at Work, Zürich.

Bei diesem handelt es sich um einen Datenlogger, welcher in regelmäßigen Abständen einen Zeitbereichsausschnitt der von den 3-Achsen-Sensoren erfassten Messsignale aufzeichnet. Die Analyse im Frequenzbereich erfolgt nach der Messung mit der herstellereigenen PC-Software mittels Fast-Fourier-Transformation (FFT). Diese so generierten Messdaten stehen anschließend in getrennt gespeicherten Rohformat-Datensätzen für mögliche weitere Auswertungen zur Verfügung.

Nach umfangreichen technischen und statistischen Evaluierungen wurde für das Projekt ein Messintervall von 5 Sekunden festgelegt, was gleichzeitig die nach Herstellerangaben kürzest mögliche Taktperiode des Gerätes darstellt.

Die Auswertesoftware der Firma Fields at Work bietet keine eigene Grenzwertbewertung. Es werden dort lediglich frequenzabhängige Flussdichten angezeigt. Gemäß der EU-Ratsempfehlung 1999/519/EG muss bei gleichzeitiger Exposition gegenüber Wechselfeldern mit unterschiedlichen Frequenzen die Tatsache berücksichtigt werden, dass sich Einzelfelder in ihren Wirkungen linear summieren. Diese Bewertung kann daher nur nach einem erfolgten Export der Messdaten z. B. auf Basis einer zusätzlichen Auswertetabelle erfolgen.

5.1 QUALIFIZIERUNG DES EXPOM-ELF IM REFERENZFELD

Da es sich bei dem ExpoM-ELF um ein neues Produkt auf dem Markt handelt und noch keine Erfahrungen aus anderen Expositionserfassungsprojekten vorliegen, wurde das Gerät ausführlich auf dessen Eignung im realen Einsatz untersucht. Neben Störfestigkeits- und weiteren Qualitätsanalysen fand eine Erprobung im Präzisions-Breitband-Magnetfeldgenerator statt. Es wurden hierbei magnetische Felder mit einer bekannten Flussdichte und einer festen Frequenz erzeugt, während das Messgerät im homogenen Feldbereich der Spule positioniert wurde. Dabei wurden die möglichen Abweichungen des Messergebnisses von den Referenzwerten bestimmt. Die hier ermittelten Abweichungen liegen im Bereich von maximal ± 10 Prozent.

Die detaillierten Untersuchungen zeigen, dass das ExpoM-ELF für die im Rahmen des BfS-Forschungsvorhabens „Erfassung der Magnetfeldexposition der allgemeinen Bevölkerung“ geplanten Messungen grundsätzlich geeignet ist.

¹⁾ root mean square

5.2 ERARBEITUNG UND FACHLICHE BEGRÜNDUNG VON GEEIGNETEN METHODEN ZUR STICHPROBENGEWINNUNG

Es wurden exemplarisch Auswertungen der Messdaten von fünf durchgeführten 24h-Probandenmessungen durchgeführt. Zentrale Größen der Auswertung sind der Mittelwert der Exposition sowie die Dauer von Überschreitungen bestimmter Schwellwerte.

Für die große Datenerhebung im Rahmen dieser Studie wurde das Stichprobendesign eingehend betrachtet, wissenschaftlich begründet und optimiert, um ein möglichst ausgewogenes Verhältnis zwischen Umfragefehler und Kosten zu erreichen. Die Untersuchungsgesamtheit bilden Personen ab 18 Jahren sowie die im Haushalt lebenden Kinder ab 14 Jahren. Maximal werden bis zu drei Personen pro Haushalt zugelassen.

Für ein möglichst repräsentatives Abbild der Wohnbevölkerung wurden vier Bundesländer als Referenz-Befragungsgebiete definiert, deren Ergebnisse sowie deren Genauigkeitsabschätzungen auf ähnliche Bundesländer in West- bzw. Ostdeutschland außerhalb des Befragungsgebiets übertragen werden. Die Probandenauswahl in den typischen Bundesländern findet in einem gestaffelten Verfahren statt. Zunächst erfolgt die Auswahl von Gemeinden/Vorwahlgebieten, anschließend die Auswahl von Haushalten und Personen. Zusätzlich sind 300 Probanden für 3.6 zu gewinnen.

Es wird davon ausgegangen, dass etwas mehr als 40 Prozent der ausgewählten Personen nicht teilnehmen. Die sich eventuell daraus ergebenden Verzerrungen werden durch Gewichtungen kompensiert. Von den Nicht-Teilnehmern werden daher ebenso die soziodemografischen Daten gespeichert und ausgewertet.

5.3 DATENERHEBUNGEN NEBEN DEN MESSUNGEN

Um neben den gemessenen Expositionswerten eine möglichst umfassende Datenbasis zu erhalten, müssen anonymisierte Daten zu den teilnehmenden Personen selbst sowie deren Wohnumfeld erhoben werden. Dazu wurde ein Probanden-Fragebogen entwickelt und praktisch erprobt. Bei der Übergabe des Gerätes erhalten die teilnehmenden Probanden jeweils diesen Fragebogen, um nachträglich durch dessen Auswertung z. B. Erkenntnisse zum Tagesablauf und dem damit verbundenen Einfluss der erfassten Magnetfelder gewinnen zu können. Der zum Einsatz kommende Fragebogen besteht aus drei Teilen, die Personeninformationen, Informationen zum Messzeitraum (Messstagebuch) sowie Information zum Wohnumfeld enthalten. Alle Informationen können ausgewertet werden.

6. GEPLANTE WEITERARBEIT

Die für das Projekt benötigten „Interviewer“ werden gewonnen und geschult. Die telefonische Probandengewinnung soll ab Anfang April 2019 erfolgen, so dass ab etwa Ende April 2019 mit den Probandenmessungen begonnen werden kann. Auf Grund von Erfahrungen aus anderen Probandenstudien dürfen zwischen dem telefonischen Kontakt und der Durchführung der Messung vor Ort nicht mehr als zwei bis drei Wochen liegen, da ansonsten mit einer reduzierten Akzeptanz bei den Probanden zu rechnen ist.

Thema

Untersuchung der Machbarkeit und Vorbereitung einer gepoolten Analyse zum Zusammenhang von Amyotropher Lateralsklerose (ALS) und Magnetfeldexposition

Subject

Assessment of feasibility and preparation of a pooling study on the relationship between amyotrophic lateral sclerosis (ALS) and exposure to magnetic fields

Kennzeichen
3618S82451

Beginn
01.09.2018

Ende
31.08.2019

Fördermittel
EUR 107.283,-

Forschungs- / Auftragnehmer

Universitätsmedizin der Johannes Gutenberg-Universität Mainz, Institut für Medizinische Biometrie, Epidemiologie und Informatik (IMBEI)

Unterauftragnehmer: Universitätsklinikum Aachen, Forschungszentrum für Elektro-Magnetische Umweltverträglichkeit (femu)

Projektleitung
Dr. H. Merzenich

Fachbetreuung BfS
Dr. F. Heinzl / WR 3

verantwortlich für den Text
Dr. H. Merzenich

1. ZIELSETZUNG

Studien zur Exposition gegenüber häuslichen niederfrequenten Magnetfeldern (NF-MF), z.B. bedingt durch die Nähe des Wohnortes zu Hochspannungsleitungen, zeigen überwiegend keine Hinweise auf ein erhöhtes Erkrankungs- oder Mortalitätsrisiko für Amyotrophe Lateralsklerose (ALS)¹⁾. Hingegen sind die Ergebnisse epidemiologischer Beobachtungsstudien zum Zusammenhang zwischen beruflicher Exposition gegenüber NF-MF und ALS inkonsistent. Ursache hierfür könnte die methodische Heterogenität der Studien sein^{2) 3)}. Unklar ist zudem die zusätzliche Bedeutung von Stromschlägen in Elektroberufen. Stromschläge könnten zum progressiven Verlust von Motoneuronen führen und wären somit ein Risikofaktor für ALS in Elektroberufen. Gleichzeitig sind sog. Elektroberufe (z.B. Elektriker, Telekommunikationstechniker, Lokomotivführer, Schweißer) auch durch hohe MF-Expositionen charakterisiert. Ziel des Projektes ist daher die Untersuchung der Machbarkeit und die Vorbereitung einer gepoolten Analyse zum Zusammenhang von ALS und der Exposition gegenüber NF-MF. Eine gemeinsame Auswertung qualitativ hochwertiger Studien könnte zur Klärung bislang offener Forschungsfragen einen wichtigen Beitrag leisten.

2. EINZELZIELSETZUNG

2.1 LITERATURRECHERCHE UND AUFARBEITUNG DES RELEVANTEN STANDES VON WISSENSCHAFT UND TECHNIK (AP 1)

Relevante epidemiologische Publikationen zum Thema „NF-MF und ALS-Risiko“ sind zu identifizieren. Der aktuelle Stand der Wissenschaft ist in deskriptiver Form aufzubereiten.

2.2 KONKRETISIERUNG DER FRAGESTELLUNG, AUSWAHL DER STUDIEN UND KONTAKT-AUFNAHME (AP 2)

Ziel von AP 2 ist eine vertiefende Prüfung und finale Selektion qualitativ hochwertiger Studien. Es ist zu klären, ob im Hinblick auf eine gepoolte Analyse eine einheitliche Expositions kategorisierung möglich ist und ob durch eine gemeinsame Auswertung die Effekte von Stromschlägen und Magnetfeldern getrennt werden können. Bei den Studienleitern der ausgewählten Studien ist die Zustimmung für ein Pooling einzuholen. Eine Empfehlung zur statistischen Aussagekraft und Machbarkeit für eine gepoolte Studie ist zu erarbeiten.

¹⁾ (Röösli et al., Rev Environ Health 2018)

²⁾ Huss et al., Bioelectromagnetics 2018

³⁾ Vergara et al., Occup Environ Med 2013

3. METHODIK

Für AP 1 wurde eine systematische Literaturrecherche nach Maßgabe der PRISMA-Richtlinien¹⁾ durchgeführt. AP 2 beinhaltet eine Bewertung der in den Einzelstudien verwendeten Expositionsmetrik, der Art der Expositionsschätzung, der berücksichtigten Confounder und der allgemeinen Studienqualität. Nach finaler Auswahl in Frage kommender Studien wird eine statistische Powerkalkulation durchgeführt, die unterschiedliche Fallzahlen berücksichtigt, unter der Annahme, dass nicht alle Studienzentren die Originaldaten zur Verfügung stellen werden.

4. DURCHFÜHRUNG

4.1 LITERATURRECHERCHE UND AUFARBEITUNG DES RELEVANTEN STANDES VON WISSENSCHAFT UND TECHNIK (AP 1)

4.1.1 Definition der Fragestellung

Die zugrunde liegende Fragestellung lautete, ob Expositionen gegenüber NF-MF ein Risikofaktor für die Entwicklung einer ALS sind. Berücksichtigt wurden dabei sowohl berufliche als auch häusliche Expositionen. Die Bedeutung von Stromschlägen in Elektroberufen wurde als Nebenfragestellung definiert.

4.1.2 Definition der Ein- und Ausschlusskriterien

Im Hinblick auf die Zielsetzungen des Forschungsvorhabens waren epidemiologische Studien (Fall-Kontroll-Studien, Kohortenstudien, Querschnittsstudien) mit einer quantifizierbaren Expositionsmetrik einzuschließen (Messungen, Kategorisierung der Exposition mittels Job-Expositions-Matrix (JEM), Wohnortabstand zu Stromleitungen). In Frage kamen Studien, die das Erkrankungs- oder Sterberisiko für ALS oder Motoneuron-Erkrankung untersuchten. Nicht in die engere Auswahl wurden solche Studien gezogen, die einen Risikoschätzer auf Basis von Berufsangaben berechnet haben, beispielsweise ein Odds Ratio für „Tätigkeit in der Elektroindustrie“. Solche Studien erlauben keine Quantifizierung und Kategorisierung der Exposition, was jedoch Ziel einer Pooling-Studie sein sollte. Davon abweichend wurden Studien zu Elektroberufen auch dann eingeschlossen, wenn die Risikobewertung alleine auf Berufsangaben beruhte, um diese Studien zumindest deskriptiv darzustellen.

4.1.3 Literatursuche in bibliographischen Datenbanken

Die Primärsuche nach relevanten Studien wurde im EMF-Portal (<https://www.emf-portal.org/de>) durchgeführt. Eine komplementäre Suche erfolgte über Medline-Datenbanken (<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed>). Die letzte Abfrage erfolgte am 30.09.2018. Es wurde ein Abgleich zur Identifikation von Duplikaten durchgeführt.

4.1.4 Prüfung von Titel und Abstract, Volltext-Screening, Auswahl und Bewertung

Zwei Reviewer führten unabhängig voneinander eine Prüfung „Title-Abstract-Screening“ durch (Befasst sich die Publikation mit der Fragestellung? Handelt es sich um eine Beobachtungsstudie?). Im Volltext-Screening erfolgte eine detaillierte Prüfung der Einschlusskriterien. Für die ausgewählten Studien wurden die relevanten Basisinformationen extrahiert. Zur allgemeinen Bewertung der ausgewählten Studien wurde die Newcastle-Ottawa-Skala angewendet, die für die speziellen Fragestellungen dieses Reviews inhaltlich angepasst wurde.

4.2 KONKRETISIERUNG DER FRAGESTELLUNG, AUSWAHL DER STUDIEN UND KONTAKT-AUFNAHME (AP 2)

Die Durchführung von AP 2 verzögerte sich und ist nicht Gegenstand dieses Berichtes.

¹⁾ Moher et al., Scand J Work Environ Health 2009

5. ERGEBNISSE

5.1 LITERATURRECHERCHE UND AUFARBEITUNG DES RELEVANTEN STANDES VON WISSENSCHAFT UND TECHNIK (AP 1)

5.1.1 Studienauswahl

Die Suche in beiden Datenbanken ergab insgesamt 396 Studien. Nach Durchsicht von Titel und Abstract wurden 317 Artikel ausgeschlossen, da es sich nicht um Beobachtungsstudien handelte oder aber keine MF-Exposition untersucht wurde. Die Volltext-Analyse der verbliebenen 79 Studien führte nach Maßgabe der Einschlusskriterien zum Ausschluss weiterer 52 Artikel, in denen die Risikoschätzung auf Berufsangaben beruhte (Berufstitel als alleinige Expositionsmetrik). In einer Publikation wurde ein nicht relevanter medizinischer Endpunkt untersucht. Somit wurden insgesamt 26 Publikationen in das weitere Review-Verfahren eingeschlossen. Von diesen thematisierten 21 Artikel berufliche MF-Expositionen und 5 Studien häusliche MF-Belastungen als Risikofaktor für die ALS-Erkrankung bzw. -Mortalität.

5.1.2 Studienergebnisse

Die 21 Studien zu beruflichen Expositionen wurden zwischen 1986 und 2017 publiziert, sie bilden Expositionszeiträume zwischen 1950 bis 2010 ab und wurden in 6 Ländern durchgeführt. Insgesamt 8 retrospektive Kohortenstudien untersuchten das ALS-Risiko in Berufsgruppen mit höherer MF-Exposition (utility workers, railway employees, electricity supply workers). Betrachtet man die ermittelten Schätzer für hohe versus (vs.) niedrigere MF-Exposition, so finden sich in 6 (von 8) Publikationen statistisch signifikante Risikoerhöhungen für ALS. Ein signifikanter Zusammenhang zwischen höherer beruflicher Exposition (vs. niedriger) und ALS wurde auch in 2 bevölkerungsbasierten Kohortenstudien gefunden. Drei weitere Publikationen zu (bevölkerungsbasierten) Kohortenstudien (darunter eine eingebettete Fall-Kontroll-Analyse) zeigten keine statistisch signifikanten Risikoerhöhungen für neurodegenerative Endpunkte im Zusammenhang mit höherer beruflicher MF-Belastung. Jedoch konnten für spezielle Berufe (z.B. Schweißer) Risikoerhöhungen für ALS gezeigt werden, wobei diese Analysen auf dem Berufs-/Tätigkeitstitel als alleinige Expositionsmetrik basierten. Von 8 Fall-Kontroll-Studien zeigten 3 ein statistisch signifikant erhöhtes ALS-Erkrankungs- bzw. Mortalitätsrisiko unter Zugrundelegung quantifizierter Expositions-kategorien (hoch vs. niedrig). Die Bedeutung von Stromschlägen wurde in acht Studien (von 21) berücksichtigt. Zwei Studien untersuchten diesen Faktor dabei als kategoriale Expositionsvariable. Insgesamt verweisen die Ergebnisse überwiegend auf einen möglichen Zusammenhang zwischen (höherer) beruflicher Exposition gegenüber MF und ALS. Faktoren wie die Studiengröße, Beobachtungsdauer und die Qualität der Expositionserhebung könnten Ursache der beobachteten Heterogenität sein.

In den 5 ausgewählten Studien zum Zusammenhang zwischen häuslicher MF-Exposition und ALS konnten übereinstimmend keine statistisch signifikanten Risikoschätzer identifiziert werden.

6. GEPLANTE WEITERARBEIT

Nach Abschluss der Literaturrecherche und vorläufigen Studienauswahl (AP 1) erfolgt die Weiterarbeit im Rahmen der für AP 2 formulierten Arbeitsschritte (vgl. Pkt. 3).

Thema			
Evaluierung der Botschaften und Texte des BfS aus dem Bereich des Stromnetzausbaus			
Subject			
<i>Evaluation of messages and texts published by the BfS with regards to energy grid expansion</i>			
Kennzeichen 3618S82454	Beginn 01.08.2018	Ende 31.05.2019	Fördermittel EUR 79.020,-
Forschungs- / Auftragnehmer			
Institut für Zukunftsstudien und Technologiebewertung, Berlin			
Projektleitung B. Oertel	Fachbetreuung BfS C. Egblomassé-Roidl / WR 5	verantwortlich für den Text A. Wilhelm-Rechmann	

1. ZIELSETZUNG

Ziel der Evaluierung ist es festzustellen, ob die Risikokommunikation des BfS im Bereich Stromnetzausbau die Anforderungen an eine gelingende Kommunikation erfüllt, sowohl den Inhalt als auch die Form betreffend, sowie Vorschläge zu unterbreiten um die Qualität zu steigern. Es gilt, die Wirkungen der Informationsangebote bei den Zielgruppen des BfS – insbesondere bei Bürgerinnen und Bürgern – zu erfassen und die Materialien anhand von Qualitätsmerkmalen zu evaluieren. Die Untersuchung ist begrenzt auf die Veröffentlichungen zum Thema Stromnetzaus- und -umbau. Als Ergebnis sollen wissenschaftlich fundierte und praxisnahe Handlungsempfehlungen für die zielgruppenspezifische Risikokommunikation des BfS erarbeitet werden.

2. EINZELZIELSETZUNG

Die Evaluierung wird in drei Schritten vorgenommen: Zunächst wird der relevante Stand von Wissenschaft und Technik im Bereich Risikokommunikation und Stromnetzausbau aufgearbeitet. Darauf basierend werden die Texte und Botschaften des BfS in einem mehrstufigen Verfahren evaluiert und darauf basierend Empfehlungen erarbeitet.

2.1 AUFARBEITUNG DES RELEVANTEN STANDES VON WISSENSCHAFT UND TECHNIK

Um die aktuelle wissenschaftliche Situation des Forschungsgegenstandes abzubilden werden die eigenen Vorarbeiten des IZT ausgewertet und Recherchen zum Thema behördliche Risikokommunikation durchgeführt. Zudem wird der Umsetzungsstand des Stromnetzausbaus untersucht, eine Medienanalyse durchgeführt und das Webseiten-Monitoring des BfS analysiert. Auch die Vorarbeiten des BfS zum Thema elektromagnetische Felder und/oder Risikokommunikation werden analysiert. In Fachgesprächen mit Mitarbeitern wird erhoben, wie die im BfS mit der (fachlichen) Kommunikation beauftragten Personen ihre Rolle sehen.

2.2 ANALYSE DES INFORMATIONSANGEBOTES DES BfS ZUM STROMNETZAUSBAU

Um das Informationsangebot des BfS zu evaluieren werden die Materialien mittels verschiedener wissenschaftlicher Untersuchungsmethoden untersucht:

2.2.1 Analyse der Materialien, die vom BfS angeboten werden

Nach Sichtung und Zusammenschau werden die Medien des BfS textanalytisch u. a. auf Verständlichkeit, Transparenz, Klarheit, Unabhängigkeit und Sachlichkeit untersucht.

2.2.2 Teilnehmende Beobachtung bei Bürgerinnen und Bürgern sowie Fachleuten

Nach der textanalytischen Untersuchung werden zunächst die direkten Reaktionen nicht oder kaum betroffener Bürgerinnen- und Bürger auf die Webseite und ihre Inhalte untersucht. Durchgeführt werden 20 einstündige Beobachtungen von Personen, die das Angebot des BfS noch nicht kennen. Auf der Basis der Auswertungen werden dann Textbausteine für die folgende repräsentative Online-Befragung identifiziert.

2.2.3 Repräsentative Befragung von Bürgerinnen und Bürger

Die Auswahl an Textbausteinen des Internet-Auftrittes, das dort angebotene Video zu elektromagnetischen Feldern sowie Exzerpte aus veröffentlichten Broschüren werden im Rahmen einer repräsentativen Online-Befragung (mind. 1 000 Personen) evaluiert.

2.2.4 Leitfadengestützte Interviews mit professionellen Nutzern

Die Interviews dienen vor allem dazu zu beurteilen, ob und wie die Webseite des BfS von professionellen Nutzern genutzt wird und wie diese die Nutzbarkeit der Seite einschätzen.

2.2.5 Analyse der öffentlichen Auftritte von Mitarbeitern des BfS

Mittels teilnehmender Beobachtung wurden drei öffentliche Auftritte von Mitarbeitern des BfS begleitet, dokumentiert, analysiert und ausgewertet.

2.3 HANDLUNGSOPTIONEN FÜR DIE RISIKOKOMMUNIKATION DES BFS

Auf der Grundlage der in 2.1 und 2.2 dargestellten Arbeitsschritte werden deren Resultate zusammengeführt und analysiert, um daraus Verbesserungs- und Handlungsoptionen abzuleiten.

3. METHODIK

Die Methodik ist den jeweiligen Zielsetzungen der Arbeitsschritte angepasst und setzt Auswertungsmethoden ein, die dem Stand der Wissenschaft entsprechen.

3.1 AUFARBEITUNG DES RELEVANTEN STANDES VON WISSENSCHAFT UND TECHNIK

Die wissenschaftliche Recherche erfolgt über die Recherche-Plattformen der Berliner Universitäten, die Medienanalyse mittels Konsultation und Auswertung der aktuellen Artikel in den Pressedatenbanken Nexis und Genios. Die Auswertung der vom BfS übermittelten Daten zur Nutzung der Webseite erfolgt mit Bezug auf die zeitliche Nutzungsentwicklung und die Performance der Webseite in der Suchmaschine Google.

3.2 ANALYSE DES INFORMATIONSANGEBOTES DES BFS ZUM STROMNETZAUSBAU

Die Analyse des Informationsangebotes des BfS beim Stromnetzausbau erfolgt unter Einbeziehung von verschiedenen Methoden, wie unter 2.2 ausgeführt:

- Die Bewertung der Verständlichkeit der Texte erfolgt anhand von Evaluierung durch die Mitarbeiter des IZT (Einsatz und Erklärung von Fachwörtern) und durch textanalytische Auswertung mittels frequentieller Lesbarkeitsanalyse (Lesbarkeitsindizes nach LIX, Flesch und Wiener Sachtextformel).
- Die Auswertung der teilnehmenden Beobachtungen der Bürgerinnen und Bürger zur Webseitennutzung erfolgt nach Klickverhalten und inhaltlicher Analyse zu Textverständlichkeit, emotionalem Zugang und Wahrnehmung der Institution BfS.
- Die Auswertung der repräsentativen Umfrage wird im Rahmen einer doppelten Rotation mittels IBM SPSS erfolgen und sich auf die Textbausteine und das Video beziehen.
- Die Auswertung der öffentlichen Auftritte von BfS-Mitarbeitern erfolgt insbesondere im Vergleich mit weiteren Sprechern sowie mit Bezug auf Merkmale der Vorträge selbst.

3.3 HANDLUNGSOPTIONEN FÜR DIE RISIKOKOMMUNIKATION DES BFS

Die Handlungsoptionen werden kontinuierlich entwickelt.

4. DURCHFÜHRUNG

Die Durchführung des Projektes schreitet entsprechend dem Zeitplan fort.

5. ERGEBNISSE

5.1 AUFARBEITUNG DES RELEVANTEN STANDES VON WISSENSCHAFT UND TECHNIK

Der erste Zwischenbericht liegt dem BfS vor.

5.2 ANALYSE DES INFORMATIONSANGEBOTES DES BFS ZUM STROMNETZAUSBAU

5.2.1 Analyse der Materialien, die vom BfS angeboten werden

Die Beurteilung durch Mitarbeiter des IZT ergab, dass die Informationen des BfS auf einem hohen wissenschaftlichen Niveau angeboten werden. Fremdworte werden nicht immer und mitunter schwer verständlich erklärt, die Strukturierung der Webseite ist nicht immer nachvollziehbar. Die Lesbarkeitsindizes bestätigten dies weitgehend einheitlich.

5.2.2 Teilnehmende Beobachtung bei Bürgerinnen und Bürgern sowie Fachleuten

Die Interviews sind abgeschlossen. Es wurden die gleiche Anzahl Frauen und Männer in vier Altersgruppen gewonnen. Alle Interviews wurden verschriftet und werden derzeit inhaltsanalytisch ausgewertet. Erste Zwischenergebnisse weisen darauf hin, dass die Beurteilung der Verständlichkeit durch die Bürgerinnen und Bürger positiver ausfällt als aus dem vorigen Arbeitsschritt absehbar gewesen wäre.

5.2.3 Repräsentative Befragung von Bürgerinnen und Bürgern

In der Repräsentativbefragung werden mindestens drei unterschiedliche Inhalte des BfS-Angebots berücksichtigt. Zudem erfolgt ein Vergleich von ausgewählten Texten der Webseite und der Broschüre. Das Konzept des Online-Fragebogens wurde erstellt und ein Pretest durchgeführt. Das Ergebnis wird dem Auftraggeber zeitnah zur Freigabe vorgelegt.

5.2.4 Leitfadengestützte Interviews mit professionellen Nutzern zur Bewertung der Nutzbarkeit des BfS-Angebotes im Bereich Netzaus- und -umbau

Die Interviews wurden noch nicht durchgeführt.

5.2.5 Analyse der öffentlichen Auftritte von Mitarbeitern des BfS

Die teilnehmenden Beobachtungen der Auftritte von BfS-Mitarbeitern zeigten, dass die Vorträge auf einem hohen fachlichen Niveau gehalten werden, wobei die Vortragenden mittels Beispielen auf Verständlichkeit hinwirken. Im Vergleich mit Vortragenden anderer Institutionen (z.B. Amprion, Bundesnetzagentur) wird das BfS vom Publikum positiver wahrgenommen und dem BfS ein größeres Ausmaß an Vertrauen entgegengebracht.

5.3 HANDLUNGSOPTIONEN FÜR DIE RISIKOKOMMUNIKATION DES BFS

Die Handlungsoptionen werden kontinuierlich entwickelt.

6. GEPLANTE WEITERARBEIT

Die ausstehenden Arbeitsschritte werden entsprechend dem oben vorgestellten Programm weiter ausgeführt.

Thema

Umfragen zur Ermittlung der Besorgnis in der Bevölkerung 1. Welchen Stellenwert haben Magnetfelder in der öffentlichen Wahrnehmung des Stromnetzausbaus? Eine deutschlandweite Befragung

Subject

Surveys of concerns in the public. What significance do magnetic fields have in the public perception of the extension of the high-voltage power grid?

Kennzeichen
3618S82460

Beginn
03.07.2018

Ende
31.07.2019

Fördermittel
EUR 106.362,-

Forschungs- / Auftragnehmer

aproxima Gesellschaft für Markt- und Sozialforschung Weimar GmbH, Weimar

Projektleitung
S. Götte

Fachbetreuung BfS
C. Eglomassé-Roidl / WR 5

verantwortlich für den Text
S. Götte

1. ZIELSETZUNG

In Deutschland ist der Aus- und Umbau der Stromnetze von großem öffentlichem Interesse, vor allem in den Regionen, die vom Stromnetzausbau direkt betroffen sind. Entlang geplanter Maßnahmen gibt es jedoch zahlreiche Bürgerinitiativen, die sich zum Teil massiv gegen den Leitungsausbau aussprechen. Die Bedenken gegenüber dem Leitungsbau sind in der Bevölkerung äußerst verschieden: Es geht u. a. um die Sinnhaftigkeit des Leitungsbaus, die Gesundheit, den Wertverlust, die Verschandelung der Landschaft u. v. m. Die zum Teil intensive Medienberichterstattung nimmt Einfluss auch auf Bevölkerungsgruppen, die nicht direkt vom Leitungsbau betroffen sind.

Bedenken hinsichtlich der potenziellen Risiken, die von den neuen und auch alten Leitungen ausgehen, erfordern eine geeignete Risikokommunikation vonseiten des BfS.

Ziel des Forschungsvorhabens ist deshalb eine Erhebung, die die Stimmungs- und Kenntnislage in der Bevölkerung zum Thema gesundheitliche Beeinträchtigungen durch Magnetfelder bei Hochspannungsleitungen erfasst.

2. EINZELZIELSETZUNG

Zur Erreichung der Zielsetzungen wurden die folgenden 11 Forschungsfragen formuliert:

- Welche Bedenken sind mit Hochspannungsleitungen verbunden? (z. B. ästhetische, monetäre, gesundheitliche Aspekte; Attraktivität der Wohngegend, Landschaft etc.)?
- Wie ist die Risikowahrnehmung im Bereich der niederfrequenten Felder – differenziert nach Installationen im Freien (z. B. Nieder- und Hochspannungsfreileitungen, Erdkabel, Trafostationen, Umspannwerke etc.) und innerhäuslichen Anwendungen (z. B. Haushaltsgeräte, Elektroinstallationen)?
- Welche konkreten Gesundheitsrisiken (Krebs, Schlafstörungen, etc.) werden befürchtet? Worauf begründen sich die Befürchtungen?
- Wie ist die Risikowahrnehmung im Verhältnis zu anderen Gesundheitsrisiken?
- Welche Rolle spielt die Medienberichterstattung für Wahrnehmungen / Einschätzungen?
- Welche Rolle spielt die Sichtbarkeit einer Stromleitung von zu Hause aus? Spielt der Abstand zur Hochspannungsleitung eine Rolle?
- Wie wird der Vorsorgegedanke des BfS verstanden?
- Wie sind das Informationsverhalten und der Kenntnisstand zu dem Thema? Welche Rolle spielt das persönliche Umfeld dabei?
- An welchen konkreten Informationen / Inhalten besteht Interesse? Welche Arten von Informationen werden als hilfreich beurteilt? Werden vor-Ort-Messungen als informativ angesehen?
- Welche innerhäuslichen Maßnahmen / Strategien werden im Umgang mit niederfrequenten Feldern ergriffen (z. B. nächtliche Freischaltung, Stand-by-Betrieb von Geräten versus Abschaltung, energiesparende Geräte)? Wovon hängt die Bereitschaft ab, Maßnahmen zu ergreifen oder Verhalten zu ändern?

- Hängt die Risikowahrnehmung mit Persönlichkeitseigenschaften oder Einstellungen zusammen?

3. METHODIK

3.1 AUFARBEITUNG DES AKTUELLEN STANDES VON WISSENSCHAFT UND TECHNIK

In einem Zwischenbericht wurde der aktuelle Stand der Forschung rekapituliert und auf den geplanten Forschungsgegenstand bezogen. Dies betraf:

- Studien zur Risikowahrnehmung von Hochspannungsleitungen / niederfrequenten Feldern (Schwerpunkt)
- Studien zur Risikowahrnehmung von hochfrequenten Feldern (zusätzlich)
- Studien zur Risikowahrnehmung in anderen Verbraucherbereichen (z. B. Atomkraft, Windkraft, Lebensmittelsicherheit etc.) (zusätzlich)
- theoretische und methodische Konzepte zur Risikowahrnehmung und -kommunikation (zusätzlich)
- die generelle Akzeptanz von Hochspannungsleitungen/Stromnetzausbau und ihre Faktoren

Gegenstand dieser Recherche waren ausschließlich veröffentlichte Quellen. In die Recherchen wurden neben deutschen auch internationale Studien integriert.

3.2 BEVÖLKERUNGSBEFRAGUNG

Die Bevölkerungsbefragung wurde als Telefonbefragung konzipiert. Der Stellenwert der Magnetfelder in der öffentlichen Wahrnehmung des Stromnetzausbaus wird dabei in einer repräsentativen Bevölkerungsstichprobe erhoben. Diese wird über eine nach Region und Urbanitätsgrad geschichtete systematische Zufallsauswahl aus der ADM¹⁾-Auswahlgrundlage („ADM-Stichprobe“) erstellt. Die „Dual Frame“-Methodik gewährleistet über eine Einbeziehung von Mobilfunknummern die breitestmögliche Ausschöpfung der Grundgesamtheit. Auf Basis der Haushalte erfolgt die Zufallsauswahl mittels der Last-Birthday-Methode. Der konzipierte Fragebogen hat eine Durchschnittslänge von ca. 30 Minuten. Es sollen insgesamt N = 2 500 vollständige Interviews erhoben werden.

3.3 VERTIEFUNGSBEFRAGUNG

Zusätzlich zur Bevölkerungsbefragung wird eine Vertiefungsbefragung in denjenigen Haushalten durchgeführt, die in der Nähe einer (geplanten) Hochspannungsleitung (HSL) liegen. Als Auswahlkriterium gilt die Selbstangabe in der Hauptbefragung, dass die (geplante) HSL im Umkreis von maximal 600 Metern liegt. In der Vertiefungsbefragung werden Fragen zur Wahrnehmung der konkreten (geplanten) HSL gestellt. Es sollen insgesamt N = 200 Interviews erhoben werden. Sollten diese nicht vollständig aus der Hauptstichprobe rekrutiert werden können, finden Nacherhebungen in Gebieten um (geplante) Hochspannungsleitungen statt.

4. DURCHFÜHRUNG

4.1 AUFARBEITUNG DES WISSENSCHAFTLICHEN KENNTNISSTANDS

Die Aufarbeitung des wissenschaftlichen Kenntnisstandes erfolgte in einem Zwischenbericht. Dazu wurden bisher existierende Studien zu den unter Punkt 3.1 genannten Themen recherchiert und für die Fragestellungen dieser Studie nutzbar gemacht. Daraus entstand eine Synthese von ersten Erkenntnissen zur Forschungsfrage.

4.2 ERSTELLUNG UND PRETEST DER FRAGEBÖGEN

Auf Basis des Zwischenberichts und eigener inhaltlicher Überlegungen wurden die beiden Fragebögen für die Befragungen erstellt. 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.

¹⁾ Arbeitsgemeinschaft deutscher Marktforschungsinstitute

4.3 DURCHFÜHRUNG DER INTERVIEWS

Ab Januar 2019 finden die telefonischen Interviews statt. Sie werden im Telefonstudio von aproxima unter professioneller methodischer Betreuung und Kontrolle durchgeführt.

5. ERGEBNISSE

Zum Ende des Jahres 2018 existieren noch keine eigenen Forschungsergebnisse. Die Auswertung beider Befragungen erfolgt von April bis Juli 2019.

6. GEPLANTE WEITERARBEIT

Die Bevölkerungs- und Vertiefungsbefragung werden beendet, ausgewertet und in einem Endbericht dargestellt.

Thema Nutzung von Mobiltelefonen und Verlauf der Gliom-Inzidenz seit 1979			
Subject The use of mobile phones and the development of Glioma incidence since 1979			
Kennzeichen FM 8867	Beginn 01.08.2018	Ende 31.12.2019	Fördermittel EUR 138.820,-
Forschungs- / Auftragnehmer International Agency for Research on Cancer (IARC), Lyon, Frankreich			
Projektleitung Dr. J. Schüz	Fachbetreuung BfS Dr. F. Heinzl / WR 3	verantwortlich für den Text Dr. M. Foerster, Dr. I. Deltour, Dr. J. Schüz	

1. ZIELSETZUNG

Hochfrequente elektromagnetische Felder (HF-EMF) wurden 2011 durch die Internationale Agentur für Krebsforschung (IARC) als „möglicherweise krebserregend für den Menschen“ eingestuft. Die Studienlage zu diesem Thema ist nach wie vor nicht eindeutig.

Die damalige Einschätzung beruhte insbesondere auf den Ergebnissen der Interphone Studie, einer 2010 publizierten internationalen Fallkontrollstudie zum Hirntumorrisiko in Bezug auf die Mobiltelefonnutzung¹⁾. Die Studie fand ein leicht erhöhtes Hirntumorrisiko in der höchsten Nutzungskategorie. Zudem war dieses Ergebnis deutlicher unter den so genannten „unilateralen“ Nutzern, denjenigen, welche beim Telefonieren das Mobiltelefon auf der gleichen Seite ihrer Tumorlokalisation hielten (INTERPHONE, 2010). Des Weiteren wurden in einer Reihe schwedischer Fallkontrollstudien bei ähnlicher Fragestellung stark erhöhte Risikoschätzer gefunden²⁾.

Seit der IARC-Einschätzung von 2011 wurde in der französischen CERENAT-Fallkontrollstudie ein erhöhtes Risiko für Meningiome in der höchsten Nutzungsgruppe festgestellt³⁾. Dieser Zusammenhang konnte wiederum in zwei weitaus größeren Kohortenstudien, der britischen „UK Million Women Study“ und einer dänischen Studie zu diesem Thema, nicht bestätigt werden⁴⁾. Alle gelisteten Studien weisen allerdings methodische Schwächen auf (z. B. retrospektive und subjektive Erfassung der eigenen Mobiltelefonnutzung).

Zuletzt fanden zwei jüngst veröffentlichte Langzeitexpositionsstudien an Ratten in der jeweils höchsten Nutzungskategorie vermehrt Herzschwannome sowie maligne Hirntumore bei Ratten⁵⁾. Die Ergebnisse der Studien waren jedoch inkonsistent über unterschiedliche Expositionsbedingungen hinweg und die Höhe der RF-EMF-Exposition unrealistisch für normale Nutzungsbedingungen.

Ein tatsächlicher schädigender Effekt von Mobiltelefonnutzung, der zu einem Anstieg des Hirntumorrisikos führen würde, sollte gleichermaßen auf Grund der häufigen Nutzung dieser Technologie in der Bevölkerung zu einem Anstieg der Inzidenzrate in der Bevölkerung führen. Dieser Hypothese folgend konnte in einer 2012 publizierten Analyse von Deltour et al. allerdings kein Zusammenhang zwischen Mobiltelefonnutzung und Inzidenzkurven von Hirntumoren für den Zeitraum von 1979 bis 2008 gefunden werden⁶⁾.

2. EINZELZIELSETZUNG

Die weiterhin uneindeutige Studienlage und hohe Public Health-Relevanz aufgrund der flächendeckenden Verbreitung von Mobiltelefonen macht eine Neuevaluation der Hirntumorinzidenzraten dringend erforderlich. Dem statistischen Ansatz von Deltour et al. folgend sollen nun die Inzidenzraten in den nordischen Ländern

¹⁾ Cardis et al. 2007

²⁾ Hardell et al. 2002; Hardell et al. 2006a, b

³⁾ Coureau et al. 2014

⁴⁾ Benson et al. 2013; Frei et al. 2011

⁵⁾ Falcioni et al. 2018; Wyde et al. 2016

⁶⁾ Deltour et al. 2012

Dänemark, Schweden, Norwegen und Finnland von 1979 bis zum heutigen Zeitpunkt neu evaluiert werden, insbesondere auch im Hinblick auf eventuelle Änderungspunkte.

2.1 SIMULATIONSSTUDIE

In einer Simulationsstudie werden verschiedene in Fallkontroll- und Kohortenstudien beobachtete Risikoschätzer auf ihre Plausibilität überprüft. Hierbei werden im Hinblick auf Krebserkrankungen mögliche und in früheren Analysen nicht berücksichtigte Szenarien simuliert, beispielsweise Latenzzeiten von über 15 Jahren und niedrigere Risikoschätzer als in der Literatur vorgefunden. Zudem werden unterschiedliche Gliomtypen lateralitätsspezifisch untersucht.

3. METHODIK

3.1 BESCHAFFUNG DER BENÖTIGTEN DATEN

Die Hirntumorinzidenzraten für unterschiedliche Typen von Tumoren und Tumorlokalationen für den Zeitraum von 1979 bis heute werden aus den Krebsregistern der Länder Dänemark, Finnland, Norwegen und Schweden extrahiert. Relevante demographische Daten (z. B. Geschlecht, Alter) werden von den nationalen Bevölkerungsregistern zur Verfügung gestellt.

Die Bevölkerungsexposition wird aus den objektiven Mobiltelefonnutzungsdaten der COSMOS¹⁾-Studie auf die Gesamtpopulation extrapoliert. COSMOS ist eine europaweite prospektive Kohorte (mit IARC-Beteiligung) zu diesem Thema, welche zur Expositionserfassung die offiziellen Nutzungsdaten der Netzbetreiber nutzt und damit ein objektives Maß der tatsächlichen Nutzung liefert.

Zur Berechnung der Exposition wird zunächst die durchschnittliche Exposition pro Nutzungskategorie (hoch, mittel, niedrig) aus den objektiven Daten berechnet und die Populationsgrößen der Nutzerkategorien (inklusive nicht-Nutzer) bestimmt. Zuletzt werden die objektiven Durchschnittswerte pro Nutzerkategorie auf die Populationsgrößen in der Gesamtbevölkerung umgerechnet.

3.2 STATISTISCHE AUSWERTUNG

Die statistische Auswertung erfolgt in drei Schritten:

- Schritt 1: Berechnung der altersstandardisierten Inzidenzraten für jedes Kalenderjahr inklusive der Analyse der zeitlichen Trends und Lokalisation möglicher Änderungspunkte (d. h. Zeitpunkte, an welchen sich der Trend in den Inzidenzraten im Bezug auf die vorherigen Jahre signifikant verändert).
- Schritt 2: Vorhersage der Anzahl der jährlich erwarteten Gliom-Fälle unter der Annahme unterschiedlicher Risikoszenarien in Simulationsstudien. Die Risikoszenarien beruhen auf der Annahme unterschiedlicher Risikoschätzer (prozentualer Anstieg der Inzidenz) für unterschiedliche Expositions-kategorien gemessen an der Anrufzeit. Die Risikoschätzer basieren in erster Linie auf in relevanten Studien (z. B. Interphone, CERENAT, Hardell-Studien) ermittelten Werten. Zusätzlich werden auch Szenarien mit konservativeren Risikoschätzern evaluiert. Die Expositionsverteilung (Verteilung der durchschnittlichen Anrufdauer in der Bevölkerung) wird hierbei anhand der objektiven Mobiltelefonnutzungsdaten der COSMOS-Studie auf die Gesamtbevölkerung extrapoliert.
- Schritt 3: Die so ermittelten Inzidenztrends der Simulationsstudie werden mit den wahren, in der nationalen Bevölkerung beobachteten Inzidenzraten verglichen um die Plausibilität der angewandten Risikoschätzer zu evaluieren.

4. DURCHFÜHRUNG

Die relevanten Genehmigungen für die Nutzung der Krebsregister- und Bevölkerungsregister aus Dänemark, Finnland, Norwegen und Schweden sowie die COSMOS-Daten aus Dänemark, Finnland und Schweden (Norwegen ist nicht Teil von COSMOS) werden von den lokalen Konsortiums-Mitgliedern eingeholt. Alle Daten werden an der IARC zu einem gemeinsamen Datenpool zusammengeführt.

Die Auswertung der Daten gemäß der oben beschriebenen Methoden werden an der IARC ausgeführt.

¹⁾ Cohort Study on Mobile Communications

5. ERGEBNISSE

In einem Konsortiumsmeeting im November 2018 wurden folgende relevante Teilziele erreicht:

- Die nationalen Genehmigungen für die Nutzung der Krebsregister, der Bevölkerungsregister und der COSMOS-Daten sind gewährleistet.
- Um die Extraktion der für die Analyse benötigten nationalen Daten zu standardisieren, wird allen lokalen Konsortiumspartnern ein zu diesem Zweck vorprogrammiertes Computerskript zur Verfügung gestellt. Dieses wird an der IARC vorbereitet.
- Um die Hirntumorinzidenzraten (z. B. Tumorspezifikation gemäß ICD-10, Tumorlokalität) genauer einschätzen zu können, können gegebenenfalls die nationalen Krebsregisterdaten mit den Patientenregistern kombiniert werden. Die entsprechenden Genehmigungen werden eingeholt.

6. GEPLANTE WEITERARBEIT

Bis Ende April 2019 werden alle in den Ländern Dänemark, Finnland, Norwegen und Schweden separat extrahierte Daten an der IARC zu einem gemeinsamen Datenpool zusammengeführt. Daraufhin wird die Bevölkerungsexposition aus den COSMOS-Daten übertragen und eine erste Simulationsstudie durchgeführt.

Diese Ergebnisse werden bei einem weiteren Konsortiumsmeeting diskutiert. Das Meeting dient zudem dazu, mögliche Fragen zum Analysedesign (z. B. Einschluss zusätzlicher Risikoschätzer) zu klären.

Die finale Analyse der Daten gemäß der oben erwähnten Methoden findet in den Folgemonaten statt, welche bis Beginn 2020 in einer wissenschaftlichen Publikation zusammengefasst werden.

2018 begonnene Forschungsvorhaben, zu denen noch keine Ergebnisse vorliegen

Research projects initiated in 2018 of which results are not available yet

THEMENBEREICH 01 / NATÜRLICHE STRAHLENEXPOSITION

Thema

Fünftes Mortalitäts-Follow-Up (Todesursachen-Recherche) der Kohorte von ca. 60 000 Wismutbeschäftigten zum Stichtag 31.12.2018

Subject

Fifth mortality follow-up of the cohort of approximately 60,000 former Wismut employees with cut-off date December 31st, 2018

Kennzeichen 3618S12222	Beginn 01.03.2019	Ende 31.05.2021	Fördermittel EUR 321.701,-
----------------------------------	-----------------------------	---------------------------	--------------------------------------

Forschungs- / Auftragnehmer

Kantar Health GmbH, München

Projektleitung Dr. C. Cholmakow-Bodechtel	Fachbetreuung BfS Dr. V. Deffner / WR 3
---	---

ZIELSETZUNG / KURZBESCHREIBUNG

Das Bundesamt für Strahlenschutz führt eine Kohortenstudie mit ca. 60 000 ehemaligen Beschäftigten der Firma Wismut durch. Ziel ist die Abschätzung des Gesundheitsrisikos durch Strahlung, Staub und andere Noxen.

Es wurden bereits vier Mortalitäts-Follow-Up zu den Stichtagen 31.12.1998 (StSch 4193), 31.12.2003 (StSch 4414), 31.12.2008 (3608S01005) und 31.12.2013 (3613S10022) durchgeführt. Zum Stichtag des letzten Follow-Up lebten noch 46 % der Kohortenmitglieder, 50 % waren verstorben und für 3 % konnte der Vitalstatus nicht ermittelt werden.

Nun soll in einem fünften Mortalitäts-Follow-Up zum Stichtag 31.12.2018 für die noch lebenden 27 272 Kohortenmitglieder über die Meldebehörden der Vitalstatus ermittelt werden und für die zwischenzeitlich verstorbenen Personen über die Gesundheitsämter die Todesursache. Nach grober Abschätzung werden ca. 4 500 neue Todesfälle im fünften Follow-Up erwartet.

Das fünfte Mortalitäts-Follow-Up verlängert den Beobachtungszeitraum der Kohortenstudie um weitere 5 Jahre. Damit erhöht sich die Aussagekraft der Risikoanalysen. Die Wismut-Studie ist die weltweit größte Uranbergarbeiter-Kohortenstudie und deckt im Vergleich zu allen anderen Bergarbeiter-Studien einen wesentlich längeren Follow-Up-Zeitraum ab. Demnach ermöglicht sie erstmals Aussagen zum Gesundheitsrisiko nach mehr als 40 Jahren nach Strahlenexposition. Zudem lassen die Analysen der Daten aus diesem Follow-Up interessante Ergebnisse im Niedrig-Dosis-Bereich erwarten, der für den Strahlenschutz von besonderer Bedeutung ist.

Thema Ermittlung der Unsicherheit in der Strahlenexpositionsabschätzung in der Wismut-Kohorte - Teil 2			
Subject <i>Determination of uncertainties of radiation exposure assessment in the Wismut cohort- part 2</i>			
Kennzeichen 3618S12223	Beginn 01.01.2019	Ende 30.04.2021	Fördermittel EUR 320 869,-
Forschungs- / Auftragnehmer SLudwig-Maximilians-Universität, Institut für Medizinische Informationsverarbeitung, Biometrie und Epidemiologie, München			
Projektleitung Dr. S. Hoffmann		Fachbetreuung BfS Dr. N. Fenske / WR 3	

ZIELSETZUNG / KURZBESCHREIBUNG

Im Rahmen der deutschen Uranbergarbeiter-Kohortenstudie „Wismut“ wurden bereits zahlreiche Fachartikel zu strahlenbedingten Gesundheitsrisiken veröffentlicht. Zur Abschätzung der Strahlenexposition wurde von der Bergbau-Berufsgenossenschaft (BBG) in Gera in Zusammenarbeit mit der Deutschen Gesetzlichen Unfallversicherung (DGUV) eine Job-Exposure-Matrix (JEM) erstellt. Die darin enthaltenen, geschätzten Expositionswerte sind mit Unsicherheiten behaftet. Diese Unsicherheiten wurden bisher nicht systematisch analysiert und konnten daher in bisherigen Risikoanalysen nicht berücksichtigt werden. Vorarbeiten zu diesem Forschungsvorhaben wurden im Forschungsvorhaben „Ermittlung der Unsicherheiten der Strahlenexpositionsabschätzung in der Wismut-Kohorte - Teil 1“ (3616S12223) geleistet. In diesem Vorhaben wurden potenzielle Quellen für Unsicherheiten in der Expositionsabschätzung für Radon und seine Folgeprodukte identifiziert und vorläufig qualitativ bewertet.

Ziel des vorliegenden Vorhabens ist es, Unsicherheiten in der Radonexposition in den Risikoschätzern für Lungenkrebs durch Radon in der Wismut-Kohorte zu berücksichtigen. Dabei sollen die im Forschungsvorhaben identifizierten Quellen von Unsicherheiten systematisch quantifiziert, bewertet und in statistischen Risikomodellen berücksichtigt werden.

Das Vorhaben gliedert sich grob in vier Arbeitspakete:

- Quantifizierung der Unsicherheiten (AP 1)
- Entwicklung einer statistischen Methode zur Berücksichtigung der relevanten Unsicherheiten in der Risikomodellierung (AP 2)
- Simulationsstudie zur systematischen Untersuchung der statistischen Methode (AP 3)
- Anwendung des entwickelten Verfahrens auf die Daten der Wismut-Kohorte, abschließende Bewertung der Ergebnisse (AP 4).

Thema Ermittlung der aktuellen Verteilung der Radonkonzentration in deutschen Wohnungen			
Subject <i>Determination of the distribution of indoor radon concentration in Germany</i>			
Kennzeichen 3618S12261	Beginn 15.11.2018	Ende 30.09.2021	Fördermittel EUR 670.327,-
Forschungs- / Auftragnehmer Sachverständigenbüro Dr. Kemski, Bonn			
Projektleitung Dr. J. Kemski	Fachbetreuung BfS Dr. B. Hoffmann / UR 2		

ZIELSETZUNG / KURZBESCHREIBUNG

Im Zuge der Umsetzung des neuen Strahlenschutzgesetzes sollen u. a. Regelungen zum Schutz der Bevölkerung vor Radon in Innenräumen getroffen werden. Hierbei ist zunächst eine Bewertung des Ist-Zustandes der Radonexposition der Bevölkerung notwendig. Ziel des Vorhabens ist die Durchführung einer bevölkerungsrepräsentativen Erhebungsmessung zur Radonkonzentration in Aufenthaltsräumen. Diese soll in 6 000 Wohnungen mit jeweils einer Radonmessung im Wohn- und Schlafzimmer stattfinden. Es sollen Jahresmessungen mit Langzeitexposimetern nach DIN ISO 11665-4 durchgeführt werden. Ergänzend sollen Daten zur Bauweise und Nutzung erhoben werden ebenso wie Informationen, mit deren Hilfe im Nachgang die Repräsentativität der Erhebung bewertet werden kann. Für alle Phasen der Projektabwicklung ist im Vorfeld ein Datenschutzkonzept zu entwickeln.

Die Organisation und Durchführung der Messungen sowie die Auswertung der Radonmessungen soll schrittweise erfolgen. Die Versendung und Einsammlung der Exposimeter geschieht auf dem Postweg. Die Teilnahme an der Messkampagne ist für die Haushalte kostenfrei. Nach Abschluss der Messungen werden den Haushalten die Messwerte der von ihnen bewohnten Gebäude mitgeteilt.

Zur Wahrung der Repräsentativität sollen Haushalte mittels eines Mailings über eine Zufallsauswahl der angesprochenen Haushalte akquiriert werden. Einschränkende Vorgaben hinsichtlich Region, Gebäude, Bauweise oder Nutzung werden ausdrücklich nicht gemacht. Als Grundlage für die Verteilung der 6 000 Haushalte wird die Verwaltungsstruktur der Kreise bzw. kreisfreien Städte in Deutschland gewählt (ca. 400 Stück). Ziel ist es, im gesamten Bundesgebiet, d. h. flächendeckend, Messungen durchzuführen. Die gewünschte Haushaltszahl pro Kreis variiert und wird im Wesentlichen auf Basis der Bevölkerungsdichte der Kreise ermittelt.

THEMENBEREICH 02 / STRAHLENSCHUTZTECHNIK

Thema

Studie über die Notwendigkeit, Möglichkeit und Machbarkeit der Ablösung von hochradioaktiven Strahlenquellen durch alternative Technologien in Deutschland

Subject

Study about the necessity, possibility and feasibility to supplant technologies using high-activity sealed sources with alternative technologies (not using ionising radiation)

Kennzeichen 3618S22363	Beginn 01.11.2018	Ende 30.06.2020	Fördermittel EUR 162.042,-
----------------------------------	-----------------------------	---------------------------	--------------------------------------

Forschungs- / Auftragnehmer

TÜV NORD EnSys GmbH & Co. KG, Hannover

Projektleitung O. Mende	Fachbetreuung BfS U. Häusler / MB 6
-----------------------------------	---

ZIELSETZUNG / KURZBESCHREIBUNG

Hochradioaktive Strahlenquellen (HRQ) werden in vielen Bereichen der Industrie, Medizin und Forschung eingesetzt und erbringen in ihren Anwendungen einen bedeutenden technischen bzw. wirtschaftlichen Nutzen. Gleichwohl geht von diesen HRQ - insbesondere wegen ihrer hohen Aktivität - auch eine ernstzunehmende radiologische Gefahr aus. Bei der Nutzung von HRQ sind deshalb umfangreiche Maßnahmen zum Schutz des Personals sowie zur Sicherung der HRQ zur Verhinderung von Diebstahl etc. erforderlich.

Darüber hinaus kann es - insbesondere bei sehr hohen Gefährdungen - zur Minimierung der mit der Nutzung einer HRQ einhergehenden oben genannten Risiken auch geboten sein, die Anwendung der radioaktiven Strahlenquelle vollständig durch eine nicht-radioaktive alternative Technologie zu ersetzen, was ggf. durch den Gesetzgeber durch die Feststellung der „Nicht-Rechtfertigung“ der entsprechenden Technologie mit HRQ verordnet werden könnte. Eine solche Ablösung kann für die betroffenen Nutzer größere Anpassungsprobleme verursachen oder sogar einen Paradigmenwechsel bedeuten. Die Verwendung alternativer Technologien muss daher gründlich vorbereitet werden.

Ziel des Forschungsvorhabens ist es daher, die Notwendigkeit, die Möglichkeit und die Machbarkeit der Ablösung von hochradioaktiven Strahlenquellen durch alternative Technologien in Deutschland zu prüfen. Dabei sind die aktuellen Anwendungsbereiche von HRQ, die verwendeten Nuklide und Aktivitäten, der physikalische und chemische Zustand des radioaktiven Materials sowie die Häufigkeit und die Bedingungen des Einsatzes der HRQ zu untersuchen. In einem zweiten Schritt sind die für die jeweiligen Anwendungen möglichen alternativen Technologien auch auf dem internationalen Markt zu eruieren. Abschließend sind diese alternativen Technologien im Hinblick auf ihre Einsatzfähigkeit, ihren Anwendungsbereich sowie ihre Kosten mit den konventionellen Technologien (unter Verwendung von HRQ) zu vergleichen.

THEMENBEREICH 03 / STRAHLENBIOLOGIE - WIRKUNG VON IONISIERENDER UND NICHTIONISIERENDER STRAHLUNG, STRAHLENEMPFFINDLICHKEIT

Thema			
Einfluss von Niedrigdosisstrahlung auf die Leukämieentwicklung bei genetischer Prädisposition in einem Mausmodell			
Subject			
<i>Influence of low-dose radiation on leukemia development in a genetically predisposed mouse model</i>			
Kennzeichen 3618S32274	Beginn 01.01.2019	Ende 30.09.2021	Fördermittel EUR 542.142,-
Forschungs- / Auftragnehmer Universitätsklinikum Düsseldorf, Heinrich-Heine-Universität, Düsseldorf			
Projektleitung Prof. Dr. A. Borkhardt Dr. U. Fischer Dr. D. Hein		Fachbetreuung BfS Dr. S. Hornhardt; Dr. J. Schmidt / WR 1	

ZIELSETZUNG / KURZBESCHREIBUNG

Ionisierende Strahlung ist ein akzeptierter Risikofaktor für die Leukämie-Entstehung im Kindesalter. Allerdings ist die Bedeutung schwacher ionisierender Strahlung im Niedrigdosisbereich noch unklar. Das Deutsche Kinderkrebsregister in Mainz führte im Auftrag des Bundesamtes für Strahlenschutz von 2003 bis 2007 die Studie „Kinderkrebs in der Umgebung von Kernkraftwerken“ (KiKK-Studie) durch und konnte eine Korrelation zwischen der Nähe des Wohnortes zu einem Atomkraftwerk und dem Risiko eine Leukämie zu entwickeln aufzeigen. Dies lässt sich jedoch mit dem derzeitigen wissenschaftlichen Kenntnisstand über Strahlenwirkungen nicht erklären. Es ist wahrscheinlich, dass genetische Faktoren die Empfindlichkeit für den schädlichen Einfluss ionisierender Strahlung beeinflussen. Um dies experimentell zu prüfen, wird in diesem Projekt das *Sca1-ETV6-RUNX1*-Mausmodell eingesetzt, das die häufigste bei Kindern anzutreffende präleukämische Gentranslokation *ETV6-RUNX1* trägt. Anhand dieses Modells wird getestet werden, ob die Exposition mit Niedrigdosisstrahlung onkogene Mutationen als sogenannten zweiten „Hit“ verursachen kann. Dazu werden Kohorten von jeweils 30 *Sca1-ETV6-RUNX1*-Mäusen einmalig mit exakten Dosen (2 Gy, 0,5 Gy und 50 mGy) aus einer Gammastrahlenquelle (Cs-137) bestrahlt bzw. zur Kontrolle scheinbestrahlt (0 Gy), um die Strahlenreaktion bis in den Niedrigdosisbereich zu erfassen. Die Tiere werden bis zu einem Alter von zwei Jahren regelmäßig durch Blutkontrollen untersucht. Tiere, die Merkmale einer Leukämie aufweisen, werden geopfert und den üblichen Nekropsieverfahren unterzogen. Eine Überlebenskurve nach Kaplan-Meier wird erstellt. Makroskopisch, histologisch und durchflusszytometrisch werden Infiltration, Zellzahl und Klonalität in hämatopoietischen Organen untersucht. Die Selbsterneuerungskapazität der Tumorzellen wird durch Transplantation überprüft und die Tumorzellen mittels Ganz-Exom-Sequenzierung auf expositionsbedingte, leukämische Veränderungen untersucht. Die Ergebnisse werden zusätzlich mit in der Literatur angegebenen sekundären Alterationen in der humanen akuten lymphoblastischen Leukämie des Kindesalters verglichen werden.

Thema			
Bestimmung der Frequenz präleukämischer Translokationen in Nabelschnurblut			
Subject			
<i>Determination of the frequency of preleukemic translocations in umbilical cord blood</i>			
Kennzeichen 3618S32275	Beginn 01.11.2018	Ende 30.09.2021	Fördermittel EUR 307.403,-
Forschungs- / Auftragnehmer			
Universitätsklinikum Düsseldorf, Heinrich-Heine-Universität, Düsseldorf			
Projektleitung Prof. Dr. A. Borkhardt Dr. U. Fischer Dr. D. Hein		Fachbetreuung BfS Dr. S. Hornhardt; Dr. J. Schmidt / WR 1	

ZIELSETZUNG / KURZBESCHREIBUNG

Die pädiatrische akute lymphatische Leukämie (ALL) ist gekennzeichnet durch präleukämische chromosomale Translokationen, die bereits vor der Geburt auftreten können. Am häufigsten ist die Translokation t(12;21), die zur Bildung des chimären Transkriptionsfaktors *ETV6-RUNX1* führt. Für die Leukämieentstehung sind weitere genetische Aberrationen notwendig. Die Häufigkeit *ETV6-RUNX1*-positiver präleukämischer Zellen bei Neugeborenen ist unklar. Es wurde erwartet, dass sie entweder der Inzidenz von *ETV6-RUNX1*-positiver Leukämie bei Kindern ($\approx 1/10\,000$) entspricht oder sie überschreitet. Erste Ergebnisse zeigten, dass Neugeborene mit *ETV6-RUNX1*-Translokationen 100 mal häufiger sind als tatsächlich erkrankte Kinder. Nachfolgende Studien verwendeten RNA und RT-PCR zur Prävalenzbestimmung. Die geringe Stabilität der RNA und die Neigung der RT-PCR zu falsch positiven Ergebnissen verursachten jedoch widersprüchliche Ergebnisse. In einem Pilotprojekt des BMU/BfS wurde deshalb von Prof. Robert Slany (Institut für Genetik, Universität Erlangen-Nürnberg) und der Projektleitung eine auf stabiler DNA basierte Methode (genomisch inverse PCR zur Detektion von ligierten Bruchpunkten, abgekürzt: GIPFEL) entwickelt. Die GIPFEL-Methode weist Genfusionen ohne vorherige Kenntnis des Bruchpunkts mit hoher Sensitivität (10^{-4}) und Spezifität nach. In einem weiteren BMU/BfS-Projekt wurde diese Technik von uns für den Nachweis von Translokations-positiven Zellen in Nabelschnurblutproben von gesunden Neugeborenen adaptiert. In einem populationsbasierten, retrospektiven Screening von 1 000 gesunden Neugeborenen zeigten 5 % *ETV6-RUNX1*-positive Signale. Um dies zu prüfen, werden in dem aktuellen Projekt weitere 1 000 Nabelschnurblutproben von gesunden Neugeborenen mit der GIPFEL-Technik untersucht. Die Proben wurden vom Kollaborationspartner (Prof. Kjeld Schmiegelow, Rigshospitalet, Copenhagen, Denmark) asserviert und pseudonymisiert. Das dänische Krebsregister wird für den Vergleich der Screening-Ergebnisse mit tatsächlichen Leukämiefällen genutzt. Die Bruchpunkte von *ETV6-RUNX1*-positiven Proben werden sequenziert und mit publizierten Leukämie-Bruchpunkten von Patienten verschiedenen Alters verglichen. Daraus könnten Rückschlüsse auf die molekularen Ursachen der Translokation und verantwortliche Noxen resultieren. Eine Assoziation bestimmter *ETV6-RUNX1*-Translokationen mit häufigerer ALL-Entstehung könnte aufgezeigt werden und ggf. eine individuelle frühe Risikobewertungen ermöglichen. Die Studie wird eine Einschätzung der Inzidenz von *ETV6-RUNX1*-positiven präleukämischen Zellen bei gesunden Neugeborenen erlauben. Die Studie wird helfen, das Leukämie-induzierende Potenzial des Transkriptionsfaktors *ETV6-RUNX1* und den Einfluss sekundärer Umwelt-bedingter oder spontan auftretender kooperierender onkogener Läsionen bei der *ETV6-RUNX1*-positiven Kinderleukämie zu bewerten.

THEMENBEREICH 04 / MEDIZINISCHE STRAHLENEXPOSITION / RÖNTGENVERORDNUNG

Thema Erfassung der Häufigkeit von Strahlentherapien in Deutschland			
Subject <i>Recording the frequency of radiotherapy in Germany</i>			
Kennzeichen 3618S42434	Beginn 30.08.2018	Ende 31.03.2020	Fördermittel EUR 178.143,-
Forschungs- / Auftragnehmer Deutsche Gesellschaft für Radioonkologie (DEGRO), Berlin			
Projektleitung Prof. Dr. N. Willich	Fachbetreuung BfS Dr. E. Schüler / MB 1		

ZIELSETZUNG / KURZBESCHREIBUNG

Die vom Bundesamt für Strahlenschutz (BfS) bisher durchgeführten Erfassungen von Häufigkeitsdaten diagnostischer Strahlenanwendungen in der Medizin aus der Analyse von abgerechneten Gebührenordnungsziffern für den ambulanten und stationären Bereich von Patientenbehandlungen sollen mit dem vorliegenden Projekt auf das Gebiet therapeutischer Bestrahlungen erweitert werden. Im Vorhaben sind aktuelle, für Deutschland repräsentative Daten zu Art und Häufigkeit von Strahlentherapien sowohl für den stationären als auch den ambulanten Bereich zu erheben. Auch die im Rahmen der Bestrahlungsplanung, Simulation und Verifikation durchgeführten bildgebenden Verfahren sollen erfasst werden, daneben auch wenige anonymisierte biografische Daten der Patienten.

In dem gegenwärtig zu bearbeitenden Arbeitspaket 1 wird eine Machbarkeitsprüfung hinsichtlich des Erhalts der in Frage stehenden Daten von den entsprechenden Datenhaltern sowie der Eignung der Daten für die gewünschten Analysen durchgeführt, wobei sich bereits jetzt abzeichnet, dass eine hohe Repräsentativität der Daten erreicht werden kann.

Bei Fortgang des Projekts wird im Arbeitspaket 2 dann der gesamte zur Verfügung stehende Datenpool aufbereitet und analysiert werden. Etwaige Lücken in den auszuwertenden Daten sollen mit einer flankierenden Umfrage (Panellerhebung) bei einer großen Anzahl von Strahlentherapieinstitutionen geschlossen werden. Schließlich werden die Ergebnisse auf die deutsche Gesamtbevölkerung hochgerechnet werden. Methodik und Ergebnisse der Auswertungen werden darzulegen sein.

In einem dritten Arbeitspaket wird dem BfS ein Vorschlag gemacht werden, wie das BfS zukünftig mit überschaubarem Aufwand den gewonnenen Datenbestand aktualisieren kann.

THEMENBEREICH 06 / NOTFALLSCHUTZ

Thema

Überarbeitung des Maßnahmenkatalogs unter Berücksichtigung von Erfahrungen nach dem Unfall in Fukushima sowie von internationalen Entwicklungen in den letzten Jahren

Subject

Revision of the Catalog of Protective Measures taking into account experiences after the Fukushima accident and international developments in recent years

Kennzeichen 3618S62571	Beginn 01.12.2018	Ende 30.10.2020	Fördermittel EUR 179.856,-
----------------------------------	-----------------------------	---------------------------	--------------------------------------

Forschungs- / Auftragnehmer

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

Projektleitung Dr. F. Meinerzhagen	Fachbetreuung BfS M. Werner / RN 2
--	--

ZIELSETZUNG / KURZBESCHREIBUNG

Ziel des Vorhabens ist die Überarbeitung der bestehenden Version des Maßnahmenkatalogs („Übersicht über Maßnahmen zur Verringerung der Strahlenexposition nach Ereignissen mit nicht unerheblichen radiologischen Auswirkungen“). Die erste Version des Maßnahmenkatalogs erschien 1992; zuletzt wurde 2008 eine aktualisierte Version herausgegeben.

Bei der Überarbeitung sollen insbesondere die folgenden neueren Erkenntnisse berücksichtigt werden:

- die von der SSK im Rahmen des Erfahrungsrückflusses aus Fukushima erarbeiteten Empfehlungen
- Vorgaben anderer Institutionen z. B. der EU (z. B. EURATOM Grundnormen, Höchstwerte für Lebens- und Futtermittel)
- aktuelle vergleichbare Handbücher aus anderen Ländern (z. B. "Nordic Flagbook")
- die EURANOS-Handbücher
- die Erfahrungen in Japan (auch zur Nachunfallphase).

Der Maßnahmenkatalog soll zukünftig nach Möglichkeit für alle Ereignisse und Szenarien - wie sie in der Umsetzung der EURATOM-Grundnormen in Deutschland berücksichtigt werden - einsetzbar sein und entsprechende Hinweise zur Anwendbarkeit der einzelnen Maßnahmen für jedes Szenario enthalten.

Zusätzlich soll der überarbeitete Maßnahmenkatalog wieder in elektronischer Form bereitgestellt werden, so dass er auch für die Erarbeitung, Optimierung und Anwendung von Schutzstrategien seitens der Behörden eingesetzt werden kann.

Es ist das dringende Ressortinteresse des BMU, den aktuellen Maßnahmenkatalog 2008 an den Stand von Wissenschaft und Technik anzupassen.

Thema			
Ermittlung der Informations- und Schutzbedürfnisse von Einsatzkräften im Notfallschutz; Ableitung von Empfehlungen zur Verbesserung der Ausbildung, Information und Kommunikation			
Subject			
<i>Identification of information and safety needs among emergency responders; Derivation of recommendations to improve education, information and communication</i>			
Kennzeichen	Beginn	Ende	Fördermittel
3618S62573	01.11.2018	30.04.2020	EUR 166.124,-
Forschungs- / Auftragnehmer			
Stiftung Risiko-Dialog, St. Gallen / Schweiz			
Projektleitung	Fachbetreuung BfS		
M. Holenstein	C. Pölzl-Viol / St-RK		

ZIELSETZUNG / KURZBESCHREIBUNG

Die bestehende Forschung setzt sich bereits intensiv mit den Kommunikations- und Informationsbedürfnissen der breiten Bevölkerung bei nuklearen Notfällen auseinander. Noch wenige empirische Befunde gibt es dazu, welche Schutz-, Informations- und Kommunikationsbedürfnisse berufliche Einsatzkräfte oder freiwillige Helfer*innen (z. B. Mitarbeitende der Feuerwehr, des Rettungsdienstes, der Polizei oder von Hilfsorganisationen) haben. Spezifische Berufsgruppen beispielsweise der Feuerwehr oder der Polizei werden explizit für den Einsatz in einem nuklearen Notfall vorbereitet. Jedoch gibt es auch viele Berufsgruppen, denen in Notfällen wichtige Aufgaben zukommen und die nur unzureichend oder gar nicht auf den Einsatz im nuklearen Notfall vorbereitet sind (z. B. gewisses medizinisches Personal, Bus- und Zugführer*innen, freiwillige Helfer*innen etc.).

Im vorliegenden Projekt richtet das Bundesamt für Strahlenschutz (BfS) den Fokus nun speziell auf die Informations- und Schutzbedürfnisse von Einsatzkräften im Notfallschutz. Ziel ist es Empfehlungen für Schulungs-, Informations-, und Kommunikationskonzepte, Übungen und Kommunikationsplattformen zu erarbeiten. Dabei sollen unterschiedliche Voraussetzungen der untersuchten Gruppen von Einsatzkräften und damit verbundene Informations- und Schutzbedürfnisse berücksichtigt werden. Speziell soll ihre Doppelrolle als Helfer und Betroffene angesprochen werden.

Thema

Entwicklung ausführlicher Abfallkataster aus radiologischer Sicht für alle im allgemeinen Notfallplan des Bundes beschriebenen Referenzszenarien zur Vorbereitung der Evaluierung des besonderen Notfallplans des Bundes „Abfälle“

Subject

Development of detailed radiological waste registers for all reference scenarios described in the general emergency plan of the Federal Government of Germany for the preparation of the evaluation of the special emergency plan

Kennzeichen

3618S62575

Beginn

01.11.2018

Ende

31.08.2021

Fördermittel

EUR 594.289,-

Forschungs- / Auftragnehmer

Gesellschaft für Anlagen- und Reaktorsicherheit (GRS), Köln

Projektleitung

Dr. M. Sogalla

Fachbetreuung BfS

B. Denstorf / RN 3.6

ZIELSETZUNG / KURZBESCHREIBUNG

Der Entwurf des Strahlenschutzgesetzes (StrlSchG) sieht die Ausgestaltung der Anforderungen an den Notfallschutz in einer größeren Zahl von Verordnungen und allgemeinen Verwaltungsvorschriften (AVV) vor. Hierzu zählen insbesondere auch die auf Bundesebene zu erstellenden Notfallpläne, die innerhalb von fünf Jahren zu evaluieren sind.

Insbesondere stellt der besondere Notfallplan "Abfälle" über die bisherigen Planungen hinaus erheblich fachliche und administrative Anforderungen, für deren abschließende Beurteilung zum heutigen Zeitpunkt noch nicht alle erforderlichen Erkenntnisse vorliegen.

Ziel dieses Vorhabens ist es, für alle im allgemeinen Notfallplan des Bundes vorgesehenen Referenzszenarien ein detailliertes Abfallkataster zu entwickeln und aus radiologischer und ökonomischer Sicht auf seine Entsorgbarkeit zu prüfen.

Die Bearbeitung des ersten Aufgabenpakets fokussiert sich auf die Erkenntnisse aus bisherigen Planungen auf nationaler und internationaler Ebene sowie die verfügbaren Erfahrungsrückflüsse aus der Bewältigung realer Unfallsituationen. Diese beiden Aspekte werden für das Vorhaben recherchiert, zusammengestellt und systematisch als aktueller Stand von Wissenschaft und Technik aufbereitet. Die Aufbereitung des Standes von Wissenschaft und Technik bezieht sich u. a. auf:

- bisherige Arbeiten der GRS: Methoden, Daten, Vorgehensweisen und Ergebnisse
- wichtige Untersuchungen und Ergebnisse anderer Stellen (abgeschlossene sowie laufende Arbeiten, Literaturrecherche)
- Sichtung der aktuellen relevanten Informationssysteme
- Ergebnisse aktueller Beratungen in einschlägigen nationalen und internationalen Gremien
- bewährte Vorgehensweisen ("Best Practices").

THEMENBEREICH 08 / NICHTIONISIERENDE STRAHLUNG

Thema

Fachgespräch zur Risikobewertung und Risikowahrnehmung beim Stromnetzausbau

Subject

Expert talk on risk evaluation and risk perception regarding the extension of the electricity grid

Kennzeichen
3618S82450

Beginn
15.11.2018

Ende
14.03.2019

Fördermittel
EUR 60.000,-

Forschungs- / Auftragnehmer

RISA GmbH, Berlin und adelphi GmbH, Berlin

Projektleitung
Dr. G. Becker

Fachbetreuung BfS
C. Böhmert / St-RK

ZIELSETZUNG / KURZBESCHREIBUNG

Bürger*innen, die vom Stromnetzausbau oder der Stromnetzertüchtigung (im Folgenden zusammenfassend als „Stromnetzausbau“ bezeichnet) betroffen sind, sind zum Teil besorgt wegen möglicherweise vorhandener gesundheitlicher Risiken durch von den Leitungen ausgehende elektrische und magnetische Felder. Das Bundesamt für Strahlenschutz (BfS) hat das Ziel, die Bürger*innen bestmöglich über typische Expositionswerte und möglicherweise vorhandene Risiken zu informieren. Da das BfS nicht die einzige Informationsquelle für entsprechende Bürger*innen ist, ist es ein zentrales Anliegen des BfS, dass nicht nur die Kommunikation des BfS, sondern auch die Kommunikation weiterer Akteur*innen die Bürger*innen bestmöglich über den aktuellen wissenschaftlichen Kenntnisstand informiert. Im Rahmen des Themenblocks „Risikowahrnehmung und Risikokommunikation“ des „Forschungsprogramms beim Stromnetzausbau“ beabsichtigt das BfS ein Fachgespräch durchzuführen. Das Fachgespräch hat zwei Themen:

- Verständigung über die Bedeutung und Verwendung zentraler Begriffe: Um die Bürger*innen bestmöglich zu informieren und mögliche Missverständnisse und Unsicherheiten zu vermeiden, ist es wichtig, dass verschiedene Akteur*innen (z. B. Vertreter*innen lokaler Behörden, Netzbetreiber, BNetzA¹⁾) dieselben Begriffe auch in derselben Weise verwenden.
- Multiplikatorenschulungen: Es ist im Sinne des BfS, Multiplikator*innen in Schulungen mit dem aktuellen wissenschaftlichen Kenntnisstand zum Thema „Stromnetzausbau und Gesundheit“ sowie auch mit den Möglichkeiten, adäquat über das Thema zu kommunizieren, vertraut zu machen. Die Teilnehmer*innen des Fachgesprächs diskutieren
 - die relative Bedeutsamkeit verschiedener Multiplikatorengruppen
 - Wege, Multiplikator*innen anzusprechen und für entsprechende Schulungen zu gewinnen
 - mögliche Inhalte für solche Schulungen (ggf. spezifisch für die jeweiligen Gruppen von Multiplikator*innen).

¹⁾ Bundesnetzagentur

Thema			
Überprüfung von Darstellungsformaten für Messergebnisse niederfrequenter Felder und deren Bedeutung für die Risikokommunikation			
Subject			
<i>Investigation of presentation formats for results of low-frequency field measurements and their relevance to risk communication</i>			
Kennzeichen	Beginn	Ende	Fördermittel
3618S82452	01.12.2018	31.10.2019	EUR 166.341,-
Forschungs- / Auftragnehmer			
Karlsruher Institut für Technologie, Abteilung Wissenschaftskommunikation, Karlsruhe			
Projektleitung		Fachbetreuung BfS	
Prof. Dr. M. Lehmkuhl		C. Böhmert / St-RK	

ZIELSETZUNG / KURZBESCHREIBUNG

Auf Grund der mangelnden Sichtbarkeit niederfrequenter elektrischer und magnetischer Felder sind Laien auf die Aussagen und Berechnungen von Experten oder aber auf Messungen angewiesen, um die Höhe der Exposition in verschiedenen Alltagsszenarien einschätzen zu können. Das Bundesamt für Strahlenschutz (BfS) hat das Ziel, die Bürger bestmöglich über typische Expositionswerte und möglicherweise vorhandene Risiken zu informieren. Die Exposition kann mit Hilfe von speziellen Messgeräten ermittelt werden. Berichten aus der Praxis zufolge wirkt sich die Kommunikation solcher Messergebnisse positiv auf Kommunikations- und Partizipationsprozesse aus. Eine Messung der Stärke des Feldes vor Ort scheint demnach gegenüber der Kommunikation von auf Kalkulation beruhenden Feldstärken Vorteile mit sich zu bringen. Wie genau eine Kommunikation solcher Messungen und Messergebnisse erfolgen sollte, ist jedoch unklar.

Das vorliegende Forschungsvorhaben untersucht empirisch, welche Effekte verschiedene kommunikative Darstellungsformen von Feldstärken, die in der Nähe von Hochspannungsleitungen auftreten, auf Rezipienten haben. Es geht bei diesem Projekt nicht direkt um die Kommunikation von möglicherweise vorhandenen Gesundheitsrisiken selbst, sondern um die Kommunikation der Messwerte als Indikatoren der Exposition. Entscheidend ist der Bezug der Messwerte zu Vergleichsgrößen wie etwa zu gesetzlich festgelegten Grenzwerten (26. BImSchV), zu den berechneten Werten unter maximaler Anlagenauslastung oder zur Exposition durch andere Quellen niederfrequenter Felder (z. B. Haushaltsgeräte).

Verzeichnis der Abbildungen und Tabellen

ERGEBNISSE (ABSCHLUSSBERICHTE)

Themenbereich 01

Natürliche Strahlenexposition

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 / 3615S12230

Abbildung 1: Inhalation von Uran durch Aufbereiter 6

Abbildung 2: Inhalation von Stäuben durch Bergbauarbeiter 6

Verifizierung internationaler Berechnungen der individuellen Strahlendosis bei externer Umgebungsstrahlung / 3617S22252

Tabelle 1: Für das Projekt verwendete Phantome und ihre Eigenschaften 17

Abbildung 1: Dosisraten für die Gonaden (Ovarien bzw. Hoden) für die erwachsenen Phantome für eine Bodenquelle in der Tiefe $0,5 \text{ g cm}^{-2}$ 18

Abbildung 2: Koeffizienten der Organdosisrate der Magenwand für die drei Kinderphantome für Luftsubmersion 18

Tabelle 2: Organdosisratenkoeffizienten für das weibliche erwachsene Phantom Donna für monoenergetische Photonenquellen in einer Tiefe von $0,5 \text{ g cm}^{-2}$ im Boden, für ausgewählte Energien* 20

Tabelle 3: Konversionskoeffizienten der Organdosisraten für einen Fötus (24. Schwangerschaftswoche) für monoenergetische Photonen in einer Tiefe von $0,5 \text{ g cm}^{-2}$ im Boden 21

Abbildung 3: Abweichung der Konversionskoeffizienten der detriment-gewichteten Dosisrate der Nicht-Referenz-Phantome von den effektiven Dosisraten der ICRP-Erwachsenenphantome für Bodenkontamination. Oben: erwachsene Phantome; unten: Kinderphantome 22

Abbildung 4: Abweichung der Konversionskoeffizienten der detriment-gewichteten Dosisrate der Nicht-Referenz-Phantome von den effektiven Dosisraten der ICRP-Erwachsenenphantome für Luftsubmersion. Oben: erwachsene Phantome; unten: Kinderphantome 23

Themenbereich 03

Strahlenbiologie - Wirkung von ionisierender und nichtionisierender Strahlung, Strahlenempfindlichkeit

Identifizierung strahlenspezifischer Biomarker in Brusttumorpatienten - zu Grunde liegende molekulare Mechanismen der strahleninduzierten Mammakarzinogenese / 3615S32454

Abbildung 1: Genomische Kopienzahl-Signatur 30

Abbildung 2: TRPS-1-Analyse (Proteinexpression in Tumorgewebe) 31

Untersuchung des Risikos für kardiovaskuläre Erkrankungen nach einer Strahlenexposition mit niedrigen Dosen an Biopsieproben von Majak-Arbeitern / 3617S32261

Tabelle 1: Detaillierte Informationen zu den Probanden	35
Abbildung 1: Darstellung der strahleninduzierten Veränderungen im kardialen Proteom	36
Abbildung 2: Darstellung der Sirtuin-Expression	37
Abbildung 3: Analyse des Aktivierungsstatus von PPAR alpha	38

9. EUROSKIN Konferenz „Bedeutung und Nutzen von Biomarkern in der primären und sekundären Prävention von Hautkrebs“ / 3617I02420

Tabelle 1: Eingeladene Sprecher und Vortragsthemen	40
---	----

Themenbereich 04

Medizinische Strahlenexposition / Röntgenverordnung

Erstellung und Überarbeitung von technischen Normen für den Strahlenschutz und die Qualitätssicherung in der medizinischen Radiologie / 3615S42320

Tabelle 1: Stand der Vorhaben aus dem Fachgebiet der Dosimetrie	46
Tabelle 2: Stand der Vorhaben aus dem Fachgebiet der Nuklearmedizin	46
Tabelle 3: Stand der Vorhaben aus dem Fachgebiet der Röntgendiagnostik	47
Tabelle 4: Ergebnisse aus dem Fachgebiet der Dosimetrie	48
Tabelle 5: Ergebnisse aus dem Fachgebiet der Nuklearmedizin	49
Tabelle 6: Ergebnisse aus dem Fachgebiet der Röntgendiagnostik	49

Themenbereich 05

Radioökologie

Themenbereich 06

Notfallschutz

Verfahren zur optimierten Standortauswahl für spektrometrierende Sonden und zur Generierung von Messaufträgen für Notfallschutzübungen / 3615S62540

Tabelle 1: Erfasste Kriterien für Standortoptimierungen	59
Abbildung 1: Räumlich abhängige Kostenfunktion unter Betrachtung der Kombination der Optimierungskriterien X1 (Bevölkerungsdichte, Gewicht 2) und X3 (kritische ODL von 100 μ Sv/h, Gewicht 1) sowie optimale Standorte für die Platzierung zusätzlicher Sonden (runde Purpurpunkte). Der simulierte Freisetzungsort ist mittels grünem Stern gekennzeichnet.	61

Abbildung 2: Räumlich abhängige ODL a) der vier Modelle und der simulierten Messungen, b) der Kontaminationskarte. Der simulierte Freisetzungsort ist mittels grünem Stern gekennzeichnet. 61

Abbildung 3: a) Räumlich abhängige Unsicherheit der Kontamination und b) Kostenfunktion unter Betrachtung der Bevölkerungsdichte, der Distanz zum Freisetzungsort und der Unsicherheit der Kontamination, sowie optimale Standorte für mobile Messaufträge (Teilausschnitt mit der Kontaminationszone). Der simulierte Freisetzungsort ist mittels grünem Stern gekennzeichnet. Das Szenario ist dasselbe wie in Abbildung 2. 62

Abbildung 4: Allgemeine Bedrohungslage mit 18 gleich gewichteten Freisetzungsorten, hier mit 361 Fahnen pro Freisetzungsort, mit den Gewichten 0,5 für X_{1-5} , 0,2 für X_6 und 1 für X_7 , sowie optimale Standorte für eine zusätzliche ortsfeste Messstation (blaue Punkte, dicke Punkte sind die besten Läufe). Die Freisetzungsorte sind mittels grünem Stern gekennzeichnet. 63

Wechselwirkung zwischen Ausbreitung von radioaktiven Substanzen nach Freisetzung in Gebäuden und der freien Atmosphäre in gekoppelten Simulationsmodellen / 4716R01651

Abbildung 1: Ablauf der Simulation im Rechenprogramm URBITS 67

Abbildung 2: Screenshot der Benutzeroberfläche des UrbITS 68

Abbildung 3: Zeitlicher Verlauf der Aerosolverteilung (Summe über alle Aerosolgrößen) in der Bahnhofshalle nach Umsetzung einer USBV-R mit PETN als Sprengstoff und Hartkeramik als Beiladung mit Angabe des gesamten Aerosolanteils in der entsprechenden Ebene 69

Modellbasierte Ermittlung des Eintrags von I-131 in die OSPAR-Regionen des Nordostatlantiks auf Grund von nuklearmedizinischen Anwendungen mit Radioiod in Deutschland / 3616S72570

Abbildung 1: Modellinput Einwohnerlängsschnitt der Ruhr; (Kilometrierung in Fließrichtung) 78

Abbildung 2: Gesamt-Konzentrationen (CX) in Bq/m^3 und Gesamt-Frachten (JX) in Bq/s an Aktivität der Ruhr im Vergleich zu gemessenen Aktivitätskonzentrationen und -frachten am Bezugspegel Hattingen (km 164); Kilometrierung in Fließrichtung 79

Abbildung 3: Berechnungsergebnisse der Elbe als gewichtetes Mittel über alle Abflusszustände 80

Tabelle 1: Vergleich von modelltechnisch ermittelten I-131-Frachten und messtechnisch ermittelten Werten 81

Themenbereich 08 Nichtionisierende Strahlung

Exposition und Wirkungen der elektromagnetischen Felder neuartiger Technologien im Zwischenfrequenzbereich - systematische Review / 3616S82437

Abbildung 1: Als am meisten relevant für die Exposition der Allgemeinbevölkerung eingestufte Zwischenfrequenzquellen im Hinblick auf Verbreitung, verfügbare Datenlage der Expositionsdaten und Einschätzung der möglichen Überschreitung des Basisgrenzwertes (BGW) 90

Abbildung 2: Als am meisten relevant für die Exposition von beruflich exponierten Personen eingestufte Zwischenfrequenzquellen im Hinblick auf Verbreitung, verfügbare Datenlage der Expositionsdaten und Einschätzung der möglichen Überschreitung des Basisgrenzwertes (BGW) 91

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 / 3617S82444

Tabelle 1: Einsatzbereiche der Anwendungen (kursiv und unterstrichen: rein medizinische Anwendungen)	102
Abbildung 1: Ausgewählte Anwendungen (N = 135) nach Zulassungsart (N = 123)	103
Tabelle 2: Grenzwerteinhaltung der Anwendungen	104
Tabelle 3: Evidenz von Nebeneffekten der verschiedenen Therapieformen (kursiv und unterstrichen: rein medizinische Anwendungen)	106
Tabelle 4: Forschungsbedarf der verschiedenen Therapieformen (kursiv und unterstrichen: rein medizinische Anwendungen)	107

STATUSBERICHTE

Themenbereich 04

Medizinische Strahlenexposition / Röntgenverordnung

Erfassung der aktuellen Kontaminationssituation bei Wildschweinen in Deutschland / 3617S52531

Tabelle 1: Mittlere Häufigkeitsverteilung	161
--	-----

Themenbereich 06

Notfallschutz

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 / 3617S72384

Abbildung 1: Dosimeter Prototyp	191
--	-----

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	208
Tabelle 2: Zellzahlen (in Millionen) je halbes Organ	209

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
HGÜ	Hochspannungs-Gleichstrom-Übertragung
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
WTD	Wehrtechnische Dienststelle

Kontaktadressen

Fragen nach näheren Informationen über die in diesem Programmreport genannten Projekte können an folgende Stelle gerichtet werden:

Bundesamt für Strahlenschutz

Koordination und administrative Begleitung von Forschungsvorhaben (Z 4)

Postfach 10 01 49

D-38201 Salzgitter

Tel.: (030) 18333-2119

Verantwortung für Mensch und Umwelt

Kontakt:

Bundesamt für Strahlenschutz

Postfach 100149

D - 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