

Strahlenschutzforschung

Programmreport 2014

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

Schriften



Bundesamt für Strahlenschutz

Redaktion:

Annemarie Schmitt-Hannig

Dr. Angelika Löbke-Reinl

Dr. Josef Peter

Ralph Gödde

Claudia Hachenberger

Angela Trugenberger-Schnabel

BfS-SCHR-57/15

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

urn:nbn:de:0221-2015082013351

Zur Beachtung:

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

Salzgitter, September 2015

Strahlenschutzforschung

Programmreport 2014

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

Schriften

INHALT

ZUSAMMENFASSUNG	IX
VORBEMERKUNG	IX
EINFÜHRUNG	IX
ZUSAMMENFASSUNG DER FORSCHUNGSERGEBNISSE 2014	X

ERGEBNISSE

RESULTS

THEMENBEREICH 02

STRAHLENSCHUTZTECHNIK

SUBJECT AREA 02

RADIATION PROTECTION TECHNIQUES

Erstellung und Überarbeitung von technischen Normen für den Strahlenschutz und die Qualitätssicherung in der medizinischen Radiologie	2
<i>Preparation and revision of technical standards for radiation protection and quality assurance in medical radiology</i>	
3611S20006	

Ermittlung der Zuverlässigkeit von Dosiskoeffizienten für Radiopharmaka	7
<i>Assessment of the reliability of dose coefficients for radiopharmaceuticals</i>	
3612S20013	

Untersuchung der Eignung von In-situ-Gammaspektrometern für den Nachweis von inkorporierten gammastrahlenden Radionukliden in nuklearen Notfallsituationen	13
<i>Investigations on the applicability of in-situ gamma spectrometers for the detection of incorporated gamma-ray emitting radionuclides in nuclear emergency situations</i>	
3612S20014	

THEMENBEREICH 03

STRAHLENBIOLOGIE - WIRKUNG VON IONISIERENDER UND NICHTIONISIERENDER STRAHLUNG, STRAHLENEMPFINDLICHKEIT

SUBJECT AREA 03

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

3D/4D Architektur von chromosomalen Bruchpunktregionen in Zellkernen nach Bestrahlung von Normalzellen und Tumorzellen	16
<i>3D/4D architecture of chromosomal break point regions in nuclei after radiation exposure of normal and cancer cells</i>	
3610S30015	

Bestimmung und Validierung strahleninduzierter Genveränderungen in Brusttumoren zur verbesserten Brustkrebsrisikoabschätzung nach Exposition mit ionisierender Strahlung	22
<i>Detection and validation of radiation-induced gene alterations in breast cancer for an improved assessment of radiation-related risks</i>	
3611S30019	

Pilotstudie für eine epidemiologische Studie zur Untersuchung des Zusammenhangs von Strahlenbelastung und Katarakterkrankung	29
<i>Pilot study for an epidemiological study on the association between (low dose ionising) radiation and cataract development</i>	
3611S30021	

Nachweis von chromosomalen Translokationen durch genomische PCR zur Identifizierung prä-leukämischer Zellen bei Kindern - Pilotstudie zur Entwicklung und Validierung geeigneter Sonden	33
<i>Detection of chromosomal translocation by genomic PCR aiming the identification of pre-leucemic cells - pilot study for development and validation of sensitive probes</i>	
3612S70019	

Sequenzielle Exposition durch UVB- und UVA-Strahlung: Bedeutung für DNA-Schädigung, Reparatur, Gen-Expression und epigenetische Regulation in menschlichen Hautzellen	40
<i>Sequential exposure by UVB- and UA-radiation: relevance for DNA-damage, repair, gene-expression and epigenetic regulation in human skin cells</i>	
3613S30042	

THEMENBEREICH 04

MEDIZINISCHE STRAHLENEXPOSITION / RÖNTGENVERORDNUNG

SUBJECT AREA 04

MEDICAL RADIATION EXPOSURES / X-RAY ORDINANCE

Untersuchung des Brustkrebsrisikos nach Radioiodtherapie eines Schilddrüsenkarzinoms bei Jugendlichen und jungen Frauen	50
<i>Assessment of breast cancer risk following radioiodine treatment for thyroid cancer among female adolescents and young women</i>	
3611S40006	

Etablierung eines IT-gestützten Verfahrens zur Erfassung von Untersuchungsparametern (IVEU) durch die Ärztlichen Stellen und deren Übermittlung an das BfS und Auswertung der erhobenen Daten im Rahmen einer Querschnittsstudie	55
<i>Establishment of an IT-based system for the acquisition of examination parameters by German authorities for quality assurance, their transfer to the Federal Office for Radiation Protection and evaluation by a survey</i>	
3611S40008	

THEMENBEREICH 05

RADIOÖKOLOGIE

SUBJECT AREA 05

RADIOECOLOGY

Ergänzende Untersuchungen zur Validierung des Atmosphärischen Radionuklid-Transport-Modells (ARTM)	64
<i>Complementary research on validation of the atmospheric radionuclide transportation model (ARTM)</i>	
3612S50007	

THEMENBEREICH 06

NOTFALLSCHUTZ

SUBJECT AREA 06

EMERGENCY MANAGEMENT

Fortschreibung des Szenarienkatalogs für behördliche Notfallübungen	72
<i>Extrapolation of the catalogue of exercise scenarios for emergency response planning by authorities</i>	
3611S60006	

Weiterentwicklung der aero-gammaspektrometrischen Messsysteme des Bundesamtes für Strahlenschutz (BfS) und Anpassung der Mess- und Auswerteverfahren an die Anforderungen des Notfallschutzes 76
Advancement of the airborne gamma spectrometric measurement systems of the Federal Office for Radiation Protection (BfS) and adjusting the measurements and the evaluation of the measurement results to the needs of the emergency management
 3611S60013

Erprobung alternativer, situationsangemessener Kommunikationsstrategien für den nuklearen Notfallschutz mittels eines web-basierten Informations- und Kommunikationsforums 82
Testing alternative, situation suited communication strategies for nuclear emergency response using a web based information and communication forum
 3611S70004

14. Koordinierungs- und Planungstreffen der WHO-REMPAN-Kollaborationszentren und Liaison Institutionen in Würzburg im Jahr 2014 85
14th Coordination and planning meeting of the WHO REMPAN Collaborating Centers and Liaison Institutions in Würzburg in the year 2014
 3614I02275

THEMENBEREICH 07

VORHABEN MIT ALLGEMEINER BEDEUTUNG FÜR DEN STRAHLENSCHUTZ

SUBJECT AREA 07

PROJECTS OF GENERAL IMPORTANCE TO RADIATION PROTECTION

Überarbeitung von technischen Strahlenschutznormen aus dem Bereich des Normenausschusses Materialprüfung (NMP) - Los 1 92
Revision of technical radiation protection standards from the area of the Materials Testing Standards Committee (NMP) - Batch 1
 3611S20005

Bestimmung von Nuklidvektoren und Verteilung von Masse und Aktivität als Funktion der Aerosolpartikeldurchmesser in der Fortluft bei im Rückbau befindlichen kerntechnischen Anlagen 96
Determination of nuclide vectors and distribution of mass and activity as a function of the aerosol particle diameter in the exhaust air of nuclear facilities in decommissioning
 3611S70018

Radiologische Altlasten auf ehemaligen militärischen Liegenschaften - Erkundungen an ausgewählten Standorten 102
Radiological residual wastes on former military properties - reconnaissances at selected locations
 3612S70023

Evaluation und Weiterentwicklung von Kommunikationsstrategien in neuen Medien für eine zielgruppengerechte und permanente Präsentation radiologischer Messwerte aus dem Ortsdosisleistungs-Messnetz in Deutschland 109
Evaluation and development of new media communication strategies for a target group oriented and permanent presentation of radiological measurements in the German dose rate monitoring network
 3612S70024

Evaluierung des messbaren Nutzens für die Solarienbesucher durch die UV-Schutz-Verordnung, insbesondere die Unterweisung durch qualifiziertes Personal in Solarien 113
Evaluation of the measurable benefit for solarium users due to the UV protection regulations, in particular through instructions from qualified staff in solariums
 3612S70031

Machbarkeitsstudie zum Aufbau einer Geburtskohorte und zur Überprüfung genetischer Prädisposition bei kindlichen Leukämien - Folgebefragung 122
Feasibility study for establishing a birth cohort and for testing genetic predisposition to childhood leukaemia - Follow-up
 3613S70020

THEMENBEREICH 08
NICHTIONISIERENDE STRAHLUNG

SUBJECT AREA 08
NON-IONISING RADIATION

- Erweiterungsstudie zu multinationaler Fall-Kontroll-Studie zu Hirntumoren durch Radiofrequenzstrahlung bei Kindern und jungen Erwachsenen (MOBI-Kids) 130
Extension study to a multinational case-control study of brain cancer from exposure to radiofrequency fields in childhood and adolescence (MOBI-KIDS)
3609S30010
- Tumorpromotion durch hochfrequente elektromagnetische Felder in Kombination mit kanzerogenen Substanzen - synergistische Wirkungen 135
Tumor promotion by radiofrequency electromagnetic fields in combination with carcinogenic substances -synergistic effects
3611S30017
- Einfluss hochfrequenter elektromagnetischer Felder auf Gehirnaktivität, Schlaf und kognitive Leistungsfähigkeit älterer Personen beiderlei Geschlechter - Pilotstudie 142
Effect of high frequency electromagnetic fields on brain activity, sleep and cognitive performance in elderly women and men - pilot study
- Darstellung der technischen Möglichkeiten zur Minimierung elektrischer und magnetischer Felder von Niederfrequenz- und Gleichstromanlagen nach dem Stand der Technik 145
Description of the technical options to minimise electric and magnetic fields for facilities operating with extremely low frequencies and/or direct current according to the state of the art
3614S80020

THEMENBEREICH 09
DEUTSCHES MOBILFUNK-FORSCHUNGSPROGRAMM

SUBJECT AREA 09
GERMAN MOBILE TELECOMMUNICATION RESEARCH PROGRAMME

- Einfluss hochfrequenter Felder des Mobilfunks auf das blutbildende System in vitro 154
Influence of high frequency electromagnetic fields of mobile communications on the hematopoietic system in vitro
FM8851
- Untersuchung der Möglichkeiten des besseren Wissenstransfers/Wissensmanagements - im Hinblick auf das DMF-Forschungsprogramm - über Generationen hinweg bzw. über Themenzyklen/ Aufmerksamkeitszyklen hinweg 160
Investigation of the possibilities of better knowledge transfer/knowledge management - with regard to the DMF research program - over generations and cycles of interests/of attention, respectively
FM 8853
- Erstellung einer weiterführenden Broschüre zur Ergänzung der Handreichung zur Beurteilung von Studienergebnissen 166
Creating a continuative brochure in addition to the hand-out for the assessment of study results
FM8862

STATUSBERICHTE STATUS REPORTS

THEMENBEREICH 01 NATÜRLICHE STRAHLENEXPOSITION

SUBJECT AREA 01 NATURAL RADIATION EXPOSURE

Genexpressionsänderungen als Folge chronischer Strahlenexposition bei Wismut-Bergarbeitern <i>Expression changes as cause of chronical radiation exposition to uranium (Wismut)-Miners</i> 3611S10010	172
Untersuchung des Einflusses baulicher Energiesparmaßnahmen auf die Radonkonzentration in Innenräumen (Los 2) <i>Influence of structural energy-conservation methods on indoor radon concentration - part 2</i> 3611S10016	175
Methodische Untersuchungen zur Qualifizierung der VOC-Kammern zur Bestimmung der Radon- exhalationsrate von Bauprodukten, Los 1 <i>Systematic investigations on the use of VOC chambers for the determination of the radon exhalation rate of building products, lot 1</i> 3613S10021	178
4. Mortalitäts-Follow-Up der Kohorte von ca. 64 000 ehemaligen Wismutbeschäftigten zum Stichtag 31.12.2013 <i>Fourth follow-up of the mortality of the cohort of approximately 64 000 former Wismut employees at the appointed date 31/12/2013</i> 3613S10022	181
Ermittlung der Unsicherheiten der Strahlungsexpositionsabschätzung in der Wismut-Kohorte <i>Determination of the uncertainties in radiation exposure assessment in the Wismut Cohort</i> 3613S10023	183
Genomweite Analyse genetisch bedingter Strahlenempfindlichkeit in Wismut-Bergarbeitern - Qualitätssicherung der Typisierungsergebnisse <i>Genome wide analysis of radiosensitivity in former uranium miners of SDAG Wismut - quality management and control of the genotyping</i> 3614S10014	186

THEMENBEREICH 02 STRAHLENSCHUTZTECHNIK

SUBJECT AREA 02 RADIATION PROTECTION TECHNIQUES

Entwicklung und Umsetzung von Konzepten zur Charakterisierung klinischer CT-Systeme unter Einbeziehung von Bildqualität und Dosis <i>Development and implementation of concepts for characterisation of clinical CT systems considering image quality and dose</i> 3613S20007	190
Evaluierung neuer CT-Techniken und Bestimmung der mit ihnen erzielten Strahlenreduktion bei verschiedenen CT-Betreibern in Deutschland <i>Evaluation of dose reduction and image quality achieved during CT examinations in Germany using modern CT techniques</i> 3613S20025	193

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

SUBJECT AREA 03

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

Entwicklung kardiovaskulärer Erkrankungen nach Strahlenexposition mit niedrigen Dosen **198**
Development of cardiovascular diseases after low dose radiation exposure
3611S30022

THEMENBEREICH 04

MEDIZINISCHE STRAHLENEXPOSITION / RÖNTGENVERORDNUNG

SUBJECT AREA 04

MEDICAL RADIATION EXPOSURES / X-RAY ORDINANCE

Erfassung der Häufigkeit bildgebender Diagnostik im stationären Bereich **202**
Assessment of the frequency of diagnostic imaging in the hospital sector
3613S20020

THEMENBEREICH 06

NOTFALLSCHUTZ

SUBJECT AREA 06

EMERGENCY MANAGEMENT

Bewertung und Prognose der Weiterentwicklung eines radiologisch relevanten Ereignisses in einer kerntechnischen Anlage mit Hilfe der Abschätzung von Quelltermen auf Grundlage von Messdaten in der Umgebung **206**
Assessment and forecast of the development of a radiological incident in a nuclear facility using the estimation of source terms based on measured data in the vicinity
3612S60026

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 **210**
Update and evaluation of task-related exposure in nuclear facilities and other radiation relevant installations
3612S20001

Optimierung der Empfehlungen zu UV-Strahlung und Vitamin-D-Status durch wissenschaftliche Erfassung alltagsrelevanter Einflüsse auf die Realisierung eines optimalen Vitamin-D-Status bei minimierter solarer UV-Exposition **214**
Optimisation of recommendations to the public on UV radiation and vitamin D status by investigation of everyday life related influences in realisation of an optimal vitamin D status by minimisation of solar UV radiation
3612S70026

Quantitative Abschätzung des Strahlenrisikos unter Beachtung individueller Expositionsszenarien, Teil 2 **218**
Quantitative radiation risk assessment under consideration of individual exposure scenarios, part 2
3612S70030

Weiterentwicklung der Internet-Informationsplattform „EMF Portal“ und Ausbau zum WHO Kollaborationszentrum	221
<i>Advancement of the internet information platform "EMF Portal" and development into a WHO Collaboration Centre</i>	
3612S70033	
Untersuchungen zur Strahlenexposition der Augenlinse von beruflich strahlenexponiertem Personal	224
<i>Studies on the radiation exposure of the eye lens of radiation-exposed workers</i>	
3613S40011	
Aktualisierung und Migration der Internet-Plattform STORE von der Uni Cambridge ans BfS	227
<i>Update and migration of the internet platform STORE from University of Cambridge to BfS</i>	
3613S70035	
Überarbeitung der Strahlenschutzverordnung bez. der Regelungen zur Freigabe künstlicher radioaktiver Stoffe zur Umsetzung der neuen Euratom-Grundnormen in deutsches Recht - Konzept zur Umsetzung	230
<i>Revision of the radiation protection ordinance with respect to clearance of material with artificial contamination for the transposition of the new EURATOM Basic Safety Standards into German legislation - concept for implementation</i>	
3614R03520	
Überarbeitung der Strahlenschutzverordnung bez. der Freigrenzen von radioaktiven Stoffen zur Umsetzung der neuen EURATOM-Grundnormen in deutsches Recht	234
<i>Revision of the Radiation Protection Ordinance with respect to the exemption values for radioactive substances for the transposition of the new EURATOM Basic Safety Standards into German legislation</i>	
3614S70051	
THEMENBEREICH 08	
NICHTIONISIERENDE STRAHLUNG	
<i>SUBJECT AREA 08</i>	
<i>NON-IONISING RADIATION</i>	
Einfluss hochfrequenter elektromagnetischer Felder auf Gehirnaktivität, Schlaf und kognitive Leistungsfähigkeit älterer Frauen	240
<i>Effect of high frequency electromagnetic fields on brain activity, sleep and cognitive performance in elderly women</i>	
3614S30012	
Analyse des öffentlichen Diskurses zu gesundheitlichen Auswirkungen von Hochspannungsleitungen - Handlungsempfehlungen für die strahlenschutzbezogene Kommunikation beim Stromnetzausbau	243
<i>Analysis of public discourse on health effects of high voltage power lines - recommendations for radiation protection-related communication in current grid expansion</i>	
2014 BEGONNENE FORSCHUNGSVORHABEN, ZU DENEN NOCH KEINE ERGEBNISSE VORLIEGEN	
<i>Research projects initiated in 2014 of which results are not available yet</i>	
Validierung eines genomischen PCR-Verfahrens zum Nachweis von chromosomalen Translokationen zur Identifizierung prä-leukämischer Zellen bei Kindern - Pilotstudie	248
<i>Validation of a genomic PCR approach to detect chromosomal translocations to identify pre-leucemic cells in children - Pilot study</i>	
3614S30034	

Evaluation der Brustkrebsmortalität im deutschen Mammographie-Screening-Programm - Machbarkeitsstudie I und II	249
<i>Evaluation of the breast cancer mortality in the German mammography-screening-program - Feasibility study I and II</i>	
3610S40002	
3614S40002	
Ergänzung der Quelltermdatenbank des Entscheidungshilfesystems RODOS für Freisetzungen aus Brennelement-Lagerbecken in Kernkraftwerken	250
<i>Complement of the source term data bank of the decision support system RODOS for releases from spent fuel pools in nuclear power stations</i>	
3614S60033	
Internationaler Vergleich der rechtlichen Regelungen im nicht-ionisierenden Bereich	251
<i>International comparison of the statutory regulations governing non-ionising radiation</i>	
3614S80010	
Verzeichnis der Abbildungen und Tabellen	252
Abkürzungen	258
Kontaktadressen	259

ZUSAMMENFASSUNG

Das Bundesamt für Strahlenschutz (BfS) vergibt im Auftrag des Bundesministeriums 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 die Ergebnisse bzw. Zwischenergebnisse (in Form von Statusberichten) von Strahlenschutzvorhaben des BMUB-Umweltforschungsplans im Jahr 2014.

Vorbemerkung

Der Schutz von Mensch und Umwelt vor den Gefahren der ionisierenden und nichtionisierenden Strahlung ist eine der wichtigsten Aufgaben des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit und des Bundesamtes für Strahlenschutz. Diese 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 der Bevölkerung und für den Schutz beruflich strahlenexponierter Personen bei deren Berufsausübung. Diese Grenzwerte basieren auf wissenschaftlichen Erkenntnissen, die im Interesse eines möglichst umfassenden Strahlenschutzes ständig zu aktualisieren und dem neuesten 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 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 BMUB-Umweltforschungsplan 2014. 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 zu suchen und die Strahlenexposition durch geeignete Verfahren zu reduzieren.

Für die Abschätzung der Strahlenexposition von Einzelpersonen 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 2014

Im Folgenden wird über Ergebnisse 2014 abgeschlossener Forschungsvorhaben berichtet:

THEMENBEREICH 02 - STRAHLENSCHUTZTECHNIK

Ziel des Vorhabens „**Erstellung und Überarbeitung von technischen Normen für den Strahlenschutz und die Qualitätssicherung in der medizinischen Radiologie (3611S20006)**“ ist die Erstellung von Normen für die Qualitätssicherung von diagnostischen Röntgeneinrichtungen und strahlentherapeutischen Einrichtungen und für den Strahlenschutz von Patienten und Personal. Insgesamt waren 16 Einzelprojekte geplant. Von den Teilprojekten, die auf nationaler Ebene bearbeitet wurden, sind vier als Norm-Entwurf und ein Projekt als Norm veröffentlicht worden. Von den auf internationaler Ebene bearbeiteten Normprojekten wurden drei als deutsche Norm-Entwürfe veröffentlicht. Bei sieben Projekten besteht noch Klärungsbedarf technischer Sachverhalte. Die meisten Projekte sind aber insgesamt soweit gediehen, dass einer Veröffentlichung als Norm-Entwürfe im Jahr 2015 nichts entgegensteht. Ein Projekt wurde wegen des noch nicht ausreichend etablierten Standes der Technik eingestellt.

Die „**Ermittlung der Zuverlässigkeit von Dosiskoeffizienten für Radiopharmaka (3612S20013)**“ wurde mithilfe von statistischen Verfahren zur Unsicherheits- und Sensitivitätsanalyse durchgeführt. Dabei wurde festgestellt, dass unter den getroffenen Annahmen die anatomischen Eigenschaften der dosimetrischen Modelle den größeren Beitrag zur Unsicherheit der Dosiskoeffizienten liefern. Bei den Zielorganen, die gleichzeitig auch Quellorgane sind, tragen die biokinetischen Modellparameter und die dosimetrischen S-Faktoren

ähnlich zur Unsicherheit bei. Lediglich bei einem der sieben untersuchten Radiopharmaka (TI-201-Chlorid) sind die Unsicherheiten der biokinetischen Parameter die ausschlaggebenden Faktoren.

Im Rahmen des Vorhabens „**Untersuchung der Eignung von In-situ-Gammaspektrometern für den Nachweis von inkorporierten gammastrahlenden Radionukliden in nuklearen Notfallsituationen (3612S20014)**“ wurden ein elektrisch gekühlter, portabler Reinstgermanium (HPGe)-Detektor und eine Lanthanbromid (LaBr₃)-Messsonde für diesen Anwendungsbereich an einem Ziegelphantom getestet. Für die Bestückung des Phantoms wurden mehr als 1400 Stabquellen mit den Radionukliden Na-22, Na-24, Se-75, Mo-99/Tc-99m, Cs-137, Tm-170 und Hg-197 mit Aktivitäten zwischen 5 kBq und 90 kBq je Stab bei einer maximalen Toleranz von fünf Prozent je Radionuklid hergestellt. Diese decken mit ihren charakteristischen Gamma-Linien einen Energiebereich von 84 keV bis 2754 keV ab. Mit jedem dieser sieben Radionuklide wurden Kalibriermessungen mit dem St. Petersburger Ziegelphantom in den beiden Größen P4 und P5 für jeweils drei unterschiedliche Messgeometrien und vier unterschiedliche Aktivitätsniveaus durchgeführt und Effektivitätskurven bestimmt. Ergänzend wurden die Nachweis- und Erkennungsgrenzen nach DIN ISO 11929 für die Radionuklide Na-22, Mn-54, Fe-59, Co-57, Co-60, As-73, Se-75, Mo 99/Tc 99m, Sn-113/In-113m, I-131, Cs-134, Cs-137, Ba-133, Ir-192, Tl-204 und Am-241 berechnet. Die Nachweisgrenzen liegen im Bereich zwischen 1 kBq und 90 kBq, abhängig von der Phantomgröße und dem jeweiligen Radionuklid. Zusätzlich wurden die Grenzen des Einsatzes eines Portalmonitors und einer Dosisleistungsmesssonde für den Anwendungsbereich aufgezeigt.

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

Ziel des Vorhabens „**3D/4D Architektur von chromosomalen Bruchpunktregionen in Zellkernen nach Bestrahlung von Krebs- und nicht-Krebszellen (3610S30015)**“ war es, ein mechanistisches mikro-/nanoskaliges Modell der Strahlenwirkung auf Chromatin zu entwickeln und entsprechende Schlussfolgerungen für Strahlenschutz und Strahlentherapie zu ziehen. So konnte gezeigt werden, dass DNA - Reparatur mit systematischen strukturellen Veränderungen des Chromatins einhergeht. Auf der Mikroskalenebene führt bei hoher Dosis eine Umordnung und Separation des Genoms, bei Umgehung der Apoptose, über Polyploidisierung und Depolyploidisierung zu einer erneuten Bildung diploider Zellen. Auf der Nanoskalenebene kommt es zu einer Entpackung und Rückverpackung von Heterochromatin während der Reparatur. Neben der Nanostruktur von Foci konnte deren Dynamik erfasst werden. Es zeigte sich nach Ionen-Mikrobestrahlung eine unterschiedlich schnelle Rekrutierung der Reparaturproteine und anschließend ein eindeutig subdiffusives Verhalten der Foci. Darüber hinaus konnte gezeigt werden, dass die Translokationsbildung in der G1-Phase von CtIP vermittelter Resektion abhängt und eine Reparatur dieser DSB über c-NHEJ mit erhöhter Translokationsbildung erfolgt. Die erzielten experimentellen Ergebnisse erlaubten eine systematische Erweiterung der Computersimulationsmodelle (PARTRAC) um die Strukturebene Hetero-/Euchromatin; das DNA-Reparaturmodell wurde zu einem spurstrukturbasierten Chromosomenaberrationsmodell entwickelt sowie ein daran gekoppeltes γ -H2AX-Focimodell konzipiert. Dies erlaubt eine Verbesserung der resultierenden Vorhersagen.

Ziel des Projektes „**Bestimmung und Validierung strahleninduzierter Genveränderungen in Brusttumoren zur verbesserten Brustkrebsrisikoabschätzung nach Exposition mit ionisierender Strahlung (3611S30019)**“ war der Nachweis von strahlenassoziierten molekularen Markern in Brustkrebsfällen, die nach Strahlenexposition durch den Reaktorunfall in Tschernobyl in Liquidatorinnen entstanden sind. Marker aus der Pilotstudie sollten anhand eines Validierungskollektivs überprüft werden. Es konnte eine Validierungskohorte von 100 Fällen zusammengestellt werden, von denen Paraffingewebe verfügbar waren. Die Dosisrekonstruktion konnte von 25 exponierten Fällen abgeschlossen werden. Es wurden drei strahlenassoziierte miRNAs identifiziert und validiert, die in exponierten Fällen signifikant überexprimiert waren und die Expression des TRPS-1-Gens regulieren. Der wichtigste Befund des gesamten Projekts war eine strahlenassoziierte verringerte Expression des TRPS-1-Proteins in Tumoren von exponierten Patientinnen, das damit einen potenziellen Strahlenmarker in Mammakarzinomen darstellt. Darüber hinaus konnte auch ein Muster von genomischen Kopienzahlveränderungen identifiziert werden, das mit exponierten Fällen korrelierte. Strahlenassoziierte Expressionsänderungen von RET und HAS2 konnten hingegen nicht bestätigt werden.

Ziel der Studie „**Pilotstudie für eine epidemiologische Studie zur Untersuchung des Zusammenhangs von Strahlenbelastung und Katarakterkrankung (3611S30021)**“ war die Erprobung der Durchführbarkeit

einer epidemiologischen Studie zur Untersuchung der Dosis-Wirkungsbeziehung zwischen einer Exposition durch ionisierende Strahlung im niedrigen Dosisbereich unter 500 mSv und der Häufigkeit von Linsentrübungen bei interventionellen Kardiologen, Radiologen und Neuroradiologen in Deutschland. In zwei Studienregionen wurden seit mindestens 5 Jahren interventionell arbeitende und als Vergleichsgruppe nicht strahlenexponierte Ärztinnen und Ärzte rekrutiert. Von 263 eingeladenen Exponierten konnten 41 eingeschlossen werden, von 129 eingeladenen Nicht-Exponierten wurden 17 eingeschlossen. Mit einer schriftlichen Befragung wurden Angaben zu Risikofaktoren für Katarakt und zur beruflichen, interventionellen Tätigkeit, d. h. Umfang und Art der fluoroskopischen Prozeduren, der Strahlungsquellen und Schutzeinrichtungen erhoben. Die Augenlinse wurde mittels Spaltlampe und Scheimpflugkamera untersucht. Die Prävalenz größtenteils geringer Trübungen in unterschiedlichen Regionen der Augenlinse, hauptsächlich im Kernbereich, lag in der Gruppe der Strahlenexponierten bei 52 % (95 % CI: 30-74 %), bei den nicht Strahlenexponierten bei 31 % (95 % CI: 9-61 %). Bei der Durchführung einer epidemiologischen Studie in Deutschland ist wegen der in ihrem Beruf zeitlich stark ausgelasteten Ärzte für Rekrutierung, Befragung und Augenuntersuchung ein langer Studienzeitraum einzuplanen.

Die akute lymphoblastische Leukämie (ALL) des Kindesalters ist gekennzeichnet durch rekurrente chromosomale Translokationen, die bereits in utero in präleukämischen Zellen auftreten. Eine frühere Studie deutete an, dass solche präleukämischen Zellen um den Faktor 100 häufiger in gesunden Neugeborenen auftreten als anhand des tatsächlichen Auftretens der ALL bei Kindern zu erwarten wäre. Dieser Befund konnte bisher nicht bestätigt werden, würde jedoch stark darauf hinweisen, dass für die Entstehung einer Leukämie sekundäre onkogene Ereignisse stattfinden müssen. Um die tatsächliche Frequenz Translokations-tragender, präleukämischer Zellen in Neugeborenen zu bestimmen, ohne den genauen DNA-Bruchpunkt zu kennen, wurde eine PCR basierte Methode („genomische inverse PCR für die Exploration ligierter Bruchpunkte“, GIPFEL) entwickelt. In einer verblindeten, ersten proof-of-principle Studie zum **„Nachweis von chromosomalen Translokationen durch genomische PCR zur Identifizierung prä-leukämischer Zellen bei Kindern - Pilotstudie zur Entwicklung und Validierung geeigneter Sonden (3612S70019)“** mit 145 primären ALL-Proben von Kindern konnte gezeigt werden, dass GIPFEL 100 % spezifisch ist (keine Detektion falsch-positiver Signale). Die Genauigkeit lag bei 83 %, 65 %, 24 %, 64 % bzw. 39 % für die Detektion der Translokationen MLL-AF4, MLL-AF9, MLL-ENL, ETV6-RUNX1 und TCF3-PBX1. Die Sensitivität lag zwischen 10^{-3} und 10^{-4} . GIPFEL ist ein nützliches Screening-Werkzeug und wird für Populations-basierte Screenings evaluiert werden.

Im vorliegenden Projekt **„Sequenzielle Exposition durch UVB- und UVA-Strahlung: Bedeutung für DNA-Schädigung, Reparatur, Gen-Expression und epigenetische Regulation in menschlichen Hautzellen (3613S30042)“** wurde die Wirkung sequenziell kombinierter UV-Strahlenqualitäten im Vergleich zu singulärer Bestrahlung untersucht. Durch UVA-Vorbestrahlung wurde die Reparatur von UVB- und SSUV (solare UV-Strahlung)-induzierten Schäden verlangsamt. Auf epigenetischer Ebene konnte für die globale DNA-Methylierung kein UV-induzierter Effekt nachgewiesen werden. Für die genspezifische Promotormethylierung zeigten sich unabhängig vom Bestrahlungsprotokoll vielfältige UV-induzierte Effekte, besonders häufig für P16^{INK4a} und HIC1. Für die Expression von microRNAs wurden, unabhängig vom Bestrahlungsprotokoll, überwiegend tumorsuppressive Effekte beobachtet. Allerdings traten auch onkogene Effekte auf. Die Daten weisen darauf hin, dass durch singuläre und sequenzielle UV-Bestrahlung dynamische epigenetische Prozesse angestoßen werden, die sich im Laufe der Tumorentstehung manifestieren und schließlich im Tumor zu einem charakteristischen epigenetischen Muster führen.

THEMENBEREICH 04 - MEDIZINISCHE STRAHLENEXPOSITION / RÖNTGENVERORDNUNG

Der Projektauftrag **„Untersuchung des Brustkrebsrisikos nach Radioiodtherapie eines Schilddrüsenkarzinoms bei Jugendlichen und jungen Frauen (3611S40006)“** beinhaltet die Planung und Durchführung einer Machbarkeitsstudie (Pilotstudie) mit jungen weißrussischen Schilddrüsenkrebspatientinnen nach Radioiodtherapie (RIT), um die Rahmenbedingungen einer prospektiven Langzeitstudie einer größeren Patientenkohorte zu ermitteln und zu prüfen. Ziel war die Einschätzung des Brustkrebsrisikos als Zweitmalignom nach RIT eines Schilddrüsenkarzinoms. Der gegenwärtige relevante Stand von Wissenschaft und Technik wurde unter anderem in einem systematischen Literaturreview ermittelt. Die Ergebnisse der Planung und Vorbereitung der Machbarkeitsstudie beinhalteten die Entwicklung von Fragebögen zur Erfassung der für die Bestimmung des Brustkrebsrisikos relevanten Daten, die Auswahl von in Frage kommenden klinischen, Labor- oder bildgebenden Untersuchungsmethoden, die Etablierung entsprechender Qualitätssicherungsprogramme sowie die Anpassung der bereits bestehenden Datenbank an die neue Fragestellung. Für die geplante

Hauptstudie wurden sechs geeignete nationale und internationale Patienten- und Kontroll-Kohorten ermittelt. Die Charakteristika der Kohorten wurden beschrieben und bewertet und zum Vergleich tabellarisch dargestellt. Zudem wurde die primäre statistische Analyse und Fallzahlberechnung beschrieben. Abweichend vom ursprünglichen Zeitplan wurde der Haltepunkt verschoben und der Zeitrahmen für die Identifizierung der Kohorten für die Hauptstudie und für die Kontaktaufnahme mit den Studienzentren überschritten. Daher konnte mit der Pilotstudie in dem vorgegeben Zeitrahmen des Projekts nicht begonnen werden und das Forschungsvorhaben wurde nach dem Haltepunkt beendet.

Die „**Etablierung eines IT-gestützten Verfahrens zur Erfassung von Untersuchungsparametern (IVEU) durch die Ärztlichen Stellen und deren Übermittlung an das BfS und Auswertung der erhobenen Daten im Rahmen einer Querschnittsstudie (3611S40008)**“ ermöglicht die Übernahme von Inhalten aus DICOM-Headern, CT-Dosisreports und -Dose SR sowie anderen Systemen in eine „PostgreSQL“ - Datenbank und deren Auswertung, insb. durch das Data Mining Tool „Rapid Miner“. Module unterstützen den Workflow und führen u. a. regelbasierte Klassifikationen der Untersuchungsarten und automatisierte Zuordnungen zu Institutionen durch. In Tests und in der Querschnittsstudie zu Überprüfungen der Ärztlichen Stelle Hessen in den Jahren 2013 und 2014 konnten die Funktionsfähigkeit von IVEU einschließlich der Datenübermittlung an das BfS und eine vorgabenkonforme Strahlenanwendung in Hessen gezeigt werden. Die Vorteile und die aktuellen Einschränkungen bei automatisierten Auswertungen werden analysiert.

THEMENBEREICH 05 - RADIOÖKOLOGIE

Das bisher in der Allgemeinen Verwaltungsvorschrift zu § 47 StrlSchV und in den Störfallberechnungsgrundlagen zu § 49 StrlSchV bei der Ausbreitungsrechnung eingesetzte Gauß-Fahnenmodell soll mittelfristig durch ein Lagrangesches Partikelmodell ersetzt werden. Inzwischen steht das Atmosphärische Radionuklid-Transport-Modell (ARTM) zur Verfügung, mit dem die Ausbreitung betrieblicher Ableitungen aus kerntechnischen Anlagen simuliert werden kann. Das Forschungsvorhaben „**Ergänzende Untersuchungen zur Validierung des Atmosphärischen Radionuklid-Transport-Modells (ARTM) (3612S50007)**“ diente einerseits der weiteren systematischen Validierung von ARTM. Andererseits wurden Weiterentwicklungen des Standes von Wissenschaft und Technik verfolgt, untersucht und in das Modellsystem integriert, sofern dies sinnvoll und umsetzbar war. Das Ausbreitungsmodell sowie die Benutzeroberfläche wurden weiterentwickelt und optimiert. Das Programmpaket wurde Anwendern zum freien Download zur Verfügung gestellt.

THEMENBEREICH 06 - NOTFALLSCHUTZ

Das Augenmerk des Vorhabens lag auf der „**Fortschreibung des Szenarienkatalogs für behördliche Notfallübungen (3611S60006)**“, der von der GRS bereits erarbeitet war. Zwei ausgewählte Szenarien wurden als Übung vorbereitet und durchgeführt. Eine Tabletop-Übung wurde im Februar 2014 mit dem Bundesamt für Strahlenschutz (BfS) durchgeführt, als Szenario wurde ein Transportunfall mit anschließendem Brand und daraus resultierender Freisetzung radioaktiver Stoffe geübt. Die zweite Übung war die Stabsrahmenübung CORE 2014, an der die Lagezentren des BfS, die Stäbe des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit (BMUB) mit Unterstützung des Bayerischen Landesamtes für Umwelt (LfU) und die Referenzanlage sowie das GRS-Notfallzentrum beteiligt waren.

Ziel des Vorhabens „**Weiterentwicklung der aero-gammaspektrometrischen Messsysteme des BfS und Anpassung der Mess- und Auswertverfahren an die Anforderungen des Notfallschutzes (3611S60013)**“ war es, mit Hilfe von Modellrechnungen und einer verbesserten Kalibrierung die Einflüsse auf aero-gammaspektrometrische Messungen zu quantifizieren. In einer Literaturrecherche wurden Veröffentlichungen über Detektoren und Messsysteme, Einflüsse auf den Kalibrierfaktor und einzelne Verfahren zur Bestimmung von Kalibrierfaktoren und zur Analyse von Messdaten aufgeführt. Es wurde ein Programm zur Modellierung der Geometrien für am Boden verteilte Radionuklide und zur Berechnung von Geometriefaktoren erstellt sowie am im Hubschrauber eingebauten Messsystem eine Kalibrierung mit den Radionukliden Cs-137 und Co-60 unter Berücksichtigung von verschiedenen Füllständen des Haupttanks durchgeführt. Mit Hilfe des Programms und den Kalibrierdaten wurden beispielhaft charakteristische Grenzen für die Messung eines Cs-137-Punktstrahlers berechnet. Für das Beispiel der Suche einer Cs-137-Punktquelle wurde eine optimierte Suchstrategie entwickelt und vorgestellt. Schließlich wurde eine Methode theoretisch entwickelt und durch

Daten aus Messflügen über Bodenkontaminationen validiert, mit der Kontaminationen in der Luft und am Boden aus den Messdaten der verschiedenen Detektoren selbst unterschieden werden können.

Im Forschungsvorhaben „**Erprobung alternativer, situationsangemessener Kommunikationsstrategien für den nuklearen Notfallschutz mittels eines web-basierten Informations- und Kommunikationsforums (3611S70004)**“ wurde mittels diverser Analysen und der Erprobung einer selbst erstellten Website Verbesserungspotenzial für die Risiko- und Krisenkommunikation über das Internet ermittelt. Hierzu wurde eine Analyse bestehender Informationsportale deutscher und ausländischer behördlicher Websites mit einer Abfrage der Betreiber dieser Websites verbunden, um möglichst viele Informationen zu erhalten. Darauf aufbauend wurde eine Informationswebsite erstellt, die im Rahmen eines Evaluationsexperiments getestet wurde. Aus der Kombination dieser Arbeitsschritte verbunden mit einer intensiven Literatur- und Internetrecherche ergaben sich Empfehlungen für web-basierte Risiko- und Krisenkommunikation in administrativen, technischen und darstellenden Bereichen. Diese stellen zum größten Teil ermittelte „Best Practices“ für das jeweilige Themengebiet dar.

Vom 07. bis 09. Mai 2014 fand in Würzburg das „**14. Koordinierungs- und Planungstreffen der WHO-REMPAN-Kollaborationszentren und Liaison Institutionen in Würzburg im Jahr 2014 (3614I02275)**“ statt. Gastgeber der Tagung war das WHO-REMPAN-Kollaborationszentrum für medizinische Vorsorge und Hilfe bei Strahlenunfällen Würzburg, das die Tagung in Kooperation mit dem WHO-Hauptbüro organisierte. Insgesamt wurden an drei Tagen in 11 Sitzungen 63 Vorträge präsentiert. Einen Schwerpunkt des Programms bildeten die Auswirkungen und die Bewältigung des Reaktorunfalls in Fukushima im Jahr 2011. Das weitere breite Themenspektrum reichte von der Risikokommunikation, Konzepten und Kooperationen im Bereich der Notfallvorsorge über die Themen Schilddrüse und Strahlung, Forschung und Entwicklung auf dem Gebiet der Strahlenbiologie und Biodosimetrie bis zu Training und Übung sowie der Vorstellung von unterschiedlichen Behandlungskonzepten. Nahezu 100 Teilnehmer aus 26 Ländern besuchten die Tagung, die dem internationalen Expertenkreis einen umfassenden Überblick über den aktuellen wissenschaftlichen Stand der Strahlenunfallvorsorge und des -managements vermittelte. Die Ergebnisse der Tagung werden in einem Tagungsband publiziert und sind damit einem größeren Interessentenkreis zugänglich.

THEMENBEREICH 07 - VORHABEN MIT ALLGEMEINER BEDEUTUNG FÜR DEN STRAHLENSCHUTZ

Das Projekt „**Überarbeitung von technischen Strahlenschutznormen aus dem Bereich des Normenausschusses Materialprüfung (3611S20005)**“ hatte zum Ziel, verschiedene Normen zu überprüfen und dem Stand der Technik anzupassen. Dies bedeutete u. a. die Änderungen der Strahlenschutzverordnung, der Röntgenverordnung, des kerntechnischen Regelwerks und die Änderungen der Internationalen Normung (ISO 361, ISO 11929) zu berücksichtigen. Die Überarbeitung konnte in den meisten Fällen erfolgreich im vorgegebenen Zeitraum abgeschlossen werden, jedoch werden einige Arbeiten noch weitergeführt und 2015 mit der Herausgabe der betroffenen Normen beendet.

Ziel des Vorhabens „**Bestimmung von Nuklidvektoren und Verteilung von Masse und Aktivität als Funktion der Aerosolpartikeldurchmesser in der Fortluft bei im Rückbau befindlichen kerntechnischen Anlagen (3611S70018)**“ war es, detaillierte Informationen zur potenziellen Änderung der Partikelgrößen- und Aktivitätsverteilung während Rückbaumaßnahmen zu erlangen. In einer Literaturrecherche wurden Veröffentlichungen über Arbeitsmethoden im Rahmen von Rückbauarbeiten, über Erkenntnisse zur Größenverteilung von Aerosolpartikeln für verschiedene Arbeitsmethoden aus dem konventionellen Bereich, über Filtermethoden sowie über Nuklidvektoren ausgewertet. Als weiteres Arbeitspaket wurden Messungen von Aerosolpartikelverteilungen und von auf den Partikeln vorhandenen Nukliden unter drei Bedingungen durchgeführt. Es wurden Partikel bei Zerlegearbeiten in der Abluft nach einem Filtermobil, in der Raumluft des Reaktorgebäudes und in der ungefilterten Abluft bei Zerlegearbeiten an gering oberflächenkontaminierten Bauteilen gesammelt. Dabei waren nach dem Filtermobil keine radioaktiven Stoffe nachweisbar, ein elementspezifischer Nachweis mittels ICP-MS war auf Grund der guten Filterwirkung des Filtermobils ebenfalls nicht möglich. Daher wurden die Vorgaben des Forschungsvorhabens für die restlichen Messkampagnen in Abstimmung mit dem BfS angepasst. Im weiteren Verlauf wurde auf Messungen in der Gesamtfortluft verzichtet, da dort ein Einfluss von Partikeln, die bei Zerlegearbeiten entstehen, auf die Partikelverteilung nicht nachweisbar gewesen wäre. Bei den Raumluftmessungen wurden Massenkonzentrationen im Bereich typischer Außenluftkonzentrationen ermittelt. Radioaktive Stoffe auf Filtern, die in der Abluft während Zerlegearbeiten an gering

kontaminierten Teilen bestaubt worden waren, wurden bestimmt und eine Aktivitätsverteilung gefunden, welche die gleiche Signatur wie die Massenverteilung zeigt.

Sechs ehemals militärisch genutzte Flächen unterschiedlicher Armeen und Truppengattungen in verschiedenen Bundesländern wurden im Vorhaben „**Radiologische Altlasten auf ehemaligen militärischen Liegenschaften - Erkundungen an ausgewählten Standorten (3612S70023)**“ gezielt hinsichtlich möglicher radioaktiver Kontaminationen erkundet. Ausgehend von historischen Erkundungen zu bestehenden radiologischen Verdachtsmomenten wurden in Zusammenarbeit mit dem BfS Standortbegehungen und gezielte Beprobungen durchgeführt. Konkreter Verdacht mit Gefahrenrelevanz bestand für ehemalige Raketen-Zielgebiete, unbefestigte Biwak-Plätze, Gefechts- und Beobachtungsstände oder -stellungen sowie ABC (atomare, biologische und chemische Kampfmittel) -Übungsplätze der Nationalen Volksarmee (NVA) und der russischen Westgruppe der Truppen (WGT) für Dekontaminationsübungen in Ostdeutschland. Aus radiologischer Sicht sind die langlebigen Nuklide Thorium-232, Uran-238 und Radium-226 sowie die Standorte, die von 1950 - 2000 einer entsprechenden intensiven/langjährigen Nutzung unterlagen, von Bedeutung. Es besteht insgesamt nur ein geringes Gefährdungspotential. Ein sicherer Ausschluss radiologischer Gefährdungen ist jedoch nur durch Rastermessungen/-beprobungen möglich.

Das Projekt „**Evaluation und Weiterentwicklung von Kommunikationsstrategien in neuen Medien für eine zielgruppengerechte und permanente Präsentation radiologischer Messwerte aus dem Ortsdosisleistungs-Messnetz in Deutschland (3612S70024)**“ verfolgte zwei Ziele: Es stellte in einem ersten Schritt die Frage, wie die gegenwärtige Praxis der Messwertepäsentation im Internet und deren Rezeption in der Bevölkerung zu bewerten ist (Arbeitspakete 1 bis 3: Analyse und Dokumentation vorhandener Informationskanäle und Inhalte). In einem zweiten Schritt wurden bestehende Ansätze und Formate zur Darstellung im Internet weiterentwickelt, um die Ergebnisse des ODL-Messnetzes des BfS optimal der Öffentlichkeit zu vermitteln (Arbeitspakete 4 bis 6: Analyse, Ergebnisdokumentation und Erarbeitung zukünftiger Handlungsoptionen zur gezielten Nutzung der Website).

Im Forschungsvorhaben „**Evaluierung des messbaren Nutzens für die Solarienbesucher durch die UV-Schutz-Verordnung, insbesondere die Unterweisung durch qualifiziertes Personal in Solarien (3612S70031)**“ wurde eine zweimalige telefonische Befragung von Solariennutzerinnen und -nutzern durchgeführt. Die erste Erhebungswelle im Winter 2012/2013 hatte zur Aufgabe, Basisdaten über die Solariennutzung, den Kenntnisstand der Nutzerinnen und Nutzer, ihre Risikowahrnehmung sowie die bisherige Beratung vor Inkrafttreten des § 4 Absatz 1 der UV-Schutz-Verordnung bereitzustellen. Im Frühjahr 2014 wurde im Rahmen der zweiten telefonischen Befragung untersucht, ob nach Inkrafttreten des besagten Paragraphen messbare Veränderungen in diesen Parametern erkennbar sind. Die Ergebnisse lassen keine maßgeblichen Veränderungen der Nutzerberatung hinsichtlich der Häufigkeit und der thematisierten Inhalte aus Sicht der Solariennutzerinnen und -nutzer erkennen. Für das Verhalten, die Information und Einstellungen der Solariennutzerinnen und -nutzer sind Trends über die Zeit zu erkennen. Diese treffen zumeist auf die Gesamtstichprobe der Nutzerinnen und Nutzer zu, sind aber nicht auf die Beratung alleine zurückführbar.

Beim Projekt „**Machbarkeitsstudie zum Aufbau einer Geburtskohorte und zur Überprüfung genetischer Prädisposition bei kindlichen Leukämien - Folgebefragung (3613S70020)**“ handelt es sich um eine Fortführung der bereits vom Leibniz-Institut für Präventionsforschung und Epidemiologie - BIPS durchgeführten Machbarkeitsstudie gleichen Titels (LeuBiCo-Studie). Im Zuge der Weiterführung des Projektes wurde die Bereitschaft der Teilnehmerinnen untersucht, postnatal an einer Folgebefragung teilzunehmen sowie eine alternative webbasierte Erhebungsmethode entwickelt und getestet. Um zu testen, ob eine Aufwandsentschädigung die Teilnahmebereitschaft erhöht, wurde die Response mit und ohne Incentive getestet. Auf Basis der praktischen Erfahrungen und zusammen mit den beteiligten Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftlern wurden darüber hinaus Empfehlungen für eine mögliche nationale Geburtskohorte erarbeitet.

THEMENBEREICH 08 - NICHTIONISIERENDE STRAHLUNG

Die internationale Fall-Kontroll-Studie MOBI-Kids untersucht einen möglichen Zusammenhang zwischen Umweltfaktoren wie der Nutzung von Mobiltelefonen und der Entstehung von Hirntumoren bei jungen Menschen. Im Rahmen der „**Erweiterungsstudie zu multinationaler Fall-Kontroll-Studie zu Hirntumoren durch Radiofrequenzstrahlung bei Kindern und jungen Erwachsenen (MOBI-Kids) (3609S30010)**“ in Deutschland wurden zusätzliche Populationskontrollen rekrutiert. Außerdem wurden Dosimetermessungen zur Bestimmung der objektiven Exposition gegenüber elektromagnetischen Feldern des Mobilfunks durchgeführt. Zwischen Oktober 2010 und Juni 2014 nahmen 229 Populationskontrollen zwischen 10 und 24 Jahren (Teilnahmebereitschaft: 22 %), die nach Alter, Geschlecht und Wohnort zu den Fällen der MOBI-Kids-Studie gematcht wurden, an einem persönlichen Interview zur Mobilfunknutzung teil. Zusätzlich wurde bei 24 Studienteilnehmern aus dem Raum München (Teilnahmebereitschaft: 44 %) eine 24-stündige Messung mittels Personendosimetern durchgeführt. 81 % der befragten Probanden gaben an, mindestens einmal pro Woche ein Mobiltelefon zu nutzen. Die durchschnittliche kumulative Nutzung über die bisherige Lebenszeit betrug 2509 Telefonate und 314 Stunden Anrufzeit. Aktuell berichteten die Teilnehmer im Mittel 48 Telefonate und 6,3 Stunden Anrufzeit pro Monat. Bei den Teilnehmern der Dosimetermessung lag die mittlere Exposition über 24 Stunden bei 0,20 % des gültigen Grenzwerts.

In der tierexperimentellen Studie „**Tumorpromotion durch hochfrequente elektromagnetische Felder in Kombination mit kanzerogenen Substanzen - synergistische Wirkungen (3611S30017)**“ sollten mögliche tumorpromovierende Effekte hochfrequenter elektromagnetischer Felder des UMTS-Standards (1,97 GHz) untersucht werden. Eine Pilotstudie von Tillmann et al. (2010) berichtete von tumorpromovierenden Effekten hochfrequenter elektromagnetischer Felder. Diesen Ergebnissen sollte nachgegangen werden. Es wurde eine Replikationsstudie mit höheren Tierzahlen pro Gruppe und zwei zusätzlichen Expositionsstärken (SAR 0, 0,04, 0,4 und 2 W/kg) durchgeführt. Die Ergebnisse der Pilotstudie von Tillmann et al. konnten im Wesentlichen bestätigt und ausgeweitet werden. Die Anzahl von Tumoren in der Lunge und in der Leber war in den mit ENU + UMTS behandelten Gruppen signifikant höher als bei den scheinexponierten Tieren. Zusätzlich wurden signifikant erhöhte Lymphomraten durch die Exposition festgestellt. Es fehlt eine klare Dosis-Wirkungsbeziehung. Es wird vermutet, dass die tumorpromovierenden Effekte durch metabolische Auswirkungen der Exposition verursacht sein könnten. Da viele der Effekte bei geringen bzw. mittleren Expositionsstärken beobachtet wurden, unterhalb der Grenzwerte für Nutzer von Mobiltelefonen, sind weitere Studien notwendig, um die zu Grunde liegenden Mechanismen zu untersuchen.

Das Pilotprojekt „**Einfluss hochfrequenter elektromagnetischer Felder auf Gehirnaktivität, Schlaf und kognitive Leistungsfähigkeit älterer Personen beiderlei Geschlechter - Pilotstudie (3613S30012)**“ diente der Vorbereitung eines Forschungsvorhabens zum Einfluss elektromagnetischer Felder nach GSM- und TETRA-Standard auf die Gehirnaktivität im Wachzustand und im Schlaf sowie die kognitive Leistungsfähigkeit älterer Personen. In diesem Pilotprojekt wurde eine Expositionsanlage entwickelt, die Literaturübersicht zum Thema wurde aktualisiert, wobei insbesondere alters- und geschlechtsspezifische Unterschiede in Effekten berücksichtigt wurden, und es wurde ein Ethikvotum eingeholt.

Im Projekt „**Darstellung der technischen Möglichkeiten zur Minimierung elektrischer und magnetischer Felder von Niederfrequenz- und Gleichstromanlagen nach dem Stand der Technik**“ (3614S80020) werden die technischen Möglichkeiten zur Minimierung elektrischer und magnetischer Felder (0 Hz, 16,7 Hz und 50 Hz), die von den Übertragungs- und Verteilnetzen für elektrische Energie sowie der Bahnenergieversorgung mit einer Nennspannung von 1000 Volt oder mehr ausgehen, dargestellt. Dazu wurde die internationale Literatur zum Thema zusammengetragen und ausgewertet. In einem Fachgespräch diskutierten ausgewiesene Experten für Netz- und Leitungstechnik die bestehenden Minimierungsoptionen elektrischer und magnetischer Felder hinsichtlich ihrer Implementierung in die nationalen Übertragungs- und Verteilnetze.

THEMENBEREICH 09 - DEUTSCHES MOBILFUNK-FORSCHUNGSPROGRAMM

Ziel des Vorhabens „**Einfluss hochfrequenter Felder des Mobilfunks auf das blutbildende System in vitro (FM8851)**“ war es zu untersuchen, ob das hämatopoetische System durch Mobilfunkfelder beeinflusst werden kann. Hierfür wurden HL-60-Zellen und hämatopoetische Stammzellen in einer Mikro-Transversal-Elektromagnetischen-Zelle exponiert (GSM, UMTS und LTE). Zu den biologischen Endpunkten gehörten oxidativer Stress, Differenzierung, DNA-Reparatur, Zellzyklus, DNA-Schaden, Histonacetylierung und Apoptose. Insgesamt konnten keine relevanten Änderungen der unterschiedlichen Endpunkte als Folge der Befeldung festgestellt werden. Eine statistisch signifikante Reduzierung des DNA-Schadens und variable Ergebnisse der Untersuchungen zur Differenzierung bedürfen jedoch der weiteren Abklärung.

Das Vorhaben „**Untersuchung der Möglichkeiten des besseren Wissenstransfers/Wissensmanagements - im Hinblick auf das DMF-Forschungsprogramm - über Generationen hinweg bzw. über Themenzyklen/Aufmerksamkeitszyklen hinweg (FM8853)**“ hatte das Ziel, ein Konzept für ein Wissensmanagement im Bundesamt für Strahlenschutz zu entwickeln, das heißt, eine machbare, effiziente Form der Wissensverwaltung und -aufbereitung zu finden, die einen besseren Wissenstransfer über Generationen hinweg beziehungsweise zu wiederkehrenden Themen- und Aufmerksamkeitszyklen im Hinblick auf das Deutsche Mobilfunk Forschungsprogramm (DMF) erlaubt. Ziel war es dabei, die Forschungsergebnisse des DMF und das dahinter liegende Wissen von Personen, Projekten und Prozessen zu erfassen. Darauf aufbauend wurden Empfehlungen erarbeitet, um die künftige Bewertung bestimmter Aspekte sicherzustellen. Auch soll dadurch perspektivisch die Einarbeitungszeit in das DMF verkürzt werden, die derzeit geschätzte zwölf Wochen in Anspruch nimmt.

Das Projekt diente der „**Erstellung einer weiterführenden Broschüre zur Ergänzung der Handreichung zur Beurteilung von Studienergebnissen (FM8862)**“. Als Grundlage diente der bestehende Leitfaden, der im Rahmen des Vorgängerprojektes "Erstellung einer praxisorientierten Handreichung zur Beurteilung von Studienergebnissen für Mitarbeiter von Kommunalverwaltungen" entstanden ist. Der Leitfaden bietet Personen, die in ihrem beruflichen Umfeld als Ansprechpartner bei Fragen zum Themenfeld der Mobilfunktechnologie und Gesundheit agieren (zum Beispiel in Kommunen oder Behörden) eine Möglichkeit zur qualitativen Prüfung von Texten. Sein Ziel ist es, Anwendern mittels eines Fragenkatalogs eine schnelle und effiziente Beurteilung von Texten zu ermöglichen. Diese rein funktionell angelegte Vermittlung schließt gleichzeitig tiefergehende Informationen aus. Die Broschüre setzt an dieser Stelle an und stellt seinem Nutzerkreis weiterführende Erläuterungen zur optionalen Anwendung bereit. Der entwickelte Broschüren-Entwurf wurde zusammen mit dem bereits bestehenden Leitfaden einem Praxistest unterzogen, an dem 21 zielgruppenspezifische Probanden teilnahmen. Nach Auswertung der Evaluationsergebnisse wurde die Broschüre inhaltlich und gestalterisch angepasst.

Summary

On behalf of the 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 BMUB's Environmental Research Plan for the year 2014.

Preface

Protecting man and the environment from the risk of ionising and non-ionising radiation is one of the most important responsibilities assigned to the Federal Ministry for the Environment, Nature Conservation, Building and Nuclear Safety (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 measurement 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 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 is ruled by the principle of not adopting any action or practice leading to artificial exposure unless it is justified (so-called Principle of Justification) and at the same time keeping radiation exposure of justified activities and practices as low as reasonably achievable (Principle of Optimisation). Both principles are stipulated in the Radiation Protection Ordinance. The observance of these principles will be controlled.

Since man-made radiation exposure of the public is mainly made up of **medical radiation exposure** from diagnostic procedures, this latter is another focal point of the BMUB Environmental Research Plan (Umweltforschungsplan) 2014. 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 2014 will be reported:

SUBJECT AREA 02 - RADIATION PROTECTION TECHNIQUES

Aim of the project „**Preparation and revision of technical standards for radiation protection and quality assurance in medical radiology (3611S20006)**“ was the preparation of standards for quality assurance of the equipment of diagnostic X-ray and radiotherapy facilities and for the radiation protection of patients and medical staff. A total of 16 individual sub-projects were planned. The drafts (for voting) of four national standards and one finalised national standard could be published. Three international standards could be published as German draft for voting. Technical aspects have still to be clarified in seven sub-projects. The drafts (for voting) of most, still pending sub-projects will be published in 2015. One project was cancelled because of not yet sufficiently established state of the art.

The „**Assessment of the reliability of dose coefficients for radiopharmaceuticals (3612S20013)**“ was executed by means of statistical methods of uncertainty and sensitivity analysis. It turned out that, under the given assumptions, the greater contribution to the uncertainty of the dose coefficients is ascribable to the anatomical characteristics of the dosimetric models. The contribution of the parameters of the biokinetic model is similar to that of the dosimetric S-Factors for those target organs, which are simultaneously also source organs. The biokinetic parameters are the critical factors only for one of the seven radiopharmaceuticals analysed, TI-201-Chloride.

Within the scope of the project „**Investigations on the applicability of in-situ gamma spectrometers for the detection of incorporated gamma-ray emitting radionuclides in nuclear emergency situations (3612S20014)**“ an electro-cooled, mobile high purity Germanium (HPGe) detector and a lanthanum bromide (LaBr₃)-probe were tested for this field of application using a brick phantom. For the assembling of the phantom, more than 1400 slab sources with the radionuclides Na-22, Na-24, Se-75, Mo-99/Tc-99m, Cs-137,

Tm-170 and Hg-197 with activities in the range of 5 kBq and 90 kBq per slab with a maximum tolerance of five percent per radionuclide were produced. These radionuclides cover an energy range from 84 keV up to 2754 keV by their characteristic gamma-lines. With each of these seven radionuclides calibration measurements were performed and efficiency curves were calculated for the St. Petersburg brick phantom for the sizes P4 and P5 for three different measurement geometries and four different activity levels, each. Additionally the detection and identification limits according to DIN ISO 11929 were calculated for the radionuclides Na-22, Mn-54, Fe-59, Co-57, Co-60, As-73, Se-75, Mo-99/Tc-99m, Sn-113/In-113m, I-131, Cs-134, Cs-137, Ba-133, Ir-192, Tl-204 and Am-241. The detection limits ranged from 1 kBq to 90 kBq, depending on the size of the phantom and the radionuclide. Furthermore, the limits of a portal monitor and of a dosimeter for this field of application were identified.

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

The project „**3D/4D architecture of chromosomal break point regions in nuclei after radiation exposure of normal and cancer cells (3610S30015)**“ aimed at developing a mechanistic, micro-/nano-scale model of the impact of radiation on chromatin and drawing conclusions for radiation protection and radiation therapy. It has been shown that DNA-repair is accompanied by systematic structural changes of chromatin. On the micro-scale, the application of high doses leads to a re-organisation and separation of the genome and, by surpassing apoptosis, to the induction of new diploid cells via polyploidisation and de-polyploidisation. On the nano-scale, heterochromatin is depacked and repacked again during repair. In addition to the measurements of the nano-structure of foci, their dynamic has been elucidated as well. After ion micro-irradiations, repair proteins are differently fast recruited and afterwards they show a sub-diffusive behavior like chromatin. In addition, it could be shown that the formation of translocations in G1-phase depends on CtIP associated resection. Repair of these dsbs follows c-NHEJ with increased translocation formation. The experimental results contributed to a systematic extension of the computer simulation models (PARTRAC) by structures of hetero-/eu-chromatin; the DNA repair model was developed towards track structure based chromosome aberration model. The concept of a γ -H2AX foci model was developed. This allows considerable improvements of the resulting predictions.

The aim of the project „**Detection and validation of radiation-induced gene alterations in breast cancer for an improved assessment of radiation-related risks (3611S30019)**“ was to identify radiation-associated molecular markers in post-Chernobyl breast cancers occurring in clean-up workers. It was intended to validate markers identified within the previous pilot study within an independent validation cohort. Therefore, a validation cohort was established, consisting of 100 cases of which paraffin- embedded tissues were available. The dose reconstruction of 25 exposed cases could be completed. Three radiation-associated miRNAs were identified and validated which showed a significant over-expression in exposed cases and are known to regulate the expression of the TRPS-1 gene. The most important finding of this project was a radiation-associated reduced expression of the TRPS-1 protein in exposed tumours. Thus, TRPS-1 represents a potential radiation marker in breast cancer. Moreover, a pattern of copy number alterations was observed also correlating with exposed tumour cases. Radiation-associated changes in the expression of the RET and HAS2 genes could not be confirmed in this project.

The presented study „**Pilot study for an epidemiological study on the association between (low dose ionising) radiation and cataract development (3611S30021)**“ aimed to test the possibility of performing an epidemiological study to investigate the dose-response relationship between exposure of the lens of the eye to ionising radiation in doses below 500 mSv and development of cataract in occupationally exposed interventional cardiologists, radiologists and neuroradiologists in Germany. In two study regions, physicians who had performed fluoroscopically guided procedures for at least 5 years were recruited for a study group and physicians not occupationally exposed to ionising radiation for a comparison group. 41 out of 263 invited interventional physicians and 17 out of 129 not exposed physicians were willing to participate and could be included. Written questionnaires were used to gather information about the presence of other risk factors for cataract and regarding occupational exposure to radiation, i. e. details on the type and amount of fluoroscopic procedures performed, radiation sources, and protective devices. Lens opacification was measured by slit lamp and Scheimpflugcamera examination as well. The prevalence of lens opacification, which was mainly weak and mostly found in the nuclear lens region, was 52 % (95 % CI: 30-74 %) among interventional physicians, and 31 % (95 % CI: 9-61 %) among the non-exposed. When performing an epidemiological study in Germany

a long study time has to be taken into account as the chosen participants group has a tight professional schedule, especially participation in the eye examination with dilation of the pupils is problematic.

Pediatric acute lymphoblastic leukemia (ALL) is characterised by recurrent chromosomal translocations occurring already in utero in preleukemic cells. A previous study suggested that preleukemic cells are by a factor of 100 more frequent in human newborns than expected, taking the actual incidence of ALL into account. This finding, which could not be verified as yet, would strongly indicate that secondary cooperating oncogenic hits are necessary for the development of overt leukemia. To analyse the actual frequency of translocation positive preleukemic cells in newborns without prior knowledge of the exact DNA breakpoint, a PCR based method was developed termed „genomic inverse PCR for exploration of ligated breakpoints“ (GIPFEL). In a blinded, first proof-of-principle study for the „**Detection of chromosomal translocation by genomic PCR aiming the identification of pre-leukaemic cells - pilot study for development and validation of sensitive probes (3612S70019)**“ with 145 primary leukemia patient samples the detection specificity was 100 % (no false positive signal were detected). The accuracy was 83 %, 65 %, 24 %, 64 % and 39 % for the detection of the translocations MLL-AF4, MLL-AF9, MLL-ENL, ETV6-RUNX1 and TCF3-PBX1 respectively. The sensitivity reached 10^{-3} to 10^{-4} . GIPFEL is thus a useful screening tool and will be evaluated for population-based screenings in a next step.

In the project „**Sequential exposure by UVB- and UA-radiation: relevance for DNA-damage, repair, gene-expression and epigenetic regulation in human skin cells (3613S30042)**“, the effect of sequential combined irradiation with different UV-qualities in comparison to single irradiation was investigated. A pre-irradiation with UVA increased the time-constant for repair of UVB- and SSUV-induced DNA-damage. For global DNA-methylation as an endpoint on the epigenetic level, no UV-induced effect was observed. Independent from the irradiation protocol versatile UV-induced effects were detected for the gene specific promotor-methylation, predominantly involving P16^{INK4a} and HIC1. Independent from the irradiation protocol UV-induced effects on expression of miRNAs predominantly tumorsuppressive appeared, though oncogenic effects could be observed as well. The data indicate that sequential combined or single irradiation with different UV-qualities may activate dynamic epigenetic processes that, during tumorigenesis, lead to the specific epigenetic pattern found in the tumour.

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

The project „**Assessment of breast cancer risk following radioiodine treatment for thyroid cancer among female adolescents and young women (3611S40006)**“ implied the design and performance of a feasibility study (pilot study) with young Belarussian female thyroid cancer patients after radioiodine therapy in order to identify and evaluate the conditions of a prospective longitudinal study of a larger patient cohort. The objective was the assessment of the risk of breast cancer as a secondary malignancy after radioiodine therapy for thyroid cancer. The current relevant state of the scientific and technical knowledge was determined amongst others by a systematic literature review. The results of the design and preparation of the feasibility study included the development of questionnaires to assess relevant data for the evaluation of breast cancer risk, the selection of clinical laboratory and imaging examination methods to be considered, the establishment of respective quality control programs as well as the adjustment of the existing database to the new question. Six eligible national and international patient- and control-cohorts were identified for the main study. The characteristics of the cohorts were described, reviewed, and tabulated for comparison. Further, a primary statistical analysis and calculation of the number of cases was described. Notwithstanding the original time schedule, the breakpoint was postponed for the time being and the time frame for identifying the cohorts for the main study and for contacting the study centers was exceeded. Therefore, the pilot study could not be started within the given time frame of the project and the research project was discontinued after the breakpoint.

The „**Establishment of an IT-based system for the acquisition of examination parameters by German authorities for quality assurance, their transfer to the Federal Office for Radiation Protection and evaluation by a survey (3611S40008)**“ allows you to import content from DICOM headers, CT dose reports and Dose SR as well as other systems in a „PostgreSQL“ database and the evaluation, especially through the Data Mining Tool „RapidMiner“. Modules support the workflow and perform e.g. rule-based classifications of examination types and automated assignments to medical institutions. In tests and in the cross-sectional study to reviews of the medical authority for quality assurance in Hessen in 2013 and 2014 the functionality of IVEU including data transmission to the BfS and a radiation application compliant to the requirements in Hessen can be shown. The advantages and the current limitations on automated evaluations are analysed.

SUBJECT AREA 05 - RADIOECOLOGY

In the medium-term time scale the Gaussian plume model used so far for atmospheric dispersion calculations in the General Administrative Provision relating to Section 47 of the Radiation Protection Ordinance (StrlSchV) as well as in the Incident Calculation Bases relating to Section 49 StrlSchV is to be replaced by a Lagrangian particle model. Meanwhile the Atmospheric Radionuclide Transportation Model (ARTM) is available, which allows the simulation of the atmospheric dispersion of operational releases from nuclear installations. The research project „**Complementary research on validation of the atmospheric radionuclide transportation model (ARTM) (3612S50007)**“ serves, on the one hand, to validate ARTM systematically. On the other hand, the development of science and technology were investigated and, if reasonable and possible, implemented to the program system. The dispersion model and the user interface were advanced and optimised. The program package was provided to the users as a free download.

SUBJECT AREA 06 - EMERGENCY MANAGEMENT

Aim of the project was the „**Extrapolation of the catalogue of exercise scenarios for emergency response planning by authorities (3611S60006)**“, which was developed by GRS. Two of these scenarios were used in exercises. A table-top exercise was held in February 2014 together with the Federal Office for Radiation Protection (BfS) using the transport accident scenario (a railway accident with fire afterwards and release of radioactive material). A second exercise named CORE 2014 was executed in June 2014. The assessment centres of the BfS, the emergency centre of the Federal Ministry for the Environment, Nature Conservation, Building and Nuclear Safety (BMUB) with assistance by the Bavarian Environment Agency (LfU) and the operator of the reference nuclear power plant as well as the GRS Emergency Centre took part in this exercise.

Aim of the project „**Development of the airborne gamma spectrometric measurement systems of the Federal Office for Radiation Protection (BfS) and adjusting the measurements and the evaluation of the measurement results to the needs of the emergency management (3611S60013)**“ was the quantification of the influences on airborne gamma spectrometric measurements with model calculations and an improved calibration. First, publications about detectors, measurement systems, influences on the calibration and methods to determine calibration factors and to analyse measured data were evaluated. Then, a program to model the geometry of radionuclides on the ground and to calculate the geometry factors was developed. A calibration of the helicopter mounted measurement system was performed with the radionuclides Cs-137 and Co-60 under consideration of the tank filling level. With the program and the calibration factors, the characteristic limits for a measurement of a Cs-137 point source were calculated. Also for a Cs-137 point source, an optimised search strategy was developed. Finally, a method that allows discrimination of contamination on the ground and in the air by means of measured data from different detector combinations was developed and validated.

The research project „**Testing alternative, situation suited communication strategies for nuclear emergency response using a web based information and communication forum (3611S70004)**“ aimed to identify recommendations for the improvement of web-based risk- and crisis communication through the development and testing of a website. For this purpose, existing German and a number of international information portals of governmental websites were analysed and operators were surveyed in order to gain a wide range of information on the existing governmental websites. Based on the results of this analysis, an informative website was developed and validated as part of a usability evaluation test. The combination of these steps embedded within an intensive literature review and internet search resulted in a number of recommendations for web-based risk and crisis communication in administrative, technical areas as well as layout and design. These recommendations resemble for the most part the "Best Practices" for each subject area.

The „**14th Coordination and planning meeting of the WHO REMPAN Collaborating Centers and Liaison Institutions in Würzburg in the year 2014 (3614I02275)**“ in Würzburg was held from 7th - 9th May, 2014. The Meeting co-organised with the WHO Headquarters was hosted by the WHO REMPAN Collaborating Centre for Radiation Emergency Preparedness and Assistance Würzburg. At the three day meeting a total of 63 presentations were held in 11 sessions. The main topic of the program was the nuclear accident in Fukushima in 2011, its effects and the response provided. Further, the large spectrum of topics addressed risk communication, concepts and co-operations in the field of emergency preparedness, the topic of radiation and the thyroid, research and development in radiation biology and biodosimetry, and education, training and exercise as well as different treatment concepts. Almost 100 participants from 26 countries attended the meeting, which

presented a comprehensive overview to the international experts about the current scientific status in the fields of radiation accident preparedness and management. The results of the meeting will be published and thus be available to a larger body of professionals.

SUBJECT AREA 07 - PROJECTS OF GENERAL IMPORTANCE TO RADIATION PROTECTION

The project „**Revision of technical radiation protection standards from the area of the Materials Testing Standards Committee (NMP) (3611S20005)**“ aimed at revising several standards and adapting them to the state of science and technology. This meant among other things to consider the changes of the German Radiation Protection Ordinance (StrlSchV), the X-Ray Ordinance (RöV), the standards of the Nuclear Safety Standards Commission (KTA), other German standards (DIN) and the relevant international standards (ISO). The work was completed successfully in most cases within the specified period. However, some parts of this project have not yet been finalised but will be within 2015.

The aim of the project „**Determination of nuclide vectors and distribution of mass and activity as a function of the aerosol particle diameter in the exhaust air of nuclear facilities in decommissioning (3611S70018)**“ was to achieve detailed information about the particle size and activity distributions during decommissioning. First, publications about decommissioning methods, particle size distributions in the non-nuclear field, filtering methods and nuclide vectors were evaluated. Second, measurements of aerosol particle and activity distributions were performed for three conditions. Particles were collected during dismantling works in the exhaust air behind a filtration system, in the air of the reactor building and in the unfiltered exhaust air of dismantling works at low contaminated components. Behind the filtration system, no radioactivity was detected and no elements could be identified by ICP-MS. Therefore, the targets of the research project were adjusted in agreement with the federal office for radiation protection. Measurements in the effluent air of the stack were stopped because at this point the effect of particles from dismantling works on the particle distribution would have been negligible. The dust-loaded filters sampled in the room air during dismantling works at low contaminated components were analysed and an activity distribution with similar features as the mass distribution was found.

Six former military areas used by different armies and corps in several Federal States were investigated within the project „**Radiological residual wastes on former military properties - reconnaissances at selected locations (3612S70023)**“ with regard to possible radiological contaminations. Based on historical research concerning existing radiological suspicious facts of radiological residual wastes, site visits and selective samplings were conducted in cooperation with the Federal Office for Radiation Protection (BfS). Areas of suspicion with risk exposure are former rocket target areas, floorless bivouac areas, command or observation posts, military positions and East German (NVA) or Soviet-Russian (WGT) exercise areas for radioactive decontamination. From the radiological point of view, the long-lived nuclides Thorium-232, Uran-238 and Radium-226 are important as well as areas with intensive and longtime use between the years 1950 - 2000. Altogether, there is a low risk potential only. The justified exclusion of radioactive risks is possible only by grid measurements/sampling.

The Project „**Evaluation and development of new media communication strategies for a target group oriented and permanent presentation of radiological measurements in the German dose rate monitoring network (3612S70024)**“ pursued two goals: In a first step it assessed the current practice of providing measured values on the internet and their reception in the broader public (work packages 1 to 3). In a second step, the current approaches and formats of presentation on the internet can be further improved to communicate the readings of the ODL monitoring network to the general public in an optimised way (work packages 4 to 6).

In the Project „**Evaluation of the measurable benefit for solarium users due to the UV protection regulations, in particular through instructions from qualified staff in solariums (3612S70031)**“ a telephone survey of solarium customers was conducted twice. The first wave of the survey in winter 2012/2013 had the task to provide base data on the use of sunbeds, the level of the customers' knowledge, their risk perception as well as the previous customer consultancy prior to the enactment of § 4 article 1 of the „UV-Schutz-Verordnung“ (UV radiation protection regulation). The second wave of the survey in spring 2014, investigated whether measurable changes in these parameters were identifiable. It was found that the customer consultancy regarding frequency and content did not result in significant changes. Other aspects, such as behavior, informa-

tion, and attitudes of the solarium customers, however, show certain trends over time. Those apply mostly to the total sample of customers, but cannot be traced back to the consultancy alone.

The study „**Feasibility study for establishing a birth cohort and for testing genetic predisposition to childhood leukaemia - Follow-up (3613S70020)**“ presents the follow-up survey of the LeuBiCo (Leukaemia birth cohort) feasibility study with the same title. The aim of the follow-up study was the investigation of the willingness of participants to take part in a postnatal follow-up survey of the birth cohort, the development and testing of a new web-based survey tool and the investigation of the impact of incentives on participation rates in a birth cohort study. In addition research recommendations regarding a postnatal follow-up for a possible German birth cohort study were developed.

SUBJECT AREA 08 - NON-IONISING RADIATION

The international case-control study MOBI-Kids investigates a possible association between environmental factors such as mobile phone use and the risk of brain tumours among the young. The „**Extension study: Communication technologies, environment and risk of brain tumours in young people (MOBI-Kids) (3609S30010)**“ in Germany aimed at recruiting additional population-based controls. Moreover, the exposure to electromagnetic fields should be objectively assessed by personal dosimetry. Between October 2010 and June 2014, a personal interview assessed the mobile phone use of 229 randomly selected population-based controls aged 10 to 24 years (response: 22 %) who were matched to the cases of the MOBI-Kids study by age, sex and residence. In addition, 24 subjects in greater Munich (response: 44 %) took part in a 24-hour dosimeter measurement. 81 % of the participants indicated to use their mobile phone at least once a week. The average cumulative lifetime use was 2509 calls and 314 hours. Regarding their current phone use, subjects reported a mean of 48 calls and 6.3 hours per month. The average exposure of the participants in the dosimeter study was 0.20 % of the relevant exposure limit.

In the animal study „**Tumour promotion by radiofrequency electromagnetic fields in combination with carcinogenic substances - synergistic effects (3611S30017)**“, potential tumour-promoting effects of exposure to radio-frequency electromagnetic fields (UMTS, 1.97 GHz) were investigated. Previously published results from a pilot study with carcinogen-treated mice suggested tumour-promoting effects of RF-EMF (Tillmann T, et al. (2010)). A replication study was performed using higher numbers of animals per group and including two additional exposure levels (SAR 0, 0.04, 0.4 and 2 W/kg). These findings could be essentially confirmed and extended. Numbers of tumours of the lungs and livers in ENU-treated and exposed animals were significantly higher than in sham-exposed controls. In addition, lymphomas were also found to be elevated by exposure. A clear dose-response effect is absent. It is hypothesised that these tumour-promoting effects may be caused by metabolic changes due to exposure. Since many of the tumour-promoting effects were seen at low to moderate exposure levels well below exposure limits for the users of mobile phones, further studies are warranted to investigate the underlying mechanisms.

The pilot study „**Effect of high frequency electromagnetic fields on brain activity, sleep and cognitive performance in elderly women and men - pilot study (3613S30012)**“ aimed at preparing a research project on effects of electromagnetic fields according to the GSM and TETRA standard on brain activity during wake and sleep as well as on cognitive performance in elderly subjects. An exposure system was developed, the literature review was updated with special focus on age- and gender-specific variation of effects, and an ethics vote for the main study was obtained.

The project „**Description of the technical options to minimise electric and magnetic fields for facilities operating with extremely low frequencies and/or direct current according to the state of the art (3614S80020)**“ describes the technical options to minimise electric and magnetic fields (0 Hz, 16.7 Hz und 50 Hz) emitted by the transmission and distribution grids for electric power as well as the transportation system power supply grid with a nominal voltage above 1000 Volt. For this purpose the international literature concerning this topic was collected and evaluated. In a workshop established experts for grid and/or power line technique discussed the options to minimise electric and magnetic fields regarding their implementation in the national transmission and distribution grids for electric power. Results gathered in this context are integrated in a final report.

SUBJECT AREA 09 - GERMAN MOBILE TELECOMMUNICATION RESEARCH PROGRAMME

The aim of the project „**Influence of high frequency electromagnetic fields of mobile communications on the hematopoietic system in vitro (FM8851)**“ was to investigate whether the hematopoietic system can be influenced by mobile phone electromagnetic fields. HL-60 cells and hematopoietic stem cells were exposed in a micro-transversal-electromagnetic cell (GSM, UMTS, and LTE). Biological endpoints included oxidative stress, differentiation, DNA repair, cell cycle, DNA damage, histone acetylation, and apoptosis. Overall, no relevant alteration of the different endpoints could be detected as a consequence of exposure. Findings of a significantly reduced DNA damage and variable differentiation results need further investigation.

The main goal of the project „**Investigation of the possibilities of better knowledge transfer / knowledge management - with regard to the DMF research program - over generations and cycles of interests / of attention, respectively (FM8853)**“ was the development of a concept for knowledge management and knowledge transfer for the Bundesamt für Strahlenschutz (BfS) to find a feasible, efficient form of management and treatment of knowledge. Furthermore, the possibilities of better knowledge transfer with regard to the Deutsches Mobilfunk Forschungsprogramm (DMF) over generations and cycles of interests/attention, respectively, had to be investigated. The aim was to collect results of research projects of the DMF and the underlying knowledge of persons and processes involved. Based on this, recommendations were developed to ensure the future assessment of certain aspects. It is also expected to shorten the training time needed for new staff, which actually takes about twelve weeks.

The aim of the project was „**Creating a continuative brochure in addition to the hand-out for the assessment of study results (FM8862)**“. It is based on the existing hand-out, which was created in the project "Creating a practical hand-out for the assessment of study results for employees of local governments". The manual serves as a practical way for the qualitative evaluation of texts for persons who deal with the topics Mobile Communication and Health (for example communities or government agencies) in their profession. The main objective of the manual is to aid users in performing a faster and more efficient evaluation of texts by answering the containing questions. This approach is purely functional and precludes the placement of deeper information. The brochure further develops the handout's information. It presents the issues in an overall context and provides valuable background knowledge. The brochure was submitted together with the existing manual for a practical test, which was attended by 21 target group-specific subjects. The feedback of the test participants were then used as basis for the final optimisation of the brochure.

ERGEBNISSE

der vom BfS begleiteten Strahlenschutz-Forschungsvorhaben des BMUB 2014

RESULTS

of BfS supported BMUB radiation protection research projects in 2014

Themenbereich 02
Strahlenschutztechnik

Subject area 02
Radiation protection techniques

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 3611S20006	Beginn 01.10.2011	Ende 30.09.2014	Fördermittel EUR 151.453,-
Forschungs- / Auftragnehmer Deutsche Röntgengesellschaft e. V. (DRG), Berlin			
Projektleitung Dr. B. Seidel	Fachbetreuung BfS Dr. A. Schegerer / AG-SG 2.3		verantwortlich für den Text Dr. B. Seidel

1. ZIELSETZUNG

In Umsetzung des normungspolitischen Konzepts der Bundesregierung sollte die Normung die Durchsetzung von im besonderen öffentlichen Interesse liegenden Zielen unterstützen. Der Strahlenschutz ist ein diesbezüglich verankertes prioritäres Ziel, für das die Vorschriften des AtG, der StrSchV und der RöV durch Normen zu untermauern sind, um eine zielgerichtete, bundeseinheitliche Umsetzung zu gewährleisten.

Ziel dieses Vorhabens ist 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 beinhaltet Normungsarbeit auf den folgenden Teilgebieten:

- Aufstellung von Regeln für die Gewinnung, Verarbeitung, Archivierung und Ausgabe von diagnostischen Bilddaten;
- Abnahme- und Konstanzprüfung diagnostischer Röntgeneinrichtungen;
- Festlegung von Eigenschaften strahlentherapeutischer Einrichtungen;
- Strahlenschutz für Patienten und Personal einschließlich der erforderlichen dosimetrischen Verfahren.

Die einzelnen Projekte einschließlich der terminlichen Zielsetzungen sind Tabelle 1 zu entnehmen.

Tabelle 1: Projektübersicht

Nr.	Projektnummer	Stufe	Termin	Titel
1	DIN 6847-7	E-Freigabe	2012-11	Medizinische Elektronenbeschleuniger-Anlagen – Teil 7: Röntgenstrahlungsbasierte Systeme für die bildgesteuerte Strahlentherapie - Abnahme- und Konstanzprüfung
		E DIN	2013-02	
		N-Freigabe	2014-04	
		DIN	2014-09	
2	DIN 6873-5	E-Freigabe	2012-04	Bestrahlungsplanungssysteme – Teil 5: Konstanzprüfungen von Qualitätsmerkmalen
		E DIN	2012-07	
		N-Freigabe	2013-11	
		DIN	2014-04	
3	DIN 6868-163	E-Freigabe	2012-11	Sicherung der Bildqualität in röntgendiagnostischen Betrieben – Teil 163: Abnahmeprüfung nach RöV an Röntgeneinrichtungen für die mammographische Stereotaxi
		E DIN	2013-02	
		N-Freigabe	2014-04	
		DIN	2014-09	

Nr.	Projektnummer	Stufe	Termin	Titel
4	Norm-Projekt	E-Freigabe	2012-11	Qualitätssicherung von Röntgeneinrichtungen zur mammographischen Tomosynthese
		E DIN	2013-02	
		N-Freigabe	2014-04	
		DIN	2014-09	
5	Norm-Projekt	E-Freigabe	2012-11	Integrale Prüfung der Dosimetrie des Gesamtsystems von Strahlentherapieeinrichtungen
		E DIN	2013-02	
		N-Freigabe	2014-04	
		DIN	2014-09	
6	DIN 6868-161	E-Freigabe	erledigt	Sicherung der Bildqualität in röntgendiagnostischen Betrieben – Teil 161: Abnahmeprüfung nach RöV an zahnmedizinischen Röntgeneinrichtungen zur digitalen Volumentomographie
		E DIN	2011-09	
		N-Freigabe	2012-11	
		DIN	2013-04	
7	DIN 6873-1	E-Freigabe	2012-04	Bestrahlungsplanungssysteme - Teil 1: Grundlagen
		E DIN	2012-07	
		N-Freigabe	2013-09	
		DIN	2014-02	
8	Norm-Projekt	E-Freigabe	2012-11	Laufende Qualitätssicherung von Röntgenschutzkleidung (Anwendernorm)
		E DIN	2013-02	
		N-Freigabe	2014-04	
		DIN	2014-09	
9	DIN EN 61331-3	CD	erledigt	Strahlenschutz in der medizinischen Röntgendiagnostik - Teil 3: Schutzkleidung und Gonadenschutz
		CDV	2012-04	
		E DIN EN	2012-05	
		FDIS	2013-06	
		IS	2013-11	
		N-Freigabe	2014-06	
		DIN EN	2014-09	
10	DIN EN 60601-2-64	CD	2011-06	Medical electrical equipment – Part 2-64: Particular requirements for the basic safety and essential performance of medical light ion accelerators in the range 10 MeV/n to 500 MeV/n
		CDV	2012-02	
		E DIN EN	2012-03	
		FDIS	2013-02	
		IS	2013-10	
		N-Freigabe	2014-05	
		DIN EN	2014-08	
11	DIN EN 60601-2-68	CD	erledigt	Medical electrical equipment – Part 2-68: Particular requirements for basic safety and essential performance of X-ray based Image Guided Radiotherapy Equipment for use with electron accelerators, light ion beam therapy systems and radionuclide beam therapy systems
		CDV	2012-12	
		E DIN EN	2013-01	
		FDIS	2013-07	
		IS	2013-10	
		N-Freigabe	2014-05	
		DIN EN	2014-08	
12	DIN EN 62667	CD	2011-06	Medical electrical equipment – Medical light ion beam equipment – Performance characteristics
		CDV	2012-02	
		E DIN EN	2012-03	
		FDIS	2013-02	
		IS	2013-10	
		N-Freigabe	2014-05	
		DIN EN	2014-08	

Nr.	Projektnummer	Stufe	Termin	Titel
13	Norm-Projekt	E-Freigabe	2012-11	Qualitätssicherung von MR-Geräten für die Therapieplanung
		E DIN	2013-02	
		N-Freigabe	2014-04	
		DIN	2014-09	
14	DIN 6868-4	E-Freigabe	2012-11	Sicherung der Bildqualität in röntgendiagnostischen Betrieben - Teil 4: Konstanzprüfung nach RÖV an medizinischen Röntgeneinrichtungen zur Durchleuchtung
		E DIN	2013-02	
		N-Freigabe	2014-04	
		DIN	2014-09	
15	DIN 6868-7	E-Freigabe	2012-11	Sicherung der Bildqualität in röntgendiagnostischen Betrieben - Teil 7: Konstanzprüfung nach RÖV an Röntgen-Einrichtungen für Mammographie
		E DIN	2013-02	
		N-Freigabe	2014-04	
		DIN	2014-09	
16	Norm-Projekt	E-Freigabe	2012-11	Beschleunigeranlagen für die Protonentherapie - Regeln für die Auslegung des baulichen Strahlenschutzes
		E DIN	2013-02	
		N-Freigabe	2014-04	
		DIN	2014-09	

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 Normenausschuss Radiologie (NAR) zur Einhaltung eines festgelegten Arbeitsablaufes für Normungsprojekte verpflichtet.

4. DURCHFÜHRUNG

Die Normungsprojekte wurden nach den Grundsätzen der Normungsarbeit, die in den unter 3 „Methodik“ genannten Dokumenten niedergelegt sind, durchgeführt.

Vom NAR wurden folgende Tätigkeiten zur Erstellung der vertraglich vereinbarten Normen und der Erfüllung des Unterauftrages durchgeführt:

- Mitwirkung bei der Auswahl von Experten zur Mitarbeit in den Arbeitsausschüssen und den internationalen Arbeitsgruppen unter weitgehender Berücksichtigung aller interessierten Kreise
- Ermittlung der Termine und Versendung der Einladungen zu den einzelnen Ausschusssitzungen
- Erstellen von Protokollen über die einzelnen Ausschusssitzungen
- Unterstützung und Beratung der Ausschussmitarbeiter bei der Normungsarbeit
- Erstellung, Sichtung und Versendung sonstiger Arbeitsunterlagen zu den einzelnen Ausschusssitzungen
- Anfertigung von Vorlagen für Norm-Entwürfe und von Manuskripten für Normen
- Herausgabe und Veröffentlichung von Norm-Entwürfen.

5. ERGEBNISSE

- **Normvorhaben DIN 6847-7**
 - In Bearbeitung; Verzögerung wegen erheblichen Umfangs und unerwartet schwieriger technischer Entscheidungen
 - Veröffentlichung geplant als Norm-Entwurf im Jahr 2015
- **Norm-Entwurf DIN 6873-5:2013-04**
 - Als Norm-Entwurf veröffentlicht
 - Im Druck als Norm

- **Normvorhaben DIN 6868-163**
 - In Bearbeitung; Verzögerung wegen erheblichen Umfangs und unerwartet schwieriger technischer Entscheidungen
 - Veröffentlichung geplant als Norm-Entwurf im Jahr 2015
- **Normvorhaben DIN 6868-164**
 - Qualitätssicherung von Röntgeneinrichtungen zur mammographischen Tomosynthese
 - Projekt eröffnet; Verzögerung wegen Abstimmung mit internationalen (IEC¹⁾) und europäischen (EUREF²⁾) Aktivitäten
- **Normvorhaben**
 - In Bearbeitung; Verzögerung wegen erheblichen Umfangs und unerwartet schwieriger technischer Entscheidungen
 - Veröffentlichung geplant als Norm-Entwurf im Jahr 2015
- **DIN 6868-161:2013-01**
 - Veröffentlicht als Norm
- **Normvorhaben DIN 6873-1**
 - In Bearbeitung; Verzögerung wegen erheblichen Umfangs und unerwartet schwieriger technischer Entscheidungen
- **Norm-Entwurf DIN 6857-2:2013-07**
 - Zweiter Norm-Entwurf in Veröffentlichung; erhebliche Verzögerung durch Einspruchs- und Schlichtungsverfahren
- **Norm-Entwurf DIN EN 61331-3:2011-08**
 - Internationale Norm veröffentlicht 2014-05
 - Veröffentlichung als deutsche Norm im Jahr 2015
- **Norm-Entwurf DIN EN 60601-2-64:2012-06**
 - Internationale Norm veröffentlicht 2014-09
 - Veröffentlichung als deutsche Norm im Jahr 2015
- **Norm-Entwurf DIN EN 60601-2-68:2011-09**
 - Internationale Norm veröffentlicht 2014-09
 - Veröffentlichung als deutsche Norm im Jahr 2015
- **IEC 62667**
 - Bei IEC war wegen technischer Schwierigkeiten ein dritter Committee Draft (2014-11) notwendig
- **Normvorhaben**
 - Qualitätssicherung von MR³⁾-Geräten für die Therapieplanung
 - Normvorhaben abgebrochen, da zur Zeit eine Erarbeitung der Norm noch nicht sinnvoll ist
- **Normvorhaben DIN 6868-4**
 - In Bearbeitung; Verzögerung wegen erheblichen Umfangs und unerwartet schwieriger technischer Entscheidungen
 - Veröffentlichung geplant als Norm-Entwurf im Jahr 2015

¹⁾ International Electrotechnical Commission

²⁾ European Reference Organisation for Quality Assured Breast Screening and Diagnostic Services

³⁾ Magnetresonanz

- **Norm-Entwurf DIN 6868-14:2014-02**
 - Sicherung der Bildqualität in röntgendiagnostischen Betrieben - Teil 14: Konstanzprüfung nach RÖV an Röntgeneinrichtungen für digitale Mammographie
 - Die Revision der Norm DIN 6868-7 erfolgte in einem neuen Teil der Normenreihe
 - Norm-Entwurf veröffentlicht 2014-02
 - Im Druck als Norm
- **Norm-Entwurf DIN 6875-20:2014-02**
 - Spezielle Bestrahlungseinrichtungen - Teil 20: Protonentherapie - Regeln für die Auslegung des baulichen Strahlenschutzes
 - Als Norm-Entwurf veröffentlicht 2014-02
 - Im Druck als Norm

6. UMSETZUNG DER ERGEBNISSE

Die erstellten Normen werden im Rahmen des untergesetzlichen Regelwerks für den Vollzug der RÖV und StrSchV bezüglich Strahlenschutz und Qualitätssicherung benötigt, um eine zielgerichtete, bundeseinheitliche Umsetzung zu gewährleisten. Daneben wurden bestehende, für den Vollzug wichtige Normen neuen technischen Entwicklungen angepasst. Durch die im Zuge des europäischen Harmonisierungsverfahrens des Strahlenschutzes für die Bundesrepublik Deutschland mittlerweile verbindlich werdenden DIN EN- und IEC-Normen besteht ein erhebliches Interesse des Bundes an einer Koordinierung der Normenerstellung und frühzeitiger und direkter Mitwirkung bei der internationalen Normerstellung. Das Mitwirken des NAR bei der Erstellung internationaler Normen war und ist daher von grundlegender Bedeutung.

Thema Ermittlung der Zuverlässigkeit von Dosiskoeffizienten für Radiopharmaka			
Subject <i>Assessment of the reliability of dose coefficients for radiopharmaceuticals</i>			
Kennzeichen 3612S20013	Beginn 01.10.2012	Ende 30.09.2014	Fördermittel EUR 206.251,-
Forschungs- / Auftragnehmer Helmholtz Zentrum München, Neuherberg			
Projektleitung Dr. W. Li	Fachbetreuung BfS Dr. A. Giussani / AG-SG 2.3	verantwortlich für den Text V. Spielmann	

1. ZIELSETZUNG

Das Ziel dieses Projekts war es die Unsicherheiten und damit die Zuverlässigkeit von Dosiskoeffizienten für ausgewählte Radiopharmaka zu ermitteln sowie die biokinetischen und dosimetrischen Parameter zu identifizieren, die am meisten zur Unsicherheit der Dosiskoeffizienten beitragen.

2. EINZELZIELSETZUNG

Die Durchführung des Projekts war in folgende drei Arbeitspakete aufgeteilt:

2.1 AUFARBEITUNG DES RELEVANTEN STANDES VON WISSENSCHAFT UND TECHNIK

- Ermittlung der Methode zur Berechnung der Dosiskoeffizienten nach MIRD (Medical Internal Radiation Dosimetry)- bzw. ICRP (International Commission on Radiological Protection)-Schema
- Literaturrecherche hinsichtlich Modell und Parameter ausgewählter Radiopharmaka
- Literaturrecherche hinsichtlich der Dosiskoeffizienten ausgewählter Radiopharmaka

2.2 BERECHNUNG DER UNSICHERHEIT DER DOSISKOEFFIZIENTEN

Für folgende in der klinischen Praxis angewendete diagnostische Radiopharmaka

- F-18-FDG (Fluordesoxyglucose)
- Tc-99m-Pertechnetat
- Tc-99m-Phosphonate
- Tc-99m-Sestamibi
- Tc-99m-Tetrafosmin
- Tc-99m-MAA
- Tl-201-Chlorid

waren Angaben in tabellarischer Form über die Unsicherheiten für die Organdosiskoeffizienten bzw. die effektiven Dosiskoeffizienten anzugeben. Dazu wurden folgende Untersuchungen durchgeführt:

- Bestimmung der Unsicherheiten der zusammengestellten Modellparameter
- Bestimmung der Unsicherheiten der S-Faktoren (s. 3.)
- Entwicklung einer Methode zur Unsicherheitsanalyse
- Berechnung der Unsicherheiten der Dosiskoeffizienten für sieben Radiopharmaka
- Vergleich der berechneten Unsicherheiten mit den Referenzwerten von ICRP

2.3 IDENTIFIKATION DER SENSITIVEN PARAMETER

- Entwicklung einer Methode zur Sensitivitätsanalyse
- Berechnung und Identifikation der sensitiven Modellparameter
- Bestimmung des Unsicherheitsanteils aus Biokinetik und Dosimetrie

3. METHODIK

Zur Dosisberechnung wurde das von dem MIR-D-Komitee und der ICRP veröffentlichte einheitliche Schema verwendet. Das Schema ist hier für Erwachsene dargestellt:

$$h(r_T, T_D) = \sum_{r_S} \tilde{a}(r_S, T_D) S_w(r_T \leftarrow r_S)$$

mit

$$S_w(r_T \leftarrow r_S) = \sum_R w_R \sum_i \frac{E_{R,i} Y_{R,i} \phi(r_T \leftarrow r_S, E_{R,i})}{M(r_T)}$$

Dabei gilt:

$h(r_T, T_D)$	Organdosiskoeffizient des Organs r_T über die Dosisintegration-Periode T_D
$\tilde{a}(r_S, T_D)$	zeitintegrierter Aktivitätskoeffizient
$S_w(r_T \leftarrow r_S)$	strahlungsgewichteter S-Faktor
w_R	Strahlungs-Wichtungsfaktor
$E_{R,i}$	Energie einer Strahlung i der Strahlungsart R je Kernumwandlung
$Y_{R,i}$	Ausbeute einer Strahlung i der Strahlungsart R je Kernumwandlung
$\phi(r_T \leftarrow r_S, E_{R,i})$	absorbierter Bruchteil: Anteil der durch Radioaktivität in einem Zielorgan r_T absorbiert wird
$M(r_T)$	Masse des Zielorgans r_T

Der zeitintegrierte Aktivitätskoeffizient $\tilde{a}(r_S, T_D)$ wurde mit Hilfe eines selbstentwickelten Computerprogramms sowohl nach MIR-D- als auch nach ICRP-Schema aus den gegebenen Modellparametern berechnet.

Mit Hilfe der Monte-Carlo-Simulation wurden aus Referenzphantomen die SAF¹⁾-Werte

$$\frac{\phi(r_T \leftarrow r_S, E_R)}{M(r_T)}$$

und daraus die S-Faktoren bestimmt.

Basierend auf diesem Schema wurde eine Methode zur Unsicherheitsanalyse bei der Berechnung der Dosiskoeffizienten entwickelt.

Es wurden die Unsicherheiten und die Verteilungsfunktionen der zusammengestellten Modellparameter aus den gegebenen Mittelwerten und dem angenommenen Variationskoeffizienten bestimmt. Die Unsicherheiten und die Verteilungsfunktionen der S-Faktoren wurden aus den Ergebnissen von sieben verschiedenen Voxel-Phantomen berechnet (Tabelle 1).

¹⁾ specific absorbed fraction

Tabelle 1: Daten der verwendeten Phantome

	RCP-AM	RCP-AF	Frank	Golem	MadPat	VisHum	Voxelman
Geschlecht	m	w	m	m	m	m	m
Alter	38	43	48	38	69	38	
Größe/cm	176	167	174	176	172	180	
Gewicht/kg	73	60	95	69	70	103	70
Voxels in Millionen	1,9	3,9	23,7	1,9	6,9	20,1	
Deckung	Ganzkörper	Ganzkörper	Kopf und Rumpf	Ganzkörper	Kopf bis Oberschenkel	Kopf bis Oberschenkel	

Mit Hilfe der LHS-Methode (Latin Hypercube Sampling) wurden Parameterwerte des biokinetischen Modells sowie S-Faktoren des dosimetrischen Modells abgetastet. Durch ein Verfahren für das Ziehen von Stichproben für die Parameterwerte und für die S-Faktoren konnten schließlich mit einem selbstgeschriebenen Programm die Dosiskoeffizienten mit der Angabe der Unsicherheiten berechnet werden.

Zur Berechnung und Identifikation der sensitiven Modellparameter wurden mit Hilfe von einem Computerprogramm, das von R. L. Iman, M. J. Shortencarier und J.D. Johnson entwickelt wurde, die Rangkorrelationskoeffizienten der Modellparameter bestimmt. Man geht dabei von einer Funktion $Y=f(X_1, X_2, \dots, X_k)$ mit k-Parametern aus, bildet eine Korrelationsmatrix C der Form

$$C = \begin{bmatrix} 1 & r_{12} & \dots & r_{1k} & r_{1y} \\ r_{21} & 1 & \dots & r_{2k} & r_{2y} \\ r_{k1} & r_{k2} & \dots & 1 & r_{ky} \\ r_{y1} & r_{y2} & \dots & r_{yk} & 1 \end{bmatrix}$$

mit dem Korrelationskoeffizienten

$$r_{xy} = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2 \sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2}}$$

Invertiert man die Matrix C, so kann man zeigen, dass gilt:

$$C^{-1} = \begin{bmatrix} \frac{1}{1-R_{x_1}^2} & c_{12} & \dots & c_{1k} & -\frac{B_1}{1-R_y^2} \\ c_{21} & \frac{1}{1-R_{x_2}^2} & \dots & c_{2k} & -\frac{B_2}{1-R_y^2} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ c_{k1} & c_{k2} & \dots & \frac{1}{1-R_{x_k}^2} & -\frac{B_k}{1-R_y^2} \\ -\frac{B_1}{1-R_y^2} & -\frac{B_2}{1-R_y^2} & \dots & -\frac{B_k}{1-R_y^2} & \frac{1}{1-R_y^2} \end{bmatrix}$$

mit

$$P_{x_j,y} = B_j \sqrt{\frac{1-R_{x_j}^2}{1-R_y^2}}$$

Die $P_{x_j y}$ bilden dabei die benötigten partiellen Rangkorrelationskoeffizienten. Um den Unsicherheitsanteil aus Biokinetik und Dosimetrie zu bestimmen, wurde die varianzbasierte Sensitivitätsanalyse von I. Sobol und A. Saltelli angewandt. Es gilt folgende Beziehung:

$$S_{T_i} = \frac{E_{X_{\neq i}}(V_{X_i}(Y|X_{\neq i}))}{V(Y)}$$

S_{T_i} misst den totalen Effekt der Sensitivität der Variablen X_i , d. h. die erste und die höheren Ordnungen (Interaktion mit anderen Variablen). $V(Y)$ stellt dabei die Varianz von Y dar. Stellen die Variablen X_i die Modellparameter und die S-Faktoren dar, so können nach der obigen Beziehung die entsprechenden Sensitivitätsindices berechnet und analysiert werden.

4. DURCHFÜHRUNG

4.1 BERECHNUNG DER UNSICHERHEIT DER DOSISKOEFFIZIENTEN

Die Kenntnis der Unsicherheiten der Modellparameter sowie S-Faktoren ist notwendig für die Berechnung der Unsicherheiten der Dosiskoeffizienten.

Für das Radiopharmakon F-18-FDG wurden die Unsicherheiten der Parameter sowohl nach MIRD- als auch nach ICRP-Schema berechnet. Für die restlichen sechs Radiopharmaka wurden die Berechnungen ausschließlich nach ICRP-Methode durchgeführt.

Aus den gegebenen Mittelwerten der Modellparameter und der Annahme, dass deren Variationskoeffizient 20 % beträgt, wurde das 95 %-Konfidenzintervall der Parameter bestimmt und daraus mit Hilfe der LHS-Methode 500 Samples der Verteilung jedes einzelnen Parameters generiert. Aus auf diese Art erzeugten Samples für Modellparameter wurden schließlich die 500 Werte der zeitintegrierten Aktivitätskoeffizienten ermittelt.

Bei der Bestimmung der Unsicherheiten von S-Faktoren bediente man sich der berechneten und tabellierten S-Werte der in Tabelle 1 angegebenen sieben verschiedenen Phantome. Auch hier wurde das 95 %-Konfidenzintervall der S-Faktoren bestimmt und daraus mit Hilfe der LHS-Methode die 500 Samples der Verteilung generiert.

Aus den gesampelten Werten für die Modellparameter und die S-Faktoren wurden schließlich 500 Werte der Dosiskoeffizienten berechnet und somit deren Unsicherheit bestimmt.

4.2 IDENTIFIKATION DER SENSITIVEN PARAMETER

Ausgehend von k Parametern für jedes Radiopharmazeutikum, wurden für jeden Parameter mit der LHS-Methode 500 Samples berechnet. Aus der Beziehung von oben wurden damit 500 Werte für die Dosiskoeffizienten bestimmt. Die S-Faktoren wurden dabei konstant belassen. Zur Identifikation der sensitiven Modellparameter wurden somit die Rangkorrelationskoeffizienten zwischen den Modellparametern und Dosiskoeffizienten bestimmt.

Auf die gleiche Weise wurden zusätzlich die Rangkorrelationskoeffizienten zwischen den Modellparametern und der zeitintegrierten Aktivität und der zeitintegrierten Aktivität und den Dosiskoeffizienten berechnet.

4.3 BESTIMMUNG VON BEITRÄGEN, DIE DIE BIOKINETISCHEN MODELLPARAMETER UND DIE AUS DEN SIEBEN VOXEL-PHANTOMEN BESTIMMTEN S-FAKTOREN ZU DEN UNSICHERHEITEN DER ENERGIEDOSIS LEISTEN

Zur Bestimmung der Sensitivitätsindices wurden mit Hilfe der LHS-Methode zwei unabhängige Matrizen **A** und **B**, beide von der Dimension (N, k) , generiert. Dabei stellt N die Anzahl der Samples (in unserem Fall 500) und k die Anzahl der Variablen (n biokinetische Parameter und $(k-n)$ S-Faktoren) dar.

Aus diesem k -Tupel der Variablen wird die Energiedosis im Zielorgan berechnet.

Man kann zeigen, dass die für den totalen Sensitivitätsindex benötigten Erwartungswerte und die Varianz aus der folgenden Beziehung berechnet werden können:

$$E_{X_{-i}}(V_{X_i}(Y|X_{-i})) = \frac{1}{2N} \sum_{j=1}^N (f(A)_j - f(A_B^i)_j)^2$$

$$V(Y) = \frac{1}{N} \sum_{j=1}^N f(A)_j^2 - f_0^2$$

$$f_0^2 = \left(\frac{1}{N} \sum_{j=1}^N f(A)_j \right)^2$$

Die Einträge der Matrix A_B^i sind dadurch definiert, dass in Matrix A die i -te Spalte durch die entsprechende Spalte aus der Matrix B ersetzt wurde.

5. ERGEBNISSE

Die berechneten Unsicherheiten für den Organodosiskoeffizienten sowie für den Koeffizienten der effektiven Dosis wurden sowohl tabellarisch als auch graphisch in Form von Box-Plots, die das 95 %-Konfidenzintervall, die Medianwerte sowie die Quartile der Verteilung widerspiegeln, dargestellt. Für das Radiopharmakon F-18-FDG wurden die Organodosiskoeffizienten, die sowohl nach dem MIRD- als auch nach ICRP-Schema bestimmt worden sind, graphisch dargestellt und verglichen.

Die S-Faktoren sowie Modellparameter der verwendeten Radiopharmaka sind ebenfalls, unter Angabe von Mittelwerten und Standardabweichungen, in Tabellen zusammengestellt worden.

Um den Einfluss der S-Faktoren besser einschätzen zu können wurden deren Variationskoeffizienten für verschiedene Quellorgane graphisch abgebildet.

In die Graphiken sind außerdem auch die Literaturwerte mit eingetragen, um sie mit den berechneten Werten zu vergleichen. Zum Schluss wurden auch die berechneten Koeffizienten der effektiven Dosis mit den von der ICRP veröffentlichten Werten verglichen. Die berechneten Werte nach ICRP-Schema liegen für alle verwendeten Radiopharmaka unterhalb der Referenzwerte. Der nach MIRD-Schema berechnete Wert für F-18-FDG stimmt mit dem Referenzwert von ICRP 106 gut überein.

Alle Ergebnisse der Sensitivitätsrechnung wurden tabellarisch dargestellt. Die größten Korrelationen zwischen der zeitintegrierten Aktivität im Quellorgan und der berechneten Energiedosis im Zielorgan findet man immer dann, wenn das Quell- und Zielorgan gleich sind.

Für alle Radiopharmaka außer TI-201-Chlorid tragen meistens die S-Faktoren zur größeren Unsicherheit bei. Lediglich bei den Zielorganen, die gleichzeitig die Quellorgane sind, haben die Sensitivitätsindices der Modellparameter einen hohen Wert und bei manchen von denen übersteigt der Wert den der S-Faktoren.

So sind bei F-18-FDG die Werte der totalen Sensitivitätsindices der Parameter von Gehirn, Leber, Lunge und Herzwand größer als 38 % und nur die Werte von Leber und Herzwand (51 % bzw. 55 %) übersteigen die der S-Faktoren (48 % bzw. 44 %).

Bei Tc-99m-Pertheneat haben die Sensitivitätsindices der Parameter für die Zielorgane Schilddrüse und Lunge größere Werte (95 % bzw. 55 %) als die der S-Faktoren (10 % bzw. 37 %).

Bei Tc-99m-Phosphonat sind Speicheldrüse, extrathorakale Gewebe und Mundschleimhaut, bei Tc-99m-Tetrofosmin die Schilddrüse und bei Tc-99m-Sestamibi Gehirn, Leber, Schilddrüse und die Niere die Zielorgane, bei denen die Sensitivitätsindices der Parameter die der S-Faktoren überschreiten.

Bei Tc-99m-MAA haben alle S-Faktoren größere Indices als die der Modellparameter. Bei TI-201-Chlorid verhält es sich genau umgekehrt. Hier haben alle Parameter, außer denen von Leber, Lunge, Niere und Milz, Sensitivitätsindices größer als die von den S-Faktoren.

6. UMSETZUNG DER ERGEBNISSE

Die Ermittlung der Zuverlässigkeit der Dosiskoeffizienten für Radiopharmaka und die Identifizierung der biokinetischen und dosimetrischen Parameter, die am meisten zur Unsicherheit der Dosiskoeffizienten beitra-

gen, ermöglichen eine kritische Analyse der Ermittlung der Dosis der Bevölkerung durch nuklearmedizinische Untersuchungsverfahren, die Aufgabe des BfS ist.

Eine wichtige Aussage der vorgestellten Ergebnisse ist es, dass für die meisten Radiopharmaka die S-Faktoren (d. h. die anatomischen Eigenschaften) den größeren Beitrag zur Unsicherheit der Dosiskoeffizienten liefern. Dies ist von besonderem Interesse, weil die Referenzperson, die als Vorlage für die Berechnung der ICRP-Dosiskoeffizienten dient, etwa 170 cm groß ist und 73 kg wiegt. So könnten z. B. unter Betrachtung der tatsächlichen Durchschnittswerte und Verteilungen von Größe und Gewicht in der deutschen Bevölkerung genauere Angaben über Dosis und Unsicherheiten in der Nuklearmedizin gemacht werden.

Die Ergebnisse werden in wissenschaftlichen Zeitschriften veröffentlicht und auf internationalen Symposien präsentiert.

Thema

Untersuchung der Eignung von In-situ-Gammaspektrometern für den Nachweis von inkorporierten gammastrahlenden Radionukliden in nuklearen Notfallsituationen

Subject

Investigations on the applicability of in-situ gamma spectrometers for the detection of incorporated gamma-ray emitting radionuclides in nuclear emergency situations

Kennzeichen
3612S20014

Beginn
01.01.2013

Ende
31.12.2014

Fördermittel
EUR 179.275,-

Forschungs- / Auftragnehmer
TU München, Radiochemie

Projektleitung
Dr. T. Bücherl

Fachbetreuung BfS
Dr. U. Gerstmann / AG-SG 2.5

verantwortlich für den Text
Dr. U. Gerstmann

1. ZIELSETZUNG

In radiologischen Notfallsituationen kann es zur Abwendung oder Minimierung von Strahlenschäden durch inkorporierte Radionuklide bei betroffenen Personen notwendig sein, mit mobilen Messgeräten vor Ort und unter improvisierten Bedingungen Inkorporationsmessungen vorzunehmen, um gegebenenfalls innerhalb kürzester Zeit z. B. Dekorporationsmaßnahmen einleiten zu können. Für diese Messungen sollten elektrisch gekühlte, portable Reinstgermanium (HPGe)- und LaBr₃-Detektoren sowie ein Portalmonitor eingesetzt werden.

2. EINZELZIELSETZUNG

- Aufarbeitung des Standes von Wissenschaft und Technik
- Herstellung radioaktiver Quellen zur Bestückung des BfS-Ziegelphantoms
- Durchführung von Kalibriermessungen in verschiedenen Messgeometrien und mit verschiedenen Aktivitätsniveaus
- Auswertung und Dokumentation

3. METHODIK

Im Rahmen des Vorhabens sollte die Eignung dieser Messgeräte für diese Aufgabenstellung untersucht sowie entsprechende Kalibrierungen und Validierungen durchgeführt werden. Die Messungen erfolgten am BfS-Ziegelphantom, welches mit geeigneten stabförmigen Gamma-Strahlungsquellen (Stäbchenquellen) bestückt wurde. Die hierfür ausgewählten Nuklide Na-24, Hg-197, Mo-99/Tc-99m, Na-22, Tm-170, Cs-137 und Se-75 decken den gesamten relevanten Energiebereich von ca. 50 keV bis ca. 3 MeV ab. Die Messungen sollten für zwei verschiedene Phantomgrößen jeweils in sitzender, stehender und liegender Messgeometrie mit mindestens vier verschiedenen Aktivitätsniveaus, die abdeckend von knapp über der Nachweisgrenze bis zur Maximalaktivität sind, durchgeführt werden.

4. DURCHFÜHRUNG

Für die Herstellung der Stäbchenquellen wurden verschiedene Verfahren erprobt und optimiert. Die Homogenität der Quellen wurde gammaspektrometrisch nachgewiesen. Die entsprechenden Radionuklide wurden - soweit möglich - von Dritten bezogen oder durch Neutronenaktivierung (NAA) am FRM II¹⁾ vom Auftragnehmer hergestellt.

¹⁾ Forschungs-Neutronenquelle Heinz Maier-Leibnitz, TU München

5. ERGEBNISSE

5.1 HERSTELLUNG VON STÄBCHENQUELLEN

Für die kurz- (Hg-197, Mo-99/Tc-99m, Na-24) und für die langlebigen Radionuklide (Na-22, Se-75, Cs-137, Tm-170) wurden zwei verschiedene Verfahren zur Herstellung der Stäbchenquellen entwickelt. Die Quellen mit kurzlebigen Nukliden mussten nur eine minimale mechanische Stabilität erfüllen, während die Quellen mit den langlebigen auch über die Vorhabensdauer hinaus für weitere Zwecke vom BfS genutzt werden sollten. Auch sollte das Verfahren geeignet sein, künftig für die Herstellung weiterer Quellen genutzt werden zu können. Die Stäbchenquellen haben eine doppelte Wandung (außen PVC¹, innen PE²) und einen Außendurchmesser von 6 mm. Die Radionuklid-Lösungen wurden mit einem Reliefigießpulver vermischt, das nach dem Einfüllen in die inneren Stäbchen aushärtete. Der Durchmesser der Füllung beträgt 3,6 mm. Die Stäbchen sind mit Epoxidharz versiegelt.

Die Einhaltung der geforderten Homogenität der Aktivität der Quellen ($\pm 5\%$) wurde gammaspektrometrisch überprüft

5.2 KALIBRIER- UND DOSISLEISTUNGSMESSUNGEN

Durch vier unterschiedliche Anzahlen von Stäbchen wurden für jedes Nuklid vier Aktivitätsbestückungen erstellt. Durch geeignete Auswahl der Bestückungspositionen wurde eine ausreichende Gleichverteilung über den gesamten Korpus erzielt. Die Aktivitäten lagen zwischen 36 kBq und 10 MBq. Die Messungen wurden in den Phantomgrößen P4 (61,5 kg) und P5 (77,8 kg) in sitzender und stehender Phantomanordnung und in Abständen zwischen 50 cm und 100 cm durchgeführt. Für jede Messanordnung wurden die Zähleffektivitäten des HPGe- und des LaBr₃-Detektorsystems bei den Energien 84, 136, 140, 181, 191, 264, 4001, 662, 1275, 1368 und 2754 keV gemessen. Auf dieser Basis wurden die Zählausbeuten über einen Energiebereich von ca. 80 keV bis ca. 2800 keV berechnet. Je nach Detektor, Geometrie und Energie lagen die Zählausbeuten zwischen ca. 2E-6 und 7E-4.

Zusätzlich wurden bei den stehenden Phantomen direkt am Bauch Dosisleistungsmessungen durchgeführt. Zusammenfassend konnten - außer für Tm-170 - bei allen Messungen vom Untergrund signifikant erhöhte Dosisleistungen nachgewiesen werden. Gleiches gilt für die durchgeführten Messungen mit dem Portalmonitor.

5.3 NACHWEISGRENZEN

Auf Basis der Kalibriermessungen (s. 5.2) wurden für die gegebenen Messanordnungen die Nachweis- und Erkennungsgrenzen sowie die Vertrauensbereiche gemäß DIN/ISO 11929 für die folgenden Radionuklide berechnet: Na-22, Mn-54, Fe-59, Co-57, Co-60, As-73, Se-75, Mo-99/Tc-99m, Sn-113/In-113m, Sb-125, I-131, Cs-134, Cs-137, Ba-133, Ba-140, Ir-192, Tl-204, Am-241. Sie liegen im Bereich zwischen 1 kBq und 90 kBq, abhängig von der Phantomgröße und dem jeweiligen Radionuklid.

6. UMSETZUNG DER ERGEBNISSE

Die Untersuchungen zur Herstellung von Stäbchenquellen können künftig genutzt werden, um weitere Quellen mit anderen Nukliden herzustellen. Dies ist insbesondere für die Notfallvorsorge von Interesse, da derartige Quellen mit Sondernukliden nicht oder nur zu sehr hohen Kosten erworben werden können. Die vom Auftragnehmer hergestellten Tm-170- und Se-75-Quellen wurden bereits im Herbst 2014 für Sondermessungen im Rahmen der In-vivo-Ringversuchskampagne genutzt.

Die Kalibrierungsmessungen und die daraus erhaltenen Effizienzkurven können mit kleinen Einschränkungen auf vergleichbare Messanordnungen übertragen werden, ohne dass zusätzliche Kalibrierungsmessungen durchgeführt werden müssen.

Die auf Basis der experimentellen Daten abgeschätzten Nachweisgrenzen unterstreichen die Nutzbarkeit von tragbaren Gammaspektrometrie-Systemen für die In-situ-Bestimmung inkorporierter Radionuklide. Sie zeigen ferner, dass dies für eine Vielzahl potenziell in radiologischen Notfällen vorkommender Gammastrahler möglich ist.

¹) Polyvinylchlorid

²) Polyethylen

Themenbereich 03

Strahlenbiologie - Wirkung von ionisierender und nichtionisierender Strahlung,
Strahlenempfindlichkeit

Subject area 03

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

Thema			
3D/4D Architektur von chromosomalen Bruchpunktregionen in Zellkernen nach Bestrahlung von Normalzellen und Tumorzellen			
Subject			
<i>3D/4D architecture of chromosomal break point regions in nuclei after radiation exposure of normal and cancer cells</i>			
Kennzeichen	Beginn	Ende	Fördermittel
3610S30015	01.10.2010	31.03.2014	EUR 1.164.906,-
Forschungs- / Auftragnehmer			
Ruprecht-Karls-Universität, Kirchhoff-Institut für Physik, Heidelberg (in Kooperation mit: Klinikum der Ludwig-Maximilians-Universität, Klinik und Poliklinik für Strahlentherapie und Radioonkologie, München; Universität der Bundeswehr, Angewandte Physik und Messtechnik, München; Technische Universität, Fachbereich Zoologie, Strahlenbiologie und DNA Reparatur, Darmstadt; Helmholtz Zentrum München, Institut für Strahlenschutz, München)			
Projektleitung	Fachbetreuung BfS	verantwortlich für den Text	
Prof. Dr. M. Hausmann	Dr. U. Kulka / AG-SG 1.2	Prof. Hausmann, Prof. Cremer, PD Dr. Friedl, Prof. Dollinger, Prof. Löbrich, Dr. Friedland	

1. ZIELSETZUNG

Ziel des Gesamtprojektes war es, ein durch experimentelle Daten von Chromatin abgesichertes, mechanistisches Modell der Strahlenwirkung zu entwickeln und zu verfeinern, das zur Abschätzung der karzinogenen Wirkung niedriger Strahlendosen beiträgt. Im Rahmen der Kooperationsgemeinschaft sollten hierzu insbesondere Mechanismen der Induktion und Reparatur von Doppelstrangbrüchen (DSB) auf der Ebene struktureller Veränderungen von Chromatinregionen experimentell mittels 3D-Fluoreszenzmikroskopie und neu entwickelten Verfahren der molekularen Lokalisationsmikroskopie („Spectral Position Determination Microscopy“, SPDM) sowie STED¹⁾-Mikroskopie bzw. theoretisch mit Hilfe von Computersimulationsmodellen erforscht werden. Für die experimentelle Charakterisierung der Zeitkonstanten (4D) bei der Reparatur von DNA-DSB sollte besonderes Gewicht auf die Prozessdynamik sowie auf die Abhängigkeit von der Lokalisation im Genom gelegt werden. Es sollte untersucht werden, ob die Wahl des benutzten Reparaturwegs vom Genomort des Bruchs abhängt und welche zellulären Reparaturfaktoren abhängig vom Bruchort beim Reparaturvorgang eine Rolle spielen.

2. EINZELZIELSETZUNG

2.1 MODELLIERUNG VON CHROMOSOMALEN BRÜCHEN IN ZELLKERNEN NACH BESTRAHLUNG

Die Modellierung von chromosomalen Brüchen in Zellkernen nach Bestrahlung hatte zum Ziel, das biophysikalische Programmpaket PARTRAC²⁾ in mehrfacher Hinsicht weiter zu entwickeln. Nach Überprüfung vorliegender Modellansätze sollte der Einfluss von hetero- und euchromatischen Regionen im Zellkern auf die Entstehung wie auch auf die Reparatur von DNA-Schäden in diesen Strukturelementen modellmäßig erfasst werden. Des Weiteren sollte ein auf Spurstrukturechnungen basierendes Modell für Chromosomenaberrationen entwickelt werden. Schließlich sollte ein Modell zur Beschreibung der Dynamik von strahleninduzierten Foci auf der Basis des DNA-Reparaturmodells konzipiert werden.

2.2 BEWEGLICHKEIT UND FEINSTRUKTUR VON SCHADENSINDUZIERTEN FOCI

Die Beweglichkeit von strahleninduzierten Foci als Marker für geschädigte Chromatinbereiche sollte in Abhängigkeit von LET (linearer Energie-Transfer) und genetischen Faktoren untersucht werden. Damit ergab sich die Möglichkeit, Modelle zur Bildung von genetischen Defekten, z. B. der Erzeugung unterschiedlicher Chromoso-

¹⁾ Stimulated Emission Depletion

²⁾ Particles Tracks

menaberrationen, zu testen und weiterzuentwickeln. Des Weiteren sollte die Feinstruktur strahleninduzierter Foci nach Modulation der Focibestandteile u. a. in Abhängigkeit des LET auf Größenskalen unter dem Beugungslimit durch Lokalisationsmikroskopie untersucht werden.

2.3 CHARAKTERISIERUNG DER REPARATUR VON HETEROCHROMATISCHEN DNA-DOPPELSTRANGBRÜCHEN (DSB) IN G1-PHASE-ZELLEN

CtIP¹⁾ ist in der G2-Phase für die Anrektion von DSB in der langsamen Reparatur verantwortlich. In vorläufigen Studien konnten wir zeigen, dass CtIP auch in der langsamen Reparatur in der G1-Phase benötigt wird. Im Rahmen dieses Projekts sollte nun überprüft werden, ob CtIP tatsächlich eine Funktion bei der DSB-Reparatur in der G1-Phase besitzt.

2.4 CHARAKTERISIERUNG VON CHROMATINARCHITEKTUREN UND CHROMATINKONFORMATIONSÄNDERUNGEN AUF DER MIKRO- UND NANOSKALA

Strahleninduzierte Veränderungen der Chromatinarchitektur und -struktur sollten im Hinblick auf ein mechanistisches Modell der Strahlenwirkung und Reparatur untersucht werden. Auf der Mikroskala sollten Effekte der Genomorganisation bei Hochdosisexposition untersucht werden. Mittels hochauflösender Lokalisationsmikroskopie sollten auf der Nanoskala Veränderungen von Nukleosomenverteilungen (Histon 2A und 2B) in Interphase-Zellkernen sowie die räumliche Struktur von Bruchpunktregionen vor und nach Strahlenexposition visualisiert und anschließend analysiert werden. Ein wichtiger Punkt dabei stellte die Präparation des biologischen Materials dar, um optimale Mikroskopie-Bilder (z. B. gutes Signal-zu-Hintergrund-Verhältnis, Einbettmedium) zu erreichen. Diese auftretenden Verpackungsänderungen der Nukleosomen allgemein und getrennt nach Hetero- und Euchromatin sollten in Abhängigkeit von der Reparaturzeit statistisch untersucht werden, um anschließend diese Ergebnisse systematisch vergleichen zu können. Schlussfolgerungen sollten insbesondere für die Strahlentherapie möglich sein.

3. METHODIK

3.1 MODELLIERUNG VON CHROMOSOMALEN BRÜCHEN IN ZELLKERNEN NACH BESTRAHLUNG

Der Vergleich zwischen gemessenen Daten und Modellrechnungen zu DNA-Reparaturprozessen nach Photon- und Ionenbestrahlung diene der Ableitung verbesserter Parametersätze und der Untersuchung der Vorhersagefähigkeit entsprechender Rechnungen für andere experimentelle Gegebenheiten und Strahlenqualitäten.

Zur Beschreibung hetero- und euchromatischer Regionen im Zellkern wurde im DNA-Modell in PARTRAC eine zusätzliche Klassifizierungsebene eingefügt. Das DNA-Reparaturmodell in PARTRAC wurde zu einem Modell für Chromosomenaberrationen fortentwickelt, in dem die Zusammensetzung aller DNA-Fragmente mit Anteilen aus unterschiedlichen Chromosomen in der zeitlichen Abfolge registriert wurde. Als Ansatz zur Modellierung von Reparatur-Foci wurde das Entstehen und Verschwinden von γ -H2AX-Foci an bestimmte Stationen im Reparaturmodell angekoppelt und eine räumliche Ausbreitung entlang des Genoms angesetzt.

3.2 BEWEGLICHKEIT UND FEINSTRUKTUR VON SCHADENSINDUZIERTEN FOCI

Nach Ionen-Mikrobestrahlung mit Ionen unterschiedlicher LETs sollte die Beweglichkeit der Foci während der nachfolgenden Inkubation mittels Immunfluoreszenz und „live-cell imaging“ bestimmt werden. Dazu wurden unterschiedliche Bestrahlungsmuster mit 55-MeV-Kohlenstoffionen (hoch-LET) und 20-MeV-Protonen (niedrig-LET) am Mikrostrahl SNAKE²⁾ des Tandembeschleunigers in Garching appliziert. In Lebendzellexperimenten direkt am SNAKE-Bestrahlungsplatz wurde die Bewegung der Foci mittels Relativmessungen quantitativ untersucht und dabei die Focibeweglichkeit nach Hoch- und Niedrig-LET-Strahlung miteinander verglichen. Durch die Relativmessungen wurden systematische Fehler weitgehend unterdrückt. Außerdem wurde in Lebendzellexperimenten die Anlagerungskinetik in strahleninduzierte Foci für MDC 1, 53BP1 und Rad52 in HeLa-Zellen in Abhängigkeit der Strahlenart (55-MeV-Kohlenstoffionen versus 20-MeV-Protonen) studiert.

¹⁾ ein Reparaturprotein

²⁾ supraleitendes Nanoskop für angewandte kernphysikalische Experimente

Um den Einfluss genetischer Faktoren auf die Foci-Beweglichkeit zu testen, sollten Kandidatengene durch RNA-Interferenz oder chemische Inhibitoren herunterreguliert werden. Die Feinstruktur der entlang der Ionenspur auftretenden Reparaturfoci wurde mittels Lokalisationsmikroskopie und STED-Mikroskopie und im Hinblick auf die Kolo-kalisation unterschiedlicher Reparaturfaktoren bestimmt und in unterschiedlichen Chromatinbereichen untersucht.

3.3 CHARAKTERISIERUNG DER REPARATUR VON HETEROCHROMATISCHEN DNA-DOPPELSTRANGBRÜCHEN (DSB) IN G1-PHASE-ZELLEN

Anhand von siRNA sollte CtIP in Zellen depletiert werden und in diesen Zellen sollte die DSB-Reparatur anhand von immunfluoreszenz-mikroskopischer Analyse untersucht werden. Weiterhin sollten Translokationen anhand einer Kombination aus vorzeitiger Chromosomenkondensation (PCC) und FISH (Fluorescence in situ hybridization) untersucht werden.

3.4 CHARAKTERISIERUNG VON CHROMATINARCHITEKTUREN UND CHROMATINKONFORMATIONSÄNDERUNGEN AUF DER MIKRO- UND NANOSKALA

Auf der Mikroskala sollten mittels 3D-Laser-Scanning-Mikroskopie und 3D-Bildanalyse p53-defiziente Zellen hinsichtlich der Anordnung und Volumina von Chromosomenterritorien nach 10 Gy Bestrahlung über eine Reparaturzeit von 10 Tagen untersucht werden.

Für die Untersuchung von Chromatinkonformationen auf der Nanoskala wurden Zelllinien verwendet, bei denen die Nukleosomen (H2A oder H2B) mittels Yellow Fluorescent Protein (YFP) oder Green Fluorescent Protein (GFP) markiert sind. Beide Zelllinien zeigten eine stabile Expression dieser Proteine. Über spezifische Antikörper wurden zusätzlich hetero- und euchromatische Bereiche an diesen etablierten HeLa-Zellen markiert, um eine Unterscheidung dieser chromatischen Bereiche treffen zu können und somit diese auch einzeln zu analysieren. Alle Zellen wurden mittels SPDM vor und nach γ -Bestrahlung (klinisch und strahlentherapeutisch relevante Bestrahlungsarten) zu verschiedenen Reparaturzeiten untersucht. Konformationsänderungen während der Reparatur wurden mittels Clusteranalyseverfahren und Algorithmen der statistischen Physik und Graphentheorie ausgewertet und statistisch erfasst. Bei der hochauflösenden Lokalisationsmikroskopie wurden die fluoreszent markierten Moleküle/Proteine (konventionelle Fluorophore) durch einen Laser (licht-induziert) zum reversiblen Photobleichen („Blinken“) angeregt. Die statistische Rückkehr dieser Fluorophore aus dem reversibel gebleichten Zustand kann für die optische Isolation über die Zeit und damit zur räumlichen Separation genutzt werden. Damit können Molekülpositionen auf wenige Nanometer genau lokalisiert werden und molekulare Distanzen im Bereich von 10 nm bestimmt werden.

4. DURCHFÜHRUNG

4.1 MODELLIERUNG VON CHROMOSOMALEN BRÜCHEN IN ZELLKERNEN NACH BESTRAHLUNG

Die Überprüfung bisheriger Modellansätze in und Rechnungen mit PARTRAC betraf insbesondere das DNA-Reparaturmodell im Hinblick auf den Anteil unverbundener Enden von DNA-Doppelstrangbrüchen nach längerer Reparaturzeit, der im Modell bei abnehmender Dosis im Widerspruch zu gemessenen Daten stark angestiegen war.

Das DNA-Modell in den PARTRAC-Modulen wurde dahingehend erweitert, dass die unterschiedliche Chromatinstruktur von hetero- und euchromatischen Zellkernregionen durch 2 Datensätze von je 5 Chromatinfaserelementen mit hoher bzw. geringer Packungsdichte repräsentiert wurde. Die einheitliche Struktur der Schnittstelle aller Basiselemente erlaubte einen nahtlosen Übergang zwischen den Chromatintypen.

Aus SCD¹⁾-Modelldaten der Uni Heidelberg wurde die DNA in einem menschlichen Fibroblasten-Zellkern mit Hilfe einer auf Isochorendaten basierenden Verteilung von hetero- und euchromatischen Regionen konstruiert. Modellparameter zu initialen DNA-Schäden, wie Scavenging von OH-Radikalen, und zu ihrer Reparatur, wie Verfügbarkeit von Enzymen und Mobilität von DNA-Enden, wurden regionsabhängig definiert und anhand von Testrechnungen überprüft.

Im neu entwickelten Chromosomenaberrationsmodell wurde die dosisabhängige Bildung von dizentrischen Chromosomenaberrationen nach γ - und α -Strahlung mit experimentellen Daten und anderen Modellrechnun-

¹⁾ spherical chromatin domains

gen verglichen. Es wurde untersucht, welchen Einfluss verschiedene Parametervariationen auf die berechnete Ausbeute von Chromosomenaberrationen haben. Ein an das DNA-Reparaturmodell gekoppeltes γ -H2AX-Foci-Modell wurde konzeptionell entwickelt und im Rahmen von Parameterstudien getestet.

4.2 BEWEGLICHKEIT UND FEINSTRUKTUR VON SCHADENSINDUZIERTEN FOCI

Im Rahmen des Projektes wurde das Set an stabil transfizierten Zelllinien, die fluoreszenzmarkierte Focibildner exprimieren, erweitert. Die Modulation von Focibildung wurde durch RNA-Interferenz von Kandidatenproteinen oder chemischen Inhibitoren untersucht. Die experimentelle Methodik für die Untersuchung von Foci durch hochauflösende Mikroskopie (SPDM, STED) wurde erfolgreich optimiert.

Durch systematische Studien wurde die ideale Antikörperkonzentration für die Lokalisationsmikroskopie der Foci ermittelt. Im Laufe des Projektes wurde von der Universität der Bundeswehr München ein STED-Mikroskop beschafft, mit dem komplementär zur Lokalisationsmikroskopie die Analyse der Feinstruktur von strahleninduzierten Foci gelang. Dies und ein neues Zellsubstrat haben signifikante Verbesserungen in der Bildgebung bedingt. Kolokalisationsanalysen wurden mittels des Van Steensel-Verfahrens und eines neu entwickelten rPDM (reduced product of the differences of the mean) durchgeführt. Die Lokalisierung von γ -H2AX, Rad51 und 53BP1 innerhalb von Foci wurde so untersucht.

4.3 CHARAKTERISIERUNG DER REPARATUR VON HETEROCHROMATISCHEN DNA-DOPPELSTRANGBRÜCHEN (DSB) IN G1-PHASE-ZELLEN

Mittels siRNA wurde CtIP in 82-6hTERT¹⁾-Fibroblasten depletiert. Anschließend wurden die Zellen bestrahlt und nach verschiedenen Reparaturzeiten fixiert. Nach γ -H2AX-Färbung konnte in den G1-Phase-Zellen die Reparatur analysiert werden. Für die Analyse der Translokationen wurden die bestrahlten Zellen mit mitotischen HeLa-Zellen fusioniert und nach erfolgter FISH-Färbung konnten ebenfalls die G1-Phase-Zellen ausgewertet werden.

4.4 CHARAKTERISIERUNG VON CHROMATINARCHITEKTUREN UND CHROMATINKONFORMATIONSÄNDERUNGEN AUF DER MIKRO- UND NANOSKALA

Chromosomenterritorien wurden mittels „Chromosome Painting“-FISH auf Präparaten markiert, die nach 10 Gy Bestrahlung an verschiedenen Tagen nach der Exposition fixiert wurden. Die Zellkerne wurden gegengefärbt und mittels Laser-Scanning-Mikroskopie dreidimensional dargestellt. Zur Auswertung wurde die Analysesoftware Nemo (Kooperation Universität Toulouse) genutzt. Es wurden Abstände zum Zellkernrand und Volumina der markierten Objekte bestimmt und statistisch ausgewertet.

Strukturelle Veränderungen im Gesamt-, Eu- und Heterochromatin wurden durch nanometergenaue Messung des Nukleosomenmusters mittels SPDM erfasst, wozu die vorhandenen Mikroskopsysteme optimiert wurden. Dazu mussten je Bildausschnitt Zeitserien von bis zu 2000 Einzelbildern erfasst und auf Blinkereignisse (reversibles Photobleichen) einzelner Farbstoffmoleküle untersucht werden. Neben den γ -Bestrahlungen der Zellen mit 0,5 Gy, 2 Gy und 4 Gy und Fixierung nach unterschiedlichen Zeitpunkten (30 Minuten und 48 Stunden) wurden in weiteren Versuchen Zellen mit Photonen unterschiedlicher Energiespektren bestrahlt, wie sie in der Strahlentherapie angewendet werden (Gesamtdosis 3,5 Gy: hochenergetische Photonen (6MV) via Linearbeschleuniger „LINAC, Elekta™ Synergy system with Agility® beam shaping“; niedrigerenergetische Photonen via „INTRABEAM™“ für Intra Operative Radiotherapie (50 kV)). Nach verschiedenen Inkubations-/Reparaturzeiten [15 min, 30 min, 12 Std., 48 Std.] wurden die Zellen mit Formaldehyd fixiert. Die Nukleosomenanordnung in 2D-Bildschnitten wurde anhand der Histonverteilung für GFP-H2B untersucht. Die resultierenden Bilder wurden einer Clusteranalyse und Methoden der Graphentheorie und statistischen Physik zur Auswertung unterzogen.

¹⁾ human telomerase reverse transcriptase

5. ERGEBNISSE

5.1 MODELLIERUNG VON CHROMOSOMALEN BRÜCHEN IN ZELLKERNEN NACH BESTRAHLUNG

Die Parametervariationen im Reparaturmodell ergaben, dass die Beschränkung der Mobilität von unverbundenen DNA-Enden geeignet war, deren Anteil mit zunehmender Dosis bei Photonenbestrahlung nicht abnehmen zu lassen.

Die hetero- und euchromatischen Strukturen zeigten die erwarteten Auswirkungen auf die modellierten Ausbeuten bei verschiedenen biologischen Endpunkten. Jedoch lieferte der zunächst verwendete Ansatz zur Verteilung der Regionen im Zellkern auf der Grundlage von Isochorendaten einen zu großen Beitrag von Heterochromatin zum gesamten Schadensbild. Die Ausbeute an dizentrischen Chromosomenaberrationen durch γ - und α -Strahlung zeigte sehr gute Übereinstimmung hinsichtlich der Dosisabhängigkeit, während die absoluten Werte um die Faktoren 5 bei γ -Strahlung sowie 2 bei α -Strahlung zu hoch lagen. Diese Diskrepanz ließ sich durch Parametervariationen bei den Modellrechnungen nur wenig verändern.

Die im Modell angesetzte Mobilität der DNA-Enden führte zu einer sub-diffusiven Bewegung der DNA-Enden in Einklang mit gemessenen Werten. Für das γ -H2AX Foci-Modell wurden Parameter ermittelt, die die Kinetik und die räumliche Ausdehnung dieser Foci in Einklang mit experimentellen Daten beschreiben.

5.2 BEWEGLICHKEIT UND FEINSTRUKTUR VON SCHADENSINDUZIERTEN FOCI

Proteine, die an NHEJ¹⁾ beteiligt sind, zeigten nach Ionenbestrahlung nur bei Platzierung von 50-100 Ionen pro Bestrahlungspunkt mikroskopisch detektierbare Akkumulationen. Nach Runterregulation der Kandidatenproteine WSTF, Mdc1, 53BP1, Mre11 und Rad50 wurden keine Veränderungen der Größe, Feinstruktur oder Mobilität strahleninduzierter Foci beobachtet.

Die Bewegung der strahleninduzierten Foci gehorcht LET-unabhängig den Gesetzen der anomalen Subdiffusion. Protoneninduzierte Foci bewegen sich schneller als hoch-LET-Foci, aber die Bewegung erscheint nicht schneller als die von ungeschädigtem Chromatin. Die Kinetik der Rekrutierung von Mdc1 und Rad52 hängt von Dichte und Komplexität der Schäden ab, während 53BP1 davon unabhängig rekrutiert wird. Die Rekrutierungskinetik für Mdc1 und Rad52 ist für hoch-LET Strahlung deutlich schneller als für niedrig-LET-Strahlung, während für 53BP1 die Kinetik für hoch- und niedrig-LET-Strahlung gleich ist. Der Zeitpunkt, bis nach der Bestrahlung die Reparatur beginnt, ist allerdings auch bei 53BP1 bei hoch-LET-Strahlung kürzer als für niedrig-LET-Strahlung.

Mittels Methoden der höchstauflösenden optischen Fluoreszenzmikroskopie wurde eine partielle Antikorrelation zwischen 53BP1 und γ -H2AX und eine nahezu vollständige Antikorrelation zwischen 53BP1 und Rad52 festgestellt, sowohl für hoch-LET- wie auch für niedrig-LET-Ionenbestrahlungen.

5.3 CHARAKTERISIERUNG DER REPARATUR VON HETEROCHROMATISCHEN DNA-DOPPELSTRANGBRÜCHEN (DSB) IN G1-PHASE-ZELLEN

Die gewonnenen Ergebnisse zeigen, dass CtIP auch in der G1-Phase an der Reparatur heterochromatischer DSBs beteiligt ist. Die Reparatur dieser DSBs geht mit der Ausbildung chromosomaler Translokationen einher und erfolgt über den Weg des c²-NHEJ.

5.4 CHARAKTERISIERUNG VON CHROMATINARCHITEKTUREN UND CHROMATINKONFORMATIONSÄNDERUNGEN AUF DER MIKRO- UND NANOSKALA

Nach hoch-Dosis Bestrahlung konnte gezeigt werden, dass es ab Tag 5 zu einer deutlichen Vergrößerung der Chromosomenterritorien kommt, die nicht mit derselben Kernvergrößerung korreliert. Die Chromosomenterritorien zeigen eine signifikante Verschiebung zum Zellkernrand, die an den nachfolgenden Tagen wieder rückläufig ist. Gleichzeitig bilden sich zwei Populationen von Kernen aus, die einen signifikanten Volumensunterschied zeigen.

Die ersten Experimente konnten die Anwendbarkeit der Lokalisationsmikroskopie auf die gestellten biologischen Fragestellungen zur Nanostrukturanalyse zeigen. Ebenso wurden bildanalytische Ansätze zur syste-

¹⁾ non homologous end joining

²⁾ canonical

matischen Auswertung von Lokalisations- und Distanzmessungen beschleunigt und die Aufnahmeprozesse optimiert.

5.4.1 γ -Bestrahlung (0,5 Gy, 2 Gy und 4 Gy und Fixierung nach 30 Minuten und 48 Stunden)

Nukleosomenverteilungen von H2A und H2B zeigen bei unbestrahlten HeLa-Zellen eine identische, scheinbar zufällige Verteilung ohne Clusterbildung (Cluster = innerhalb 40 nm Radius \geq 3 Nachbarn), nachdem die Daten in Bezug auf die Anzahl der detektierten Fluorophore während der Messung (~2000-6000 Fluorophore pro Messung) normiert wurden. Dieses Ergebnis zeigt die Bedeutung der Detektionseffizienz bei SPDM, um vergleichbare Ergebnisse zu erhalten.

Nach Markierung und Analyse heterochromatischer Bereiche in unbestrahlten HeLa-Zellen konnte eine klare Clusterbildung festgestellt werden. 30 Minuten nach Bestrahlung wurde ein Rückgang dieser vorhandenen Clusterbildung detektiert, was auch zu einem starken Rückgang der Paarkorrelationsfunktionswerte unterhalb Dimensionen von 150 nm führte. Dies entspricht einer Chromatinentpackung. Bei den mit 0,5 Gy bestrahlten Zellen wurde nach 48 Stunden eine Erholung hinsichtlich der Clusterbildung detektiert sowie eine Rückverpackung gemessen. Zellen mit einer hohen Strahlendosis von 4 Gy zeigten einen vergleichbaren Verlauf in der Clusterformation. Die Veränderungen der Paarkorrelationsfunktion waren nicht so ausgeprägt wie bei 0,5 Gy, zeigten aber die gleiche Tendenz. Auf Grund der erhöhten Schadenshäufigkeit kann davon ausgegangen werden, dass in Euchromatin eine erhöhte Reparaturaktivität zu scheinbar weniger Bewegungsmöglichkeiten des Chromatins führt.

Fluoreszent markierte euchromatische Regionen in unbestrahlten HeLa-Zellen zeigten, vergleichbar zu Heterochromatin, ebenfalls eine klare Clusterbildung von markierten Nukleosomen. 30 min nach Bestrahlung konnte im Gegensatz zu Heterochromatin ein klarer Anstieg der Clusterbildung gezeigt werden. Bei allen Experimenten ist eine Rückbildung nach 48 Stunden zu erkennen. Die Paarkorrelationsfunktion zeigte in ihrem zeitlichen Verlauf nur geringfügige Änderungen oder ein dem Heterochromatin entgegen gesetztes Verhalten.

5.4.2 Therapeutische Photonen-Bestrahlung mit unterschiedlichen Energiespektren (6 MV vs. 50 kV und Fixierung nach 15 Minuten, 30 Minuten, 12 Stunden und 48 Stunden)

Nukleosomenverteilungen H2B zeigen bei unbestrahlten HeLa-Zellen eine statistische Verteilung mit nur geringer Clusterbildung (13 %).

- hochenergetische Photonen (6 MV) LINAC, Elekta™:
Nach Bestrahlung und 15 Minuten Inkubationszeit zeigte die Histonverteilung noch keine Veränderung im Vergleich zu den unbestrahlten Zellen. Danach zeigt sich über die Zeit (30 min, 12 Std., 48 Std.) ein linearer Anstieg der Clusterhäufigkeit (15 %, 18 %, 21 %). Ein Abfall der Kurve, gleichzusetzen mit einer erfolgreichen Reparatur, ist nach 48 Stunden noch nicht erkennbar.
- niedrigenergetische Photonen (50 kV) INTRABEAM™:
Bei diesen Versuchen zeigte sich schon anfangs (15 min) eine erhöhte Clusterbildung (20 %) gefolgt von einer maximalen Clusterbildung nach 12 Stunden (24 %). Bei 48 Stunden Inkubationszeit ist eine klare Erholung der Zellen zu registrieren (14 %). Die Clusterbildung ist vergleichbar zu den unbestrahlten Zellen.

6. UMSETZUNG DER ERGEBNISSE

Eine kurzfristige Anwendung der Ergebnisse für den praktischen Strahlenschutz ist nicht zu erwarten. Längerfristig können durch das bessere Verständnis des Einflusses der Chromosomenorganisation und -struktur auf die Strahlenempfindlichkeit zusätzliche diagnostische Möglichkeiten für die Einschätzung der individuellen Strahlenempfindlichkeit und somit auch für eine Therapiekontrolle entwickelt werden.

Thema			
Bestimmung und Validierung strahleninduzierter Genveränderungen in Brusttumoren zur verbesserten Brustkrebsrisikoabschätzung nach Exposition mit ionisierender Strahlung			
Subject			
<i>Detection and validation of radiation-induced gene alterations in breast cancer for an improved assessment of radiation-related risks</i>			
Kennzeichen	Beginn	Ende	Fördermittel
3611S30019	01.10.2011	31.01.2015	EUR 243.064,-
Forschungs- / Auftragnehmer			
Helmholtz Zentrum München - Deutsches Forschungszentrum für Gesundheit und Umwelt Abteilung für Strahlenzytogenetik, Neuherberg			
Projektleitung	Fachbetreuung BfS	verantwortlich für den Text	
Prof. Dr. H. Zitzelsberger	U. Oestreicher / AG-SG 1.2	Prof. Dr. H. Zitzelsberger	

1. ZIELSETZUNG

Ziel des Vorhabens war der Nachweis von strahleninduzierten Genveränderungen in Mammakarzinomen. Insbesondere sollten die in der Pilotstudie (3608S30004) nachgewiesenen strahlenassoziierten Veränderungen an einem unabhängigen Tumorkollektiv validiert und durch zusätzliche epigenetische Untersuchungen weitere Strahlenmarker identifiziert werden.

2. EINZELZIELSETZUNG

Während der Projektlaufzeit wurden folgende Einzelziele verfolgt:

2.1 ETABLIERUNG EINES VALIDIERUNGSKOLLEKTIVS VON BRUSTKREBSFÄLLEN AUS DER UKRAINE UND ERWEITERUNG DES KOLLEKTIVS DER PILOTSTUDIE

Es sollte ein Validierungskollektiv bestehend aus Mammakarzinomen von Liquidatorinnen des Tschernobyl-Unfalls sowie von angeglichenen Kontrolltumoren aus unbelasteten Gebieten der Ukraine etabliert werden. Dabei mussten eine Reihe von Auswahlkriterien (Alter < 60 Jahre, Rauchverhalten, Vorliegen ausführlicher Anamnese) beachtet werden.

2.2 ERHEBUNG KLINISCHER VERLAUFSDATEN FÜR DAS KOLLEKTIV DER PILOTSTUDIE UND KORRELATION MIT BESTEHENDEN MOLEKULARGENETISCHEN DATEN

Für die Tumoren der Pilotstudie sollten klinische Verlaufsdaten erhoben werden, die in einem weiteren Schritt mit bestehenden molekulargenetischen Daten korreliert werden sollten.

2.3 DOSISREKONSTRUKTION DER EXPONIERTEN PATIENTINNEN

Es sollten für die exponierten Patientinnen die absorbierten Dosen retrospektiv ermittelt werden.

2.4 ASSERVIERUNG UND PROBENVORBEREITUNG DER BRUSTKREBSGEWEBE ENTSPRECHEND DER PILOTSTUDIE

Es sollten die Gewebeproben aller identifizierten Fälle gesammelt und aufbewahrt und entsprechend den Vorgaben aus der Pilotstudie für weiterführende molekulargenetische Analysen vorbereitet werden.

2.5 UNTERSUCHUNG VON GLOBALEN GENOMISCHEN KOPIENZAHVERÄNDERUNGEN AN FÄLLEN DER PILOT- UND VALIDIERUNGSKOHORTEN

Es sollten globale genomische Kopienzahlveränderungen an Fällen der Pilot- und Validierungskohorte vergleichend untersucht werden.

2.6 UNTERSUCHUNG DER GLOBALEN miRNA EXPRESSION AN FÄLLEN DER PILOTSTUDIE

Es sollten die Fälle der Pilotstudie hinsichtlich der globalen miRNA¹⁾-Expression charakterisiert und spezifische Veränderungen validiert werden.

2.7 UNTERSUCHUNG DER RET- UND HAS2-EXPRESSION AN FÄLLEN DER PILOTSTUDIE MIT VORLIEGENDEN ERGEBNISSEN ZU GEN-UMLAGERUNGEN

Für die Fälle der Pilotstudie sollte die mRNA Expression des RET²⁾- und HAS2³⁾-Gens bestimmt werden, um sie mit den vorliegenden Ergebnissen zu genomischen RET- und HAS2-Umlagerungen zu korrelieren.

3. METHODIK

3.1 ZUSAMMENSTELLUNG DER TUMORKOHORTE

Um geeignete Brustkrebspatientinnen für diese Studie zu identifizieren, wurden das nationale Krebsregister der Ukraine und das staatliche Tschernobyl-Register, in dem die Liquidatoren des Reaktorunfalls erfasst sind, abgeglichen.

3.2 DOSISREKONSTRUKTION

Zur Ermittlung individueller Dosen für die Liquidatorinnen wurde die RADRUE⁴⁾-Methode verwendet. Die nötigen Informationen wurden in Interviews erhoben. Die erhobenen Daten wurden von einem Experten ausgewertet, der mit der Art und dem Ablauf der Aufräumarbeiten nach dem Reaktorunfall vertraut ist. Die aufbereiteten Daten wurden in die RADRUE-Software übertragen. Am Ende der Analyse wurden die Dosisrekonstruktionen auf ihre Plausibilität hin überprüft und mit unabhängigen Dosisinformationen für die untersuchten Personen verglichen.

3.3 PROBENVORBEREITUNG

Von allen Paraffinblöcken wurden in Kiew Serienschritte angefertigt, die für die einzelnen Untersuchungen (array-CGH⁵⁾, FISH⁶⁾, Immunhistochemie, miRNA-Analyse) verwendet wurden. Dadurch wurden alle Untersuchungen an demselben Tumorbereich durchgeführt. Die Paraffinschnitte wurden zudem mikrodisektiert, um die Tumorzellen anzureichern und unerwünschte Kontaminationen mit Normalgewebe zu minimieren.

3.4 GENOMISCHE KOPIENZAHLANALYSE

Die genomischen Kopienzahlanalysen wurden unter Verwendung von Agilent SurePrint G3 Human CGH microarrays (8x60K) an Fällen der Pilot- und Validierungskohorte untersucht. Mit Hilfe von statistischer Auswertung der Daten wurden die nachgewiesenen Kopienzahlveränderungen auf Korrelation mit Strahlenexposition und weiteren klinischen Daten/Tumorphänotypen getestet.

3.5 miRNA ANALYSE

Die miRNA-Expression der Tumorfälle aus der Pilotstudie wurde unter Verwendung von Agilent miRNA Microarrays (1205 miRNA Sonden) untersucht. Mittels statistischer Analyse wurden die Expressionswerte der miRNAs auf Korrelation mit Strahlenexposition und weiteren klinischen Daten/Tumorphänotypen getestet.

Veränderte miRNA-Expressionen der Tumorfälle wurden unter Verwendung von qRT-PCR⁷⁾ validiert.

¹⁾ micro-Ribonukleinsäure

²⁾ eine Rezeptor-Tyrosinkinase

³⁾ eine Hyaluronsäure-Synthase

⁴⁾ radiation dose reconstruction with uncertainty estimates

⁵⁾ comparativ genomic hybridisation

⁶⁾ Fluoreszenz-In-situ-Hybridisierung

⁷⁾ quantitative Reverse Transkriptase Polymerase Kettenreaktion

3.6 EXPRESSIONSANALYSE VON RET UND HAS2

Die mRNA-Expression des RET-Gens wurde mittels qRT-PCR untersucht. Die Auswertung der qRT-PCR-Daten erfolgte mit der delta-delta-CT¹⁾-Methode; die relative Genexpression wurde auf differentielle Expression zwischen zwei Gruppen getestet.

3.7 EXPRESSIONSANALYSE VON TRPS-1

Unter Verwendung eines TRPS²⁾-1-Antikörpers wurden immunhistochemische Untersuchungen zur Expression des TRPS-1-Proteins an Paraffinschnitten von Mammakarzinomen durchgeführt. Die Färbeintensität der angefärbten Tumorzellen wurde mit Hilfe der Definiens-Software bestimmt.

4. DURCHFÜHRUNG

4.1 ETABLIERUNG EINES MAMMAKARZINOM-KOLLEKTIVS UND ERHEBUNG KLINISCHER VERLAUFSDATEN

Das Brustkrebs-Validierungskollektiv für die Gruppe der Liquidatorinnen wurde wie unter 3.1 beschrieben zusammengestellt. Es wurden angegliche Kontrollfälle ausgewählt. Die Paraffinblöcke wurden gesammelt und aufbewahrt und Mikrotomschnitte hergestellt. Die klinischen Verlaufsdaten für die Pilotstudie wurden aus den Krankenakten zusammengestellt.

4.2 DOSISREKONSTRUKTION

Es wurden exponierte Patienten mit vorliegenden Gewebeproben identifiziert, die für Interviews und die anschließende Dosisrekonstruktion mittels RADRUE ausgewählt wurden.

4.3 GENOMISCHE KOPIENZAHLANALYSE

Es wurden Tumoren der Pilot- und Validierungskohorte im Hinblick auf globale genomische Kopienzahlveränderungen untersucht und auf Unterschiede zwischen exponierten und nicht-exponierten Fällen ausgewertet.

4.4 miRNA ANALYSE

Es wurden Tumoren der Pilotstudie hinsichtlich ihrer differentiellen Expression zwischen exponierten und nicht-exponierten Fällen für ausgewählte miRNAs aus den globalen miRNA-Array-Untersuchungen mit Hilfe von qRT-PCR untersucht.

4.5 EXPRESSIONSANALYSE DES RET- UND HAS2-GENS

Für eine Normalisierung der qRT-PCR-Daten sowie für die Ermittlung eines optimierten Schwellenwertes der vorausgegangenen FISH-Untersuchungen wurden Gewebeproben von normalem Brustepithel analysiert.

4.6 EXPRESSIONSANALYSE DES TRPS1-GENS

Es wurden Tumorareale auf immunhistochemisch gefärbten Paraffinschnitten im Hinblick auf die Expression des TRPS-1-Proteins ausgewertet.

5. ERGEBNISSE

Während der Projektlaufzeit wurden folgende Ergebnisse erzielt:

5.1 ETABLIERUNG EINES MAMMAKARZINOM-VALIDIERUNGSKOLLEKTIVS

Es wurden im Verlauf des Projekts insgesamt 100 Fälle aus den Datenbanken identifiziert, von denen auch Paraffingewebe verfügbar war. Von den verfügbaren Fällen wurden Serienschnitte angefertigt und durch Ent-

¹⁾ cycle threshold

²⁾ ein Transkriptionsregulator

fernung von Normalgewebe für Tumorzellen angereichert. Die Fälle wurden zur Nachverfolgung und Dosisabschätzung an die Dosimetrie-Gruppe weitergegeben und angeglichene Kontrollfälle ausgewählt.

5.2 DOSIS-REKONSTRUKTIONEN

Mit Hilfe der RADRUE-Methode konnten von 23 Liquidatorinnen Dosen rekonstruiert werden, von zwei weiteren Liquidatorinnen waren offizielle Dosisabschätzungen vorhanden. Die Dosen für diese 25 Patientinnen lagen in einem Bereich von 0,14 - 159 mGy. Insgesamt wurde dieser Teil des Projekts sehr stark von den politischen Ereignissen in der Ukraine beeinflusst, da viele Patientinnen unter den schwierigen politischen Gegebenheiten nicht bereit waren, die erforderlichen Interviews durchzuführen.

5.3 NACHWEIS VON KOPIENZAHIVERÄNDERUNGEN

Die Ergebnisse der genomischen Kopienzahl-Analyse von 84 Fällen wurden in einer „heatmap“-Darstellung zusammengefasst (.1). Für jeden Fall und für jedes Chromosom sind dabei die DNA-Verluste in rot und die DNA-Zugewinne in grün dargestellt. In der hierarchischen Clusteranalyse wurden alle Fälle mit einem ähnlichen Aberrationsmuster in einem Cluster zusammengefasst. Die Abbildung 1 zeigt das Ergebnis einer hierarchischen Clusteranalyse und die Zuordnung der Fälle nach dem Strahlenexpositionstatus. Daraus wird ersichtlich, dass sich die untersuchten Fälle in zwei Hauptcluster einteilen lassen und Cluster 2 sich in zwei Subcluster unterteilen lässt. Das Cluster 1 weist eine Anreicherung von strahlenexponierten Tumoren auf (70 % strahlenexponiert, 30 % nicht strahlenexponiert) während in Cluster 2.2 gehäuft nicht exponierte Fälle auftreten (23 % strahlenexponiert, 68 % nicht strahlenexponiert). In Cluster 2.1 ist die Verteilung von strahlenexponierten und nicht exponierten Fällen annähernd gleich (52 % strahlenexponiert, 48 % nicht strahlenexponiert). Die Assoziation der gebildeten Cluster korrelierten mit dem Expositionsstatus ist statistisch signifikant (exakter Fisher-Test, p-Wert: 0,034).

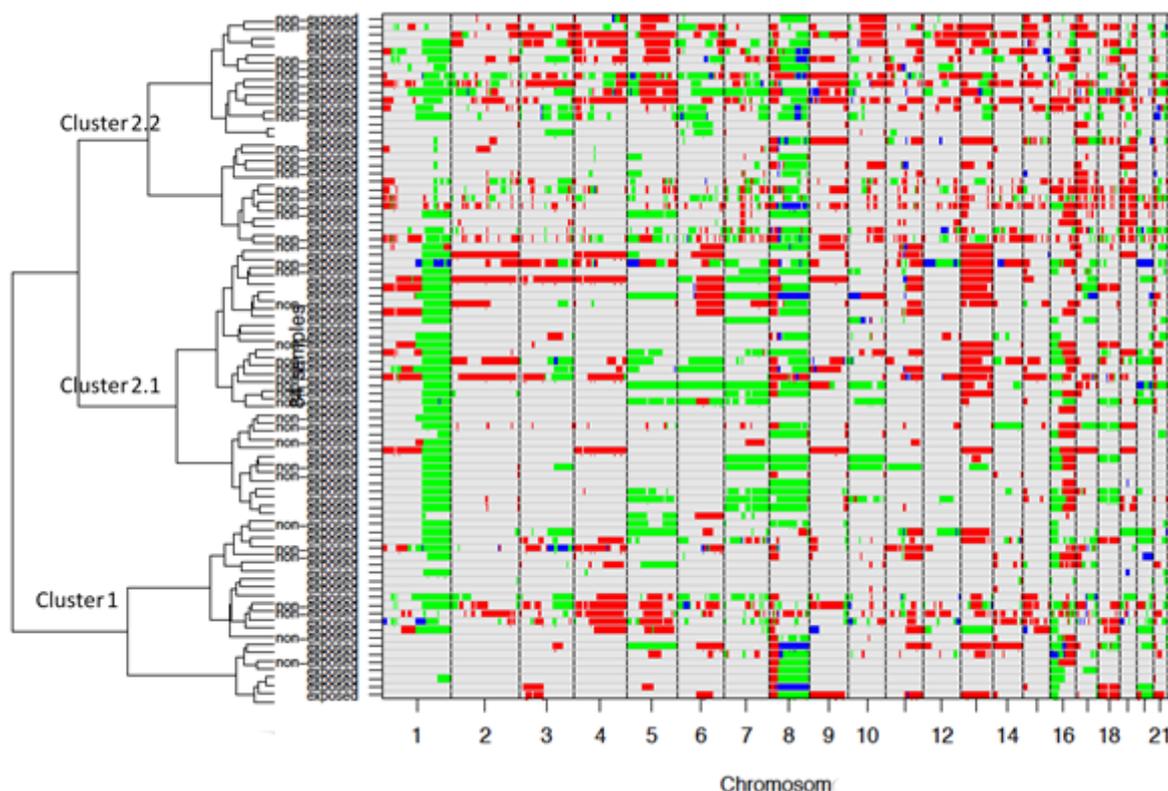


Abbildung 1: Genomische Kopienzahlveränderungen in 84 exponierten und nicht exponierten Mammakarzinomen. Grüne Bereiche zeigen DNA-Zugewinne, rote Bereiche DNA-Verluste, blaue Bereiche Amplifikationen auf einzelnen Chromosomen an. Die Fälle wurden durch hierarchische Clusteranalyse auf Grund ihrer Veränderungsmuster in Gruppen eingeteilt. Cluster 1 zeigt eine starke Anhäufung von exponierten Fällen.

5.4 NACHWEIS VON miRNA-VERÄNDERUNGEN

Die Korrelationsanalysen der miRNA-Expressionen zeigten für drei miRNAs (miR26b-5p, miR221-3p, miR222-3p) eine Assoziation mit der Strahlenexposition. Dabei korrelierte eine Überexpression dieser drei miRNAs jeweils mit dem Auftreten in exponierten Fällen (Abbildung 2). Alle drei miRNAs regulieren die Expression des Gens TRPS-1.

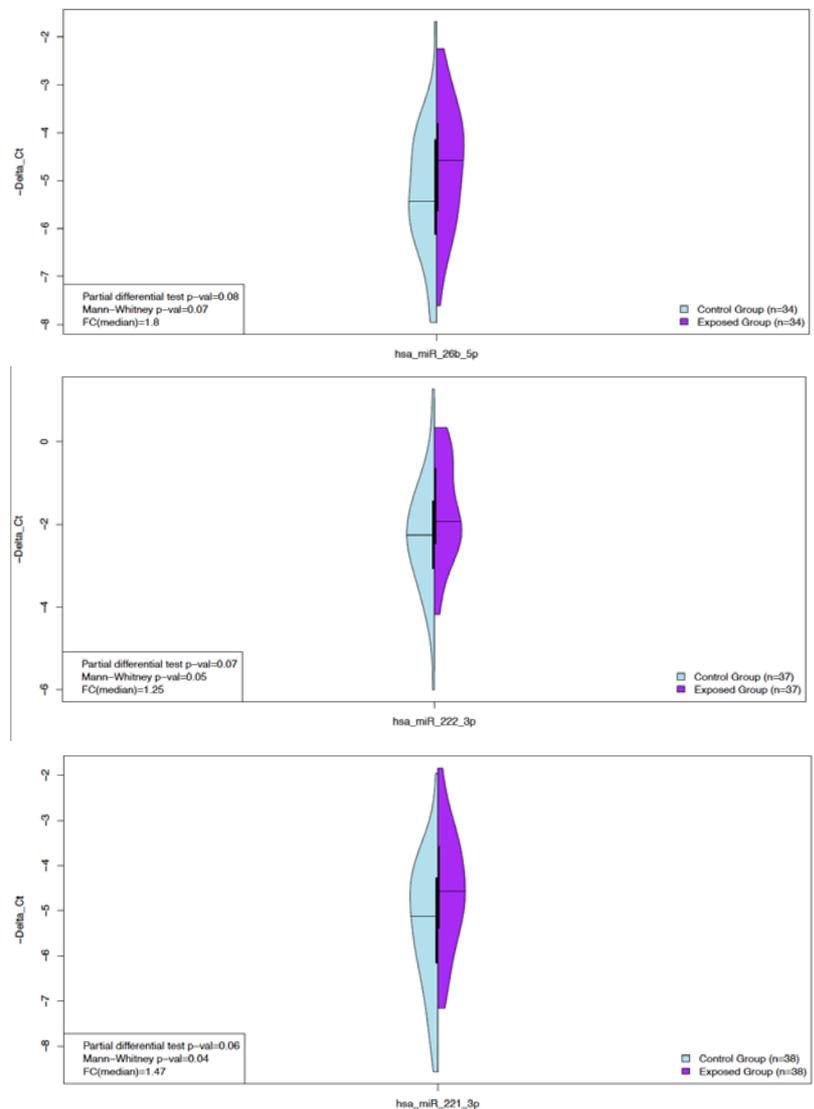


Abbildung 2: Expression der miRNAs miR26b-5p, miR221-3p, miR222-3p in exponierten und nicht exponierten Mammakarzinomen. In den sog. „violin plots“ ist links in hellblau die Expression in nicht exponierten Fällen und rechts in violett die Expression in exponierten Fällen dargestellt. Ein-gezeichnet ist jeweils auch die mediane Expression in jeder Gruppe

5.5 NACHWEIS DER TRPS-1-EXPRESSION

Die Proteinexpression von TRPS-1 war in den exponierten Fällen signifikant verringert im Vergleich zur Expression in nicht exponierten Fällen. Dies ist beispielhaft in Abbildung 3 gezeigt und wurde mit Hilfe der Definiens-Software für jeden Fall einzeln quantifiziert. Die gemessenen Proteinexpressionen sind in Abbildung 4 aufgetragen (Mann-Whitney Test, $p=0,024$). Die verminderte Expression in exponierten Fällen steht im Einklang mit der erhöhten Expression der miRNAs miR26b-5p, miR221-3p und miR222-3p, die die Expression von TRPS-1 negativ regulieren. Die strahlenassoziierte verringerte Expression des TRPS-1-Proteins stellt damit einen potenziellen Strahlenmarker in Mammakarzinomen dar.

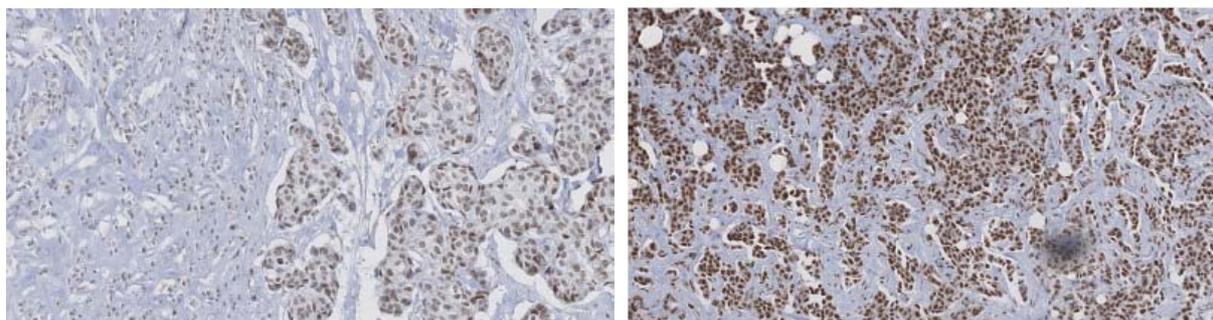


Abbildung 3: Immunhistochemische Färbung des TRPS-1-Proteins in Tumorzellen von Mammakarzinom-Schnitten eines exponierten (links) und eines nicht exponierten (rechts) Falls. Die verringerte TRPS-1-Expression in den Zellen des nicht exponierten Falles ist eindeutig zu erkennen

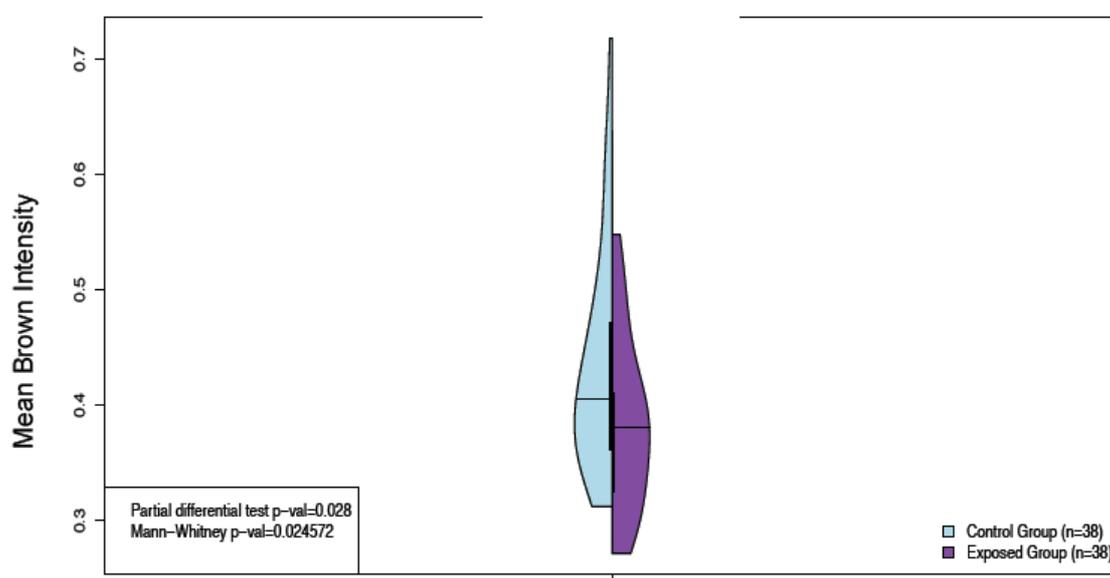


Abbildung 4: Immunhistochemische Färbung des TRPS-1-Proteins in nicht exponierten (hellblau) und exponierten (violett) Fällen. In den sog. „violin plots“ sind auch die medianen Expressionen von TRPS-1 für jede Gruppe eingetragen

5.6 NACHWEIS DER RET UND HAS2 mRNA-EXPRESSION

Die mRNA-Expressionen von RET und HAS2 wiesen keine Assoziation mit der Strahlenexposition auf. Eine Assoziation der RET-Expression mit dem Hormonrezeptorstatus konnte nachgewiesen werden ($p < 0,05$).

5.7 STATISTISCHE AUSWERTUNGEN

Die gesamtgenomischen Kopienzahlveränderungen wurden mit den klinischen Verlaufsdaten korreliert und eine Integration mit den miRNA-Daten wurde durchgeführt. Sieben DNA-Verluste zeigten eine Korrelation mit der Metastasierung sowie einzelne Veränderungen einen Zusammenhang zwischen genomischer Kopienzahl und miRNA-Expression.

6. UMSETZUNG DER ERGEBNISSE

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

Das Erkennen möglicher strahlenspezifischer Marker, wie die beobachtete verringerte Expression des TRPS-1-Proteins in den Tumoren exponierter Patientinnen, 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			
Pilotstudie für eine epidemiologische Studie zur Untersuchung des Zusammenhangs von Strahlenbelastung und Katarakterkrankung			
Subject			
<i>Pilot study for an epidemiological study on the association between (low dose ionising) radiation and cataract development</i>			
Kennzeichen	Beginn	Ende	Fördermittel
3611S30021	01.09.2012	28.02.2014	EUR 247.115,-
Forschungs- / Auftragnehmer			
Universitätsmedizin der Johannes Gutenberg-Universität Mainz, Institut für Medizinische Biometrie, Epidemiologie und Informatik, Mainz			
Projektleitung		Fachbetreuung BfS	verantwortlich für den Text
Prof. Dr. S. Singer		Dr. M. Schnelzer / AG-SG 1.3	Prof. Dr. S. Singer

1. ZIELSETZUNG

Ziel dieser Pilotstudie war die Erprobung der Methodik und Ermittlung der Teilnahmebereitschaft des Studienkollektivs interventionell tätiger Kardiologen und (Neuro-) Radiologen und nicht strahlenexponierter Ärztinnen und Ärzte an einer Studie zur Untersuchung des Zusammenhangs zwischen ionisierender Strahlung im niedrigen Dosisbereich und einer Katarakterkrankung. Insbesondere wurden Fragebögen zur Erhebung der Strahlenexposition für die Möglichkeit der Modellierung der Linsendosis auf Grund von Selbstangaben und die Methoden der objektiven Klassifizierung von Linsentrübungen entwickelt und erprobt. Die Pilotstudie wurde in den Studienregionen Rhein-Main-Gebiet und Köln-Bonn durchgeführt. Das Studiendesign und die verwendeten Instrumente waren so konzipiert, dass sie mit geplanten internationalen Studien weitgehend kompatibel sind, um eine gepoolte Auswertung zu ermöglichen.

2. EINZELZIELSETZUNG

2.1 VORBEREITENDE ARBEITEN

Ziel des ersten Arbeitspaketes war die vollständige Vorbereitung der zur Durchführung der Studie erforderlichen Unterlagen und Abläufe, d. h. Erarbeitung von Studienprotokoll, Fragebögen, Rekrutierungsunterlagen, Datenbanken, Absprache mit ophthalmologischen Kliniken und Beantragung der Zustimmung der Ethikkommissionen.

2.2 REKRUTIERUNG UND BEFRAGUNG DER TEILNEHMER

In der Pilotstudie sollten 50 seit mindestens 5 Jahren strahlenexponierte, interventionell tätige Ärztinnen und Ärzte sowie nach Alter und Geschlecht gematchte, nicht strahlenexponierte ärztliche Kontrollen rekrutiert werden. Die Teilnehmer sollten schriftlich über ihre Risikofaktoren für eine Katarakterkrankung befragt und die Ergebnisse in der Datenbank dokumentiert werden. Für das Kollektiv der strahlenexponierten, potenziellen Teilnehmer war die Teilnahmequote zu berechnen.

2.3 AUGENDIAGNOSTIK UND REKONSTRUKTION DER AUGENLINSENDOSIS

Die Augenuntersuchung beinhaltete eine Begutachtung der Augenlinse mit der Spaltlampe und mit einem Scheimpflugkamera-System, inklusive der Dokumentation beider Untersuchungen in Form digitaler Aufnahmen bzw. der Dateien für eine Klassifizierung der Augenlinsentrübungen. Daneben erfolgten eine klassische Visusbestimmung und die Erfassung weiterer augendiagnostischer Maßnahmen.

3. METHODIK

Studienprotokoll und Ethikanträge wurden in Einklang mit den Leitlinien Guter Epidemiologischer Praxis (GEP) vorbereitet. Bei der Erhebung, Speicherung und Auswertung der Daten wurden die Datenschutzbestimmungen eingehalten. Die Rekrutierung der Teilnehmer erfolgte nach einer umfassenden Recherche nach

interventionell tätigen, strahlenexponierten Ärztinnen und Ärzten in den Kliniken der Studienregion. Die Teilnehmerquote wurde bei den strahlenexponierten Personen als Anteil tatsächlich Teilnehmender unter den potenziellen Probanden in den Kliniken bestimmt. Unter den Kontrollen wurde die Teilnahmequote als Anteil der Teilnehmenden unter den angefragten Ärztinnen und Ärzten berechnet.

Die Befragung der Teilnehmer erfolgte schriftlich mittels Fragebögen bezüglich anderer Risikofaktoren für Katarakt und einer eventuellen privaten Strahlenexposition. Die berufliche Strahlenexposition der Teilnehmer wurde in einem Fragebogen zu den durchgeführten interventionellen Maßnahmen und den angewendeten Strahlenschutzmaßnahmen erhoben. Die Klassifizierung der Augenlinsentrübung erfolgte zum einen mit den Spaltlampen-Aufnahmen nach dem Lens Opacities Classification System (LOCS) und bei den Scheimpflugkamera-Aufnahmen mit der in der Abteilung für experimentelle Ophthalmologie der Augenklinik Bonn entwickelten Software BIOM. Die Prävalenz von Linsentrübungen bei exponierten Teilnehmern und die Prävalenz bei den nicht-strahlenexponierten Teilnehmern wurden ermittelt.

4. DURCHFÜHRUNG

4.1 VORBEREITENDE ARBEITEN

Studienprotokoll, Rekrutierungsunterlagen und Fragebögen wurden mit dem Ethikantrag und dem Datenschutzvotum bei den Ethikkommissionen der Landesärztekammer Rheinland-Pfalz, des Universitätsklinikums Bonn und des Landes Hessen eingereicht.

Ansprechpartner und potenzielle strahlenexponierte Teilnehmer in radiologischen und kardiologischen Kliniken wurden flächendeckend in der Studienregion recherchiert. Es erfolgte eine erste telefonische Information der Klinikleitungen und punktuelle persönliche Vorstellungen in den Kliniken. Eine Studienwebseite wurde eingerichtet.

4.2 REKRUTIERUNG UND BEFRAGUNG DER TEILNEHMER

Die potenziellen strahlenexponierten Teilnehmer erhielten eine personalisierte schriftliche Einladung mit sämtlichen Studieninformationen, einem Kontaktformular, der Einwilligungserklärung, dem Basisfragebogen und einem Fragebogen zur interventionellen Berufstätigkeit. Bei Non-Respondern erfolgte soweit möglich eine telefonische Kontaktaufnahme und im Mittel zwei Erinnerungen per Email mit dem Angebot die Unterlagen bei Bedarf nochmals zuzusenden. Die Häufigkeit der Kontakte lag im Allgemeinen zwischen zwei und vier, in Einzelfällen, speziell bei individuellen Fragen der Teilnehmer, auch öfter. Die eingesendeten, ausgefüllten Fragebögen wurden geprüft, in die Datenbank eingegeben und die Teilnehmer einem Teilnahmezustand zugeordnet. Dies beinhaltete eine nochmalige Klärung der Eligibilität der Teilnehmer nach den Ein- und Ausschlusskriterien.

4.3 AUGENUNTERSUCHUNGEN

Für die Augenuntersuchungen wurden sechs Untersuchungszentren eingerichtet, um den Teilnehmern einen Termin in einer möglichst nah gelegenen Klinik anbieten zu können. Mit den durchführenden Ärztinnen und Ärzten wurde das standardisierte Vorgehen abgesprochen. Die Untersuchungen wurden angeboten an der Universitätsmedizin Mainz für Teilnehmer aus Mainz und Wiesbaden, in Frankfurt/Main an zwei Kliniken, d. h. der Universitätsklinik Frankfurt und im Bürgerhospital. In der Studienregion Bonn fanden die Untersuchungen am Universitätsklinikum Bonn statt, dessen Untersuchungsteam auch für externe Untersuchungen in zwei Augenkliniken in Köln zuständig war.

5. ERGEBNISSE

5.1 VORBEREITENDE ARBEITEN

Die zustimmenden Voten der Ethikkommissionen Rheinland-Pfalz, Hessen und der Universität Bonn wurden erteilt.

Die Studienwebseite informierte fortlaufend über die Studie, ihren Status und für die Fragestellung relevante Publikationen. Sie wurde in die Webseiten des Instituts für Medizinische Biometrie, Epidemiologie und Informatik (IMBEI) der Universitätsmedizin Mainz integriert und kann über www.katarakt-studie.de aufgerufen wer-

den. In der Kommunikation mit potenziellen Teilnehmern und in Veröffentlichungen zur Studie wurde auf das Informationsangebot hingewiesen.

5.2 REKRUTIERUNG UND BEFRAGUNG DER TEILNEHMER

Es wurden Ärztinnen und Ärzte in 64 Abteilungen mit interventionellem Angebot als Teilnehmer angeschrieben. Dies waren sämtliche in den Studienregionen aufzufindende Institutionen mit interventionellem Angebot, nicht nur Kliniken mit beteiligter Augenklinik im Hause. Bei zwei Abteilungen erfolgte eine Absage auf Leitungsebene. Die restlichen 62 Abteilungen setzten sich zusammen aus 32 kardiologischen, 5 neuroradiologischen und 25 radiologischen Abteilungen. Hier wurden insgesamt 263 strahlenexponierte Ärztinnen und Ärzte mit einer mindestens 5-jährigen interventionellen Tätigkeit zur Teilnahme an der Studie eingeladen.

Die Einladung der Kontrollpersonen ging an 129 nicht strahlenexponierte Ärztinnen und Ärzte in 13 Abteilungen von Kliniken, in denen die Augenuntersuchungen im Rahmen der Studie angeboten wurden, um den Kontrollpersonen kurze Wege zu einer Augenklinik zu bieten.

Von den Strahlenexponierten antworteten 31,2 %, von den nicht Strahlenexponierten 22,4 % (Tabelle 1). 18,3 % aller eingeladenen Exponierten (58,5 % der Responder) waren zu einer Teilnahme bereit, 12,9 % von allen dagegen nicht (41,5 % der Responder). Von allen eingeladenen nicht Strahlenexponierten waren 21,7 % zu einer Teilnahme bereit (96,6 % der Responder), 1,5 % dagegen nicht (3,4 % der Responder).

Tabelle 1: Übersicht der rekrutierten Teilnehmer mit Ein- und Ausschlussquote

	Nicht-Exponierte n (% der Eingeladenen)	Exponierte insgesamt n (% der Eingeladenen)	Kardiologen n (% der Eingeladenen)	Neuroradiolo- gen n (% der Eingeladenen)	Radiologen n (% der Eingeladenen)
Eingeladene	129 (100)	263 (100)	164 (100)	19 (100)	80 (100)
Responder	29 (22,4)	82 (31,2)	54 (32,9)	8 (42,1)	20 (25,0)
Teilnahmebe- reitschaft					
ja	28 (21,7)	48 (18,3)	30 (18,3)	6 (31,6)	12 (15,0)
nein	1 (0,8)	34 (12,9)	24 (14,6)	2 (10,5)	8 (10,0)
Einschluss Ausschluss	17 (13,2) 11 (8,5)	41 (15,6) 7 (2,7)	26 (15,9) 4 (2,4)	5 (26,3) 1 (5,3)	10 (12,5) 2 (2,5)

2,7 % der eingeladenen Exponierten (14,6 % der Teilnahmebereiten) und 8,5 % der eingeladenen nicht Strahlenexponierten (39,3 % der Teilnahmebereiten) mussten ausgeschlossen werden. Final konnten 15,6 % der eingeladenen Exponierten (85,4 % der Teilnahmebereiten) und 13,2 % der eingeladenen nicht Strahlenexponierten (60,7 % der Teilnahmebereiten) eingeschlossen werden. Der Ausschluss bei Nicht-Exponierten war häufiger erforderlich, da für diese eine berufliche Strahlenexposition als Ausschlussgrund galt, sie andererseits jedoch nicht die Kriterien für eine Teilnahme als Exponierte erfüllen, z. B. interventionelle Gastroenterologen.

Insgesamt konnten 58 Basisfragebögen von eingeschlossenen und 15 von ausgeschlossenen Teilnehmern ausgewertet werden. Drei der ausgeschlossenen Teilnehmer hatten keine Basisfragebögen eingereicht.

5.3 AUGENUNTERSUCHUNGEN

Die Augenuntersuchungen von strahlenexponierten und nicht exponierten Teilnehmern wurden in den Augenkliniken der Universitätsmedizin Mainz, Universitätskliniken Bonn und Frankfurt/Main und dem Bürgerhospital Frankfurt/Main durchgeführt.

Die Augenuntersuchungen wurden über einen Zeitraum von mindestens 5 Monaten angeboten. Einzelne Teilnehmer haben endgültig wegen Zeitmangel abgesagt, bei anderen konnte kein passender Termin gefunden werden, weitere hatten Termine vereinbart, sind aber nicht erschienen. In der Universitätsaugenklinik Bonn gab es darüber hinaus personelle Einschränkungen auf Seiten der Untersucher, wodurch die Untersuchungen in dieser Studienregion stark beeinträchtigt wurden. Während des geplanten Studienzeitraumes fanden insgesamt 41 Augenuntersuchungen statt, darunter auch bei einzelnen ausgeschlossenen Teilnehmern, da sie an der Befragung teilgenommen hatten (Tabelle 2). Von einem zusätzlichen eingeladenen Probanden gin-

gen nur Scheimpflugkamera-Befunde in die Analyse ein. Diese waren in einer der beteiligten Augenkliniken vor einer Katarakt-OP im Studienzeitraum angefertigt worden.

Tabelle 2: Zuordnung von Teilnehmern zu den verschiedenen Standorten von Augenkliniken mit Anzahl der durchgeführten Untersuchungen

	durchgeführte Untersuchungen	nicht erfolgte Untersuchungen	Summe
Universitätsmedizin Mainz	18	6	24
Universitätsklinik Bonn	8	7	15
Köln (2 Kliniken)	0	8	8
Bürgerhospital Frankfurt	11	1	12
Universitätsklinik Frankfurt	4 + 1*	2	7
Insgesamt	41 + 1*	24	66

* OP-Voruntersuchungsdaten von einem Probanden vorhanden (Lensektomie)

Die Prävalenz größtenteils geringer Trübungen in unterschiedlichen Regionen der Augenlinse, hauptsächlich im Kernbereich, lag in der Gruppe der Strahlenexponierten bei 52 % (95 % CI¹⁾: 30 - 74 %), bei den nicht Strahlenexponierten bei 31 % (95 % CI: 9 - 61 %). Die Klassifikation der Scheimpflugkamera-eigenen Software für Trübungen des Kernbereichs der Augenlinse, das Pentacam Nuclear Staging, zeigte bei 67 % (95 % CI: 41 - 87 %) der Strahlenexponierten eine Trübung Stufe 1 oder 2 auf der Skala von 0-5 im Vergleich zu 46 % (95 % CI: 19 - 75 %) bei den Nicht-Exponierten, wobei hier nur Trübungen Stufe 1 festgestellt wurden. Bei der erreichten Größe der Stichprobe erfolgte jedoch keine alters- oder an andere Risikofaktoren adjustierte Analyse, was die Ergebnisse stark limitiert.

Für die Rekonstruktion der Linsendosis müssen neben den Angaben im Fragebogen noch Ergebnisse aus Strahlenforschungsprojekten zur Linsendosis der durchführenden Ärzte bei den unterschiedlichen interventionellen Prozeduren herangezogen werden. Die Bearbeitung des Fragebogens zur beruflichen Tätigkeit muss mit einer hohen Detailliertheit und Genauigkeit erfolgen, um die Linsendosis mit hinlänglicher Exaktheit kalkulieren zu können. Dies verlangt von den teilnehmenden interventionellen Ärzten einen nicht zu vernachlässigenden Zeitaufwand und eine hohe Teilnahmemotivation.

Die Durchführung einer epidemiologischen Studie zur Aufklärung der Dosis-Wirkungsbeziehung zwischen ionisierender Strahlung im niedrigen Dosisbereich und einer Kataraktentstehung ist bei strahlenexponierten Ärztinnen und Ärzten und nicht strahlenexponierten Kolleginnen und Kollegen generell möglich, jedoch ist die Teilnahmebereitschaft durch die in ihrem Beruf zeitlich stark ausgelasteten Teilnehmer limitiert. Insbesondere die Terminierung für die Teilnahme an den Augenuntersuchungen wird wegen der erforderlichen Pupillenerweiterung und dem Zeitaufwand der Rückbildung erschwert. Für die Rekrutierung der Teilnehmer und die Durchführung der Augenuntersuchung ist daher ein entsprechend langer Studienzeitraum einzuplanen.

6. UMSETZUNG DER ERGEBNISSE

Die Pilotstudie ist beendet. Die Veröffentlichung der Erfahrungen und Ergebnisse aus der Studie ist in Vorbereitung. Eine Hauptstudie unmittelbar im Anschluss an diese Pilotstudie ist nicht geplant. Die Pilotstudie hat zwar gezeigt, dass die Durchführung einer epidemiologischen Querschnittstudie zu strahleninduzierten Linsentrübungen bei interventionell tätigen Kardiologen und Radiologen prinzipiell möglich ist. Allerdings hat sie auch gezeigt, dass die Durchführung einer derartigen Studie mit erheblichen Unwägbarkeiten und sehr hohen Kosten verbunden ist. Außerdem konnte die Pilotstudie nicht zufriedenstellend klären, ob sich die Angaben für die Rekonstruktion der Linsendosis so genau erheben lassen, dass mit ihnen die Dosis-Wirkungsbeziehung zwischen Strahlung und Linsentrübung untersucht werden kann.

Die Daten, die in der Pilotstudie erhoben wurden, sollen in die europäische multizentrische EURALOC-Studie (EUropean epidemiological Study on RAdiation-induced Lens Opacities for interventional Cardiologists) eingebracht werden, die im Januar 2015 beginnt.

¹⁾ confidence interval

Thema

Nachweis von chromosomalen Translokationen durch genomische PCR zur Identifizierung prä-leukämischer Zellen bei Kindern - Pilotstudie zur Entwicklung und Validierung geeigneter Sonden

Subject

Detection of chromosomal translocation by genomic PCR aiming the identification of pre-leucemic cells - pilot study for development and validation of sensitive probes

Kennzeichen

3612S70019

Beginn

01.09.2012

Ende

30.11.2013

Fördermittel

EUR 214.498,-

Forschungs- / Auftragnehmer

Klinik für Pädiatrische Onkologie, Hämatologie und Klinische Immunologie,
Medizinische Fakultät, Heinrich-Heine-Universität Düsseldorf

Projektleitung

Prof. Dr. A. Borkhardt,
Prof. Dr. R. Slany

Fachbetreuung BfS

Dr. S. Hornhardt / AG-SG 1.2

verantwortlich für den Text

Prof. Dr. A. Borkhardt,
Prof. Dr. R. Slany

1. ZIELSETZUNG

Es sollte eine Methode zur verlässlichen und hochsensitiven Detektion von chromosomalen Translokationen t(1;19), t(4;11), t(9;11), t(11;19) und t(12;21) in klinischen Proben zum Screenen gesunder Kinder lange vor Ausbruch einer akuten Leukämie auf Basis einer genomischen PCR entwickelt werden.

2. EINZELZIELSETZUNG

2.1 AUFARBEITUNG DES RELEVANTEN STANDES VON WISSENSCHAFT UND TECHNIK

Aktuelle Arbeiten zur Detektion von genomischen Translokationsbruchpunkten und ihre Anwendbarkeit mit Vor- und Nachteilen sollten zusammengefasst werden. Eine Gesamtübersicht von bereits veröffentlichten Bruchpunkten sollte erstellt werden und ihre Evaluierung im Hinblick auf die neu konzipierte GIPFEL-Methode („genomische inverse PCR für die Erfassung von ligierten Bruchpunkten“; „genomic inverse PCR for evaluation of ligated breakpoints“) erfolgen.

2.2 ENTWICKLUNG GEEIGNETER PRIMER FÜR HÄUFIG AUFTRETENDE TRANSLOKATIONEN BEI LEUKÄMIE IM KINDESALTER

Die GIPFEL-Methode sollte entwickelt und so optimiert werden, dass ein standardisiertes, sensitives Experimentalprotokoll für jede der fünf Translokationen t(4;11), t(11;19), t(9;11), t(12;21) und t(1;19) erstellt werden kann.

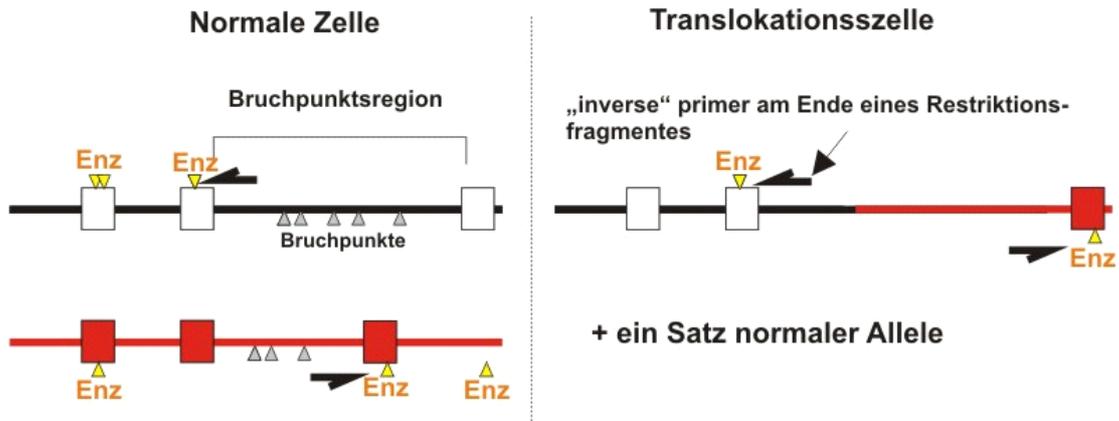
2.3 VALIDIERUNG DER GIPFEL-METHODIK AN LEUKÄMIE-PRIMÄRMATERIAL VON KINDERN MIT TRANSLOKATION T(1;19), T(4;11), T(9;11), T(11;19) UND T(12;21)

Zur Vorbereitung von populationsbasierten Untersuchungen in verschiedenen Bevölkerungsgruppen und in Ländern mit unterschiedlichem Industrialisierungsgrad sollte die GIPFEL-Methodik an primären Leukämieproben und entsprechenden Negativkontrollen validiert werden. Abschließend sollte das GIPFEL-Protokoll an das BfS für populationsbasierte Folgeuntersuchungen übergeben werden.

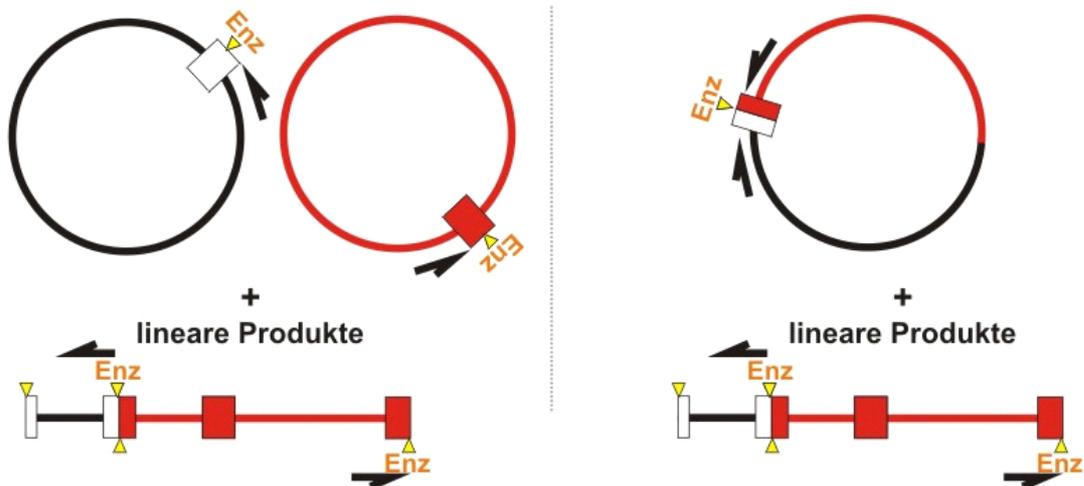
3. METHODIK

Literatur- und Datenbankrecherchen wurden zur Zusammenstellung der bisher angewandten Techniken zum Nachweis von Translokationen sowie zur Erstellung einer Übersicht über die bereits bekannten Translokationsbruchpunkte in der ALL (akute lymphoblastische Leukämie) eingesetzt. Zur verlässlichen und hochsensitiven Detektion von chromosomalen Translokationen in klinischen Proben lange vor Ausbruch einer akuten Leukämie wurde die Methode der „genomischen inversen PCR für die Erfassung von ligierten Bruchpunkten“ (GIPFEL) entwickelt und optimiert. Diese Methode ist in Abbildung 1 graphisch dargestellt.

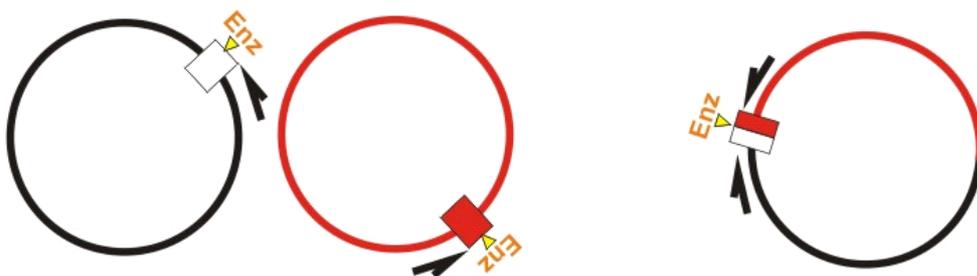
a. Ausgangssituation:



b. Restriktionsverdau und Rezirkularisierung:



c. Entfernung linearer Produkte durch Exonukleaseverdau:



d. Quantifizierung der Bruchpunkts DNA mit real time PCR

Abbildung 1: Ablaufdiagramm der genomischen, inversen PCR für die Erfassung von ligierten Bruchpunkten (GIPFEL). Der Schlüsselschritt der GIPFEL-Methode ist die Detektion eines, für jede Translokation charakteristischen, Ligationsprodukts, das nach Restriktionsspaltung und Religation von genomischer DNA entsteht und dessen Sequenz exakt und unabhängig von der genauen Lage des Bruchpunktes vorhergesagt werden kann. Damit werden kurze Amplikons möglich, die sich auch über TaqMan-Proben oder SYBR-Green basierte Methoden sehr genau quantifizieren lassen.

4. DURCHFÜHRUNG

4.1 AUFARBEITUNG DES RELEVANTEN STANDES VON WISSENSCHAFT UND TECHNIK

Aktuelle Arbeiten zur Detektion genomischer Translokationsbruchpunkte wurden zusammengefasst und eine Übersicht veröffentlichter Bruchpunkte erstellt. Es wurden genomische Restriktionskarten der betroffenen Regionen für die Translokationen t(4;11), t(11;19), t(9;11), t(12;21) und t(1;19) angefertigt, um genaue Vorhersagen über die mittels GIPFEL generierten Ligationsprodukte aus diesen Karten ableiten zu können. Primerpaare für die GIPFEL-Methode wurden computergestützt entworfen und eine Abschätzung der Abdeckung anhand der bekannten Bruchpunkte vorgenommen. Interne Kontroll-Primer, die das nicht rearrangierte DNA-Fragment nachweisen, wurden ebenfalls entworfen.

4.2 ENTWICKLUNG GEEIGNETER PRIMER FÜR HÄUFIG AUFTRETENDE TRANSLOKATIONEN BEI LEUKÄMIE IM KINDESALTER

Zur Entwicklung der GIPFEL-Methode wurden folgende Einzelschritte durchgegangen, die in der Ausarbeitung eines standardisierten sensitiven experimentellen Protokolls für jede der fünf Translokationen mündeten. Die Bedingungen für:

- die Ausgangsmenge an Zellen
- den Restriktionsenzymverdau (Dauer, Konzentration Enzym)
- die Ligationsbedingungen (Dauer, Menge Enzym, Temperatur)
- den Exonukleaseverdau (Konzentration Enzym, Art der Exonuklease)
- die DNA- Reinigung
- die PCR-Bedingungen

wurden unter Verwendung von Zelllinien mit Translokationen optimiert. Primerpaare wurden auf Generierung von Amplifikaten unter optimierten Bedingungen getestet. Die Sensitivität und Genauigkeit wurde bestimmt.

4.3 VALIDIERUNG DER GIPFEL-METHODIK AN LEUKÄMIE-PRIMÄRMATERIAL VON KINDERN MIT TRANSLOKATION T(1;19), T(4;11), T(9;11), T(11;19) UND T(12;21)

Die GIPFEL-Methode wurde an ALL-Patientenproben mit bekannten Translokationen und negativen Kontrollen in einer Blind-Studie getestet. Die Translokationen waren zuvor standardisiert mittels Zytogenetik, RT-PCR und FISH¹⁾ von einem zytogenetischen Labor nachgewiesen worden. Das qualitative Ergebnis der GIPFEL-Methode (PCR-Bande von erwarteter Länge) wurde dokumentiert und anhand eines internen Standards quantifiziert. Die Sensitivität und Spezifität der Methode wurde bestimmt. Das optimierte GIPFEL-Protokoll wurde an das BfS für populationsbasierte Folgeuntersuchungen übergeben.

5. ERGEBNISSE

5.1 AUFARBEITUNG DES RELEVANTEN STANDES VON WISSENSCHAFT UND TECHNIK

Vom BfS/BMU wurde eine Studie zu Kinderkrebs in der Nähe von Kernkraftwerken (KiKK) gefördert, bei der ein Zusammenhang zwischen der Nähe des Wohnorts zu einem Kernkraftwerk und der Entstehung von Leukämie bei Kindern unter 5 Jahren festgestellt wurde. Daneben gibt es aus epidemiologischen Studien konsistente Hinweise, dass sich das Leukämierisiko bei Kindern erhöht, wenn diese mit niederfrequenten Magnetfeldern in einem Intensitätsbereich deutlich unterhalb der Grenzwerte exponiert sind. In beiden Fällen lässt sich das erhöhte Risiko mit dem derzeitigen wissenschaftlichen Kenntnisstand über Strahlenwirkung nicht erklären. Daher ist es notwendig, durch weitere Studien die Entstehung und Entstehungsmechanismen von Leukämie im Kindesalter zu untersuchen, um einen Zusammenhang mit ionisierender und nicht-ionisierender Strahlung zu erkennen oder auszuschließen.

Die akute lymphoblastische Leukämie (ALL) bei Kindern ist gekennzeichnet durch das Auftreten wiederkehrender chromosomaler Translokationen. Die häufigste dieser Translokationen, die in 25 % der B-Zell-ALLs im Kindesalter nachzuweisen ist, führt zur Fusion der Gene ETV6 und RUNX1 zu dem chimären Transkriptionsfaktor ETV6-RUNX1. So ein Ereignis scheint der erste Anstoß zu sein, damit sich eine hämatopoetische Vor-

¹⁾ Fluoreszenz-In-situ-Hybridisierung

läufer- oder Stammzelle in eine prä-leukämische Zelle umwandelt. Man geht davon aus, dass prä-leukämische Vorläufer-Zellen über lange Zeit persistieren können, bevor sie durch eine sekundäre Mutation zum Ausbruch einer akuten Leukämie führen können. Diese Mutationen entstehen möglicherweise spontan oder durch Umwelteinwirkungen, weshalb das Alter der Kinder bei Ausbruch einer Leukämie erheblich variieren kann.

In einer retrospektiven Studie konnte gezeigt werden, dass prä-leukämische Klone, die sich durch spezifische Translokationen auszeichnen, bereits in neonatalen Blutproben von Kindern vorhanden waren, bei denen erst Monate oder Jahre später eine ALL diagnostiziert wurde. Daraus wurde geschlossen, dass das Vorhandensein Leukämie-spezifischer Translokationen 100fach höher sein könnte als die allgemeine Inzidenzrate für ALL. Allerdings wurde diese Studie bisher nicht verifiziert und neuere Untersuchungen an erwachsenen Blutspendern bestätigten die Daten bisher nicht. Daher ist es notwendig, bevölkerungsbasierte Studien an Blutproben gesunder Kinder durchzuführen, um die Häufigkeit prä-leukämischer Translokationen festzustellen.

Eine Reihe von Methoden ist bereits entwickelt worden, um Translokationen nachzuweisen. Zytogenetik und „fluorescent in situ hybridisation“ (FISH) werden allgemein verwendet, um das Vorhandensein und die Struktur genetischer Alterationen nachzuweisen. Allerdings werden für beide Methoden mitotische Zellen benötigt und es sind aufwändige experimentelle Verfahren sowie erfahrenes Fachpersonal für die Durchführung erforderlich.

Alternative Methoden, die archiviertes Material nutzen können, wurden ebenfalls entwickelt. Da die meisten klinisch relevanten Translokationen Fusionsproteine mit einem durchgängigen Leseraster generieren, wird nur eine limitierte Zahl an Exonen verbunden und die Länge der resultierenden mRNA ist relativ kurz. Ein geeignetes Verfahren das RNA/cDNA als Template nutzen kann, ist die PCR-Technik, durch die zudem relativ schnell viele Proben untersucht werden können. Die Zahl an nötigen Primerpaaren zur Untersuchung einer bestimmten Translokation auf RNA/cDNA-Ebene ist hierbei begrenzt und die Größe der Amplifikationsprodukte kann berechnet werden.

Die Detektion von niedrig frequenten chromosomalen Translokationen in klinischen Proben vor Entstehung einer akuten Leukämie ist allerdings eine methodisch-technische Herausforderung. RNA ist sehr instabil. Klinisches Personal ist zudem nicht vertraut mit der RNA-Konservierung. Daher ist RNA in der Klinik nicht geeignet für den retrospektiven Nachweis von Translokationsereignissen. Im Gegensatz ist DNA sehr stabil und kann auch retrospektiv aus archivierten und fixierten Proben gewonnen werden. Nur DNA-Fusionsbruchpunkte sind individual-spezifisch und lassen damit Kontaminationen bzw. unspezifische Amplifikationen als „falsch-positive“ Befunde erkennen. Auf Grund der Natur der chromosomalen Translokationen, die oft innerhalb eines mehrere Kilobasen-großen Bruchpunktbereiches stattfinden, muss entweder eine unhandliche Zahl an Primern oder eine PCR-Technik eingesetzt werden, die einen großen DNA-Bereich amplifiziert.

Es wurden verschiedene Methoden entwickelt, die versuchen, über besondere Abwandlungen der PCR alleine mit den bekannten Sequenzen eines Translokationspartners die Translokation nachzuweisen. Hierzu gehört die sogenannte „long distance inverse“ LDI-PCR. Dabei wird über einen Restriktionsverdau die genomische DNA gespalten, danach zirkularisiert und mit Hilfe von sogenannten inversen Primern im bekannten Bereich eines Partners die genomische Sequenz des anderen fusionierten Bereiches amplifiziert.

Während diese Methode den Vorteil hat, auch unbekannte Partnergene identifizieren zu können, müssen jedoch sehr lange Fragmente im Bereich von einigen Kilobasen amplifiziert werden. Da PCR-Methoden mit der Länge der zu amplifizierenden DNA wenig sensitiv werden, kann die Abwesenheit eines PCR-Produktes nicht als Abwesenheit der Translokation interpretiert werden. Bisher wurde diese Methode erst nach eindeutiger Diagnose der Translokation durch andere Techniken (z. B. FISH) an Material mit hohem Gehalt an translokationstragenden Zellen durchgeführt.

Für prospektive Screenings, in denen nur sehr wenige translokationstragende Zellen vorhanden sind, ist die Sensitivität der LDI-PCR nicht ausreichend. Da jede Translokation selbst zwischen identischen Translokationspartnern ein Amplikon unterschiedlicher Länge ergibt, ist eine exakte Quantifizierung der Anzahl von translokationstragenden Zellen sowie eine Berechnung der Sensitivität und Qualität dieses Ansatzes praktisch unmöglich. Daher war die Entwicklung einer neuen Nachweisteknik notwendig.

5.2 ENTWICKLUNG GEEIGNETER PRIMER FÜR HÄUFIG AUFTRETENDE TRANSLOKATIONEN BEI LEUKÄMIE IM KINDESALTER

Zur Vorbereitung der GIPFEL-Analysen wurden zunächst genomische Restriktionskarten der untersuchten Translokationen angefertigt. Durch Literaturrecherche wurden die Regionen identifiziert, die bei Translokation der Gene von Strangbrüchen betroffen sind (die Bruchpunktregionen, „breakpoint cluster regions“, BCRs).

Die Translokation t(1;19) fusioniert die Gene PBX1 und TCF3, wobei die Bruchpunkte zwischen Exon 1 und 2 beim PBX1- bzw. zwischen Exon 13 und 14 beim TCF3-Gen liegen. Die Fusion codiert für den chimären Transkriptionsfaktor TCF3-PBX1. Das Restriktionsenzym SacI erkennt spezifische Schnittstellen oberhalb (TCF3, 1151 bp) bzw. unterhalb (PBX1, 1131 bp) der jeweiligen BCR. In Kombination mit spezifischen Primern, die über die Schnittstellen PCR-Produkte generieren können, kann eine Translokation nach SacI Restriktionsenzymsschnitt, Ligation des DNA-Fragmentes und anschließende PCR über die Ligationsstelle hinaus ohne Kenntnis der exakten Bruchpunkte mittels GIPFEL nachgewiesen werden. Die TEL-AML1-Fusion ist das häufigste und damit für zukünftige populationsbasierte Fragestellungen wichtigste Rearrangement.

Durch Literaturrecherche wurden zunächst die BCRs in beiden Genen identifiziert. Bioinformatische Analysen hatten die Restriktionsenzyme MluI und AscI als ideal für die GIPFEL-Methodik zum genomischen TEL-AML1-Nachweis angezeigt. Sie erzeugen bei Restriktion denselben 5' Überhang und lassen somit eine leichte Zirkularisierung der DNA-Enden von TEL-AML1 erwarten. Mit der Auswahl von MluI und AscI war außerdem sichergestellt, dass keines der beiden Enzyme eine Restriktion in der BCR des jeweils anderen Translokationspartners vornimmt. Nach Analyse der BCRs des MLL-Locus und der rearrangierten Partnergene AF4, AF9 und ENL wurde BamHI als geeignetes GIPFEL-Restriktionsenzym für diese Translokationen ausgewählt. Die bioinformatisch ausgewählten Restriktionsenzyme wurden experimentell getestet. Hier zeigte sich, dass die Enzyme BamHI und SacI für die Analyse der MLL- bzw. TCF3-PBX1-Translokationen geeignet waren.

Allerdings musste für die Translokationen t(12;21) mit MfeI ein neues Enzym ausgesucht werden, da die Effizienz des Restriktionsverdauens mit MluI und AscI nicht ausreichend war. Die konzipierte Methode deckt die BCRs der Translokationspartner zu >98 % ab. Es entstehen nur sehr kurze „blind spots“ von <1 kb, an denen ein Bruch nicht detektiert werden könnte. In diesen Regionen wurde bisher kein Bruch publiziert. Im Folgenden sind die experimentellen Schritte zur verlässlichen und hochsensitiven Detektion von chromosomalen Translokationen in klinischen Proben mittels der entwickelten GIPFEL-Methode beschrieben.

5.2.1 GIPFEL-Methode

Ein bis fünf Millionen Zellen pro Probe wurden in PBS gewaschen. Mit dem QIAamp DNA Blood Mini Kit (Qiagen, Hilden) wurde die genomische DNA extrahiert. Die Elution der DNA erfolgte in 200 µl des im Kit enthaltenen Puffers AE. Die genomische DNA (2,5 µg) wurde mit den Restriktionsenzymen BamHI für die MLL-Translokationen, SacI für die Translokation t(12;21) und MfeI für die Translokation t(1;19) 2 h bei 37 °C behandelt (je 200 U, in einem Reaktionsvolumen von 100 µl, Restriktionsenzyme und Puffer wurden von New England Biolabs (NEB, Frankfurt/Main) bezogen). Zur Durchführung der Folgereaktionen wurde der Restriktionsansatz mit Hilfe des QIAquick Gel Extraction Kits nach Angaben des Herstellers (Qiagen) aufgereinigt. 500 µl des im Kit enthaltenen Puffers PB wurden zu den Restriktionsfragmenten pipettiert. Um die Ausbeute an längeren DNA-Fragmenten zu verbessern, wurde die DNA in 50 µl auf 60 °C vorgewärmtem, deionisiertem Wasser und vorgewärmten Säulen eluiert.

Zur Ligation der Fragmente wurde der aufgereinigte Restriktionsansatz vollständig eingesetzt und nach Herstellerangaben mit 800 U DNA-T4-Ligase (NEB) in einem Reaktionsvolumen von 100 µl 2 h bei 24 °C ligiert. Nicht ligierte lineare Fragmente wurden durch Inkubation mit Exonuclease III hydrolysiert. Zu 100 µl des Ligationsansatzes wurden 100 U Exonuclease III (NEB) gegeben und 30 min bei 37 °C inkubiert. Anschließend wurde die Exonuclease III 5 min bei 95 °C inaktiviert. Die zirkularisierte DNA wurde durch Ethanol- bzw. Isopropanol-Präzipitation gereinigt und konzentriert. Das Pellet wurde anschließend in 10 µl deionisiertem Wasser resuspendiert.

Zum indirekten Nachweis der chromosomalen Rearrangements wurden Real-Time-PCRs über die Ligationsstellen der zirkularisierten Fragmente durchgeführt. 5 µl der zirkularisierten, gereinigten DNA wurden als Template eingesetzt. Die erste PCR (PCR I, Prä-Amplifikation) wurde mit dem Mastermix aus dem Brilliant II SYBR Green QPCR Master Mix Kit (Agilent Technologies, St. Clara, CA) nach Herstellerangaben in einem Reaktionsvolumen von 25 µl angesetzt. Das PCR-Programm I setzte sich aus einer initialen Denaturierung von 12 min 30 sec bei 95 °C und 22 (für MLL-Translokationen) bzw. 25 Zyklen bestehend aus 15 sec 95 °C, 30 sec 64 °C und 30 sec 72 °C zusammen. Die Sequenzen der jeweils verwendeten Primer und die Multiplexing-Strategie sind veröffentlicht. Aus dieser ersten PCR wurde jeweils 1 µl in die zweite PCR eingesetzt. PCR II ist eine Real-Time PCR, die nach Herstellerangaben in einem Reaktionsvolumen von 25 µl angesetzt wurde. Das PCR-Programm II setzte sich aus einer initialen Denaturierung von 12 min 30 sec bei 95 °C und 45 Zyklen bestehend aus 15 sec 95 °C, 30 sec 64 °C und 30 sec 72 °C, sowie abschließenden 30 sec 95 °C, 30 sec 70 °C und 30 sec 95 °C zusammen.

5.3 VALIDIERUNG DER GIPFEL-METHODIK AN LEUKÄMIE-PRIMÄRMATERIAL VON KINDERN MIT TRANSLOKATION T(1;19), T(4;11), T(9;11), T(11;19) UND T(12;21)

Die GIPFEL-Methodik wurde an primären Leukämieproben und Negativkontrollen validiert. Die Primärproben wurden von Prof. Dr. Martin Stanulla (MHH, Hannover) zur Verfügung gestellt. Die Primärproben mit Blastenzahl von $\geq 70\%$ wurden im Vorfeld mittels Zytogenetik, RT-PCR und FISH charakterisiert.

Tabelle 1: Zur Validierung der GIPFEL-Methodik eingesetzte ALL-Primärproben

Translokation	Fusionsgen	Patientenzahl	Detektion
t(4;11)	MLL-AF4	21	83 %
t(9;11)	MLL-AF9	16	65 %
t(11;19)	MLL-ENL	18	24 %
t(1;19)	TCF3-PBX1	30	39 %
t(12;21)	ETV6-RUNX1	60	64 %

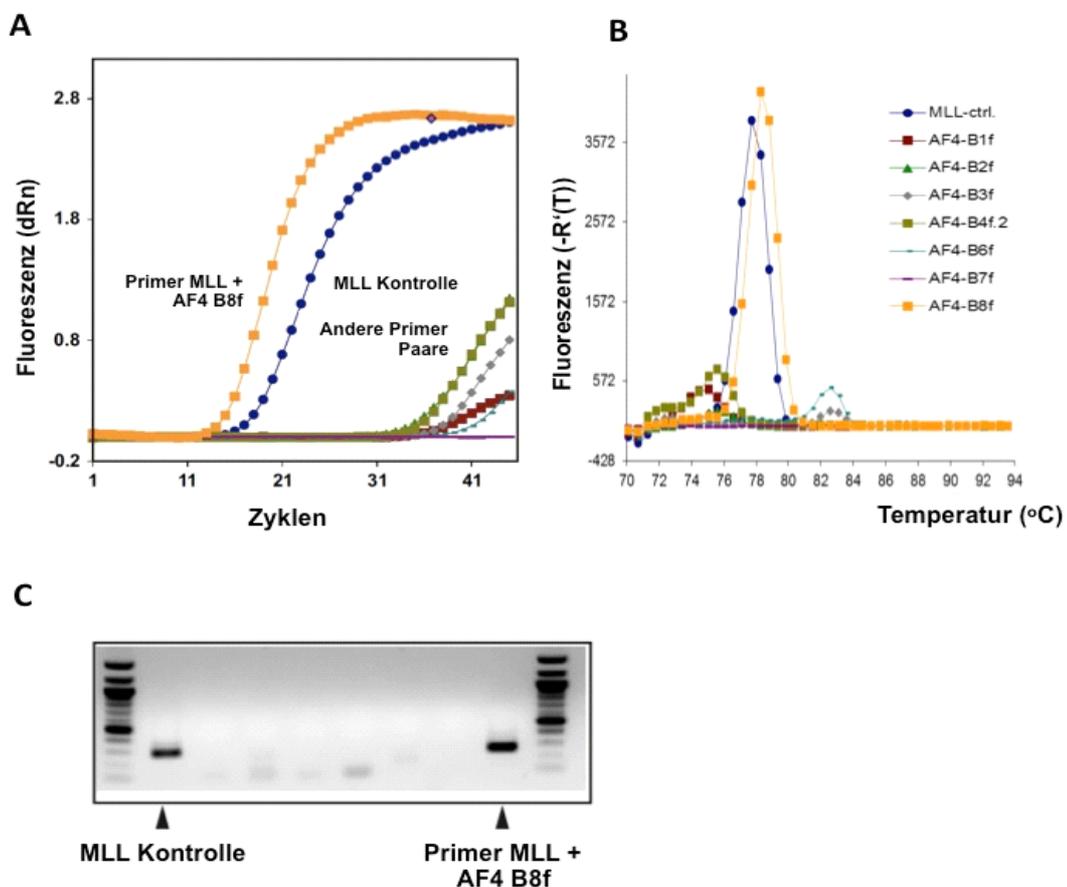


Abbildung 2: Die Abbildung zeigt exemplarisch das Ergebnis einer GIPFEL-Analyse einer Patientenprobe mit MLL-AF4 Translokation. (A) RealTime-PCR Amplifikationskurven, (B) RealTime-PCR Dissoziationskurven. Verwendung des Primers AF4 B8f führt zur Synthese eines spezifischen Produktes, das bereits nach 13 Zyklen den Schwellenwert übersteigt (gelbe Kurve). Eine positive Kontrolle (Nachweis des endogenen MLL-Gens als interner Standard, blaue Kurve) wird in jedem Versuch mitgeführt. Andere Primerpaare führen nicht zur Synthese spezifischer Produkte. Die zugehörigen Amplifikationskurven übersteigen den Schwellenwert daher erst nach mehr als 30 Zyklen und sind in der Dissoziationskurvendarstellung gut von spezifischen Signalen zu unterscheiden. (C) Validierung des Ergebnisses mittels Agarosegelelektrophorese. Spezifische Produkte entstanden nur mit dem Primerpaar MLL/AF4 B8f sowie dem internen Standard (MLL).

Die Validierungsexperimente wurden ohne Kenntnis der Probenidentität durchgeführt. 1 µg genomische DNA wurde wie im Protokoll beschrieben behandelt und die PCRs mit den entsprechenden Primerpaaren durchgeführt. Die Verifizierung der Proben erfolgte anhand der Produktentstehung in der RealTime-PCR, der Überprüfung der Masse des Produktes in der Agarosegelelektrophorese und der Sequenzierung zur Überprüfung der DNA-Sequenz (Abbildung 2). Die Sensitivität des GIPFEL-Protokolls liegt bei 10^{-4} , d. h. unter 10 000 Zellen kann eine Translokation-tragende Zelle nachgewiesen werden. Die Detektionsrate in den Primärproben (Tabelle 1) war abhängig von der untersuchten Translokation, Sequenz-spezifische Unterschiede spielen hier eine Rolle. In jeder der fünf Translokations-Kohorten befanden sich fünf negative Proben. Keine dieser Proben wurde als positiv detektiert.

6. UMSETZUNG DER ERGEBNISSE

Um den Einfluss von Umwelteinflüssen wie Strahlung auf die Leukämieentwicklung insbesondere bei Kindern untersuchen zu können, ist es wesentlich, dass natürlicherweise vorkommende genetische Variationen und Veränderungen in der Bevölkerung bekannt sind. Die hier entwickelte GIPFEL-Methode schafft eine Voraussetzung für solche populationsbasierte Studien. In einem Folgeprojekt wird diese Methode weiter auf ihre Anwendbarkeit in anderen Laboratorien und großen Studien getestet.

Thema			
Sequenzielle Exposition durch UVB- und UVA-Strahlung: Bedeutung für DNA-Schädigung, Reparatur, Gen-Expression und epigenetische Regulation in menschlichen Hautzellen			
Subject			
<i>Sequential exposure by UVB- and UA-radiation: relevance for DNA-damage, repair, gene-expression and epigenetic regulation in human skin cells</i>			
Kennzeichen 3613S30042	Beginn 01.01.2014	Ende 31.10.2014	Fördermittel EUR 115.000,-
Forschungs- / Auftragnehmer			
Elbe Kliniken, Klinikum Buxtehude, Klinik für Dermatologie, Labor für Molekulare Zellbiologie			
Projektleitung Dr. R. Greinert	Fachbetreuung BfS Dr. M. Asmuß, AG-SG 1.5	verantwortlich für den Text Dr. B. Volkmer	

1. ZIELSETZUNG

Ziel des vorliegenden Forschungsvorhaben war es, zu untersuchen, ob und inwieweit eine Vorbestrahlung mit UVA-Strahlung (UVB-Strahlung) die biologische Wirkung einer (um Δt = variabel) zeitversetzten Nachbestrahlung mit UVB-Strahlung (UVA-Strahlung) oder solarer UV-Strahlung (UVB + UVA) in humanen Keratinozyten-Zelllinien in-vitro beeinflusst.

2. EINZELZIELSETZUNG

Es sollten die Induktion von DNA-Schäden (Cyclobutan-Pyrimidin-Dimere, CPDs), die Reparaturkapazität der bestrahlten Zellen und speziell die epigenetische Regulation der Gen-Expression bzw. die Änderungen im Expressionsmuster von micro-RNAs (miRNAs) nach unterschiedlichen Expositionsmustern untersucht werden. Ebenfalls sollte der Einfluss unterschiedlicher Bestrahlungsszenarien auf die genomweite Methylierung untersucht werden. Die Untersuchungen wurden in immortalisierten humanen Keratinozyten (HaCaT-Zelllinie) durchgeführt, die in einer Vielzahl internationaler Studien als Modellsystem für in-vitro-Untersuchungen zu den Mechanismen der Hautkrebsentstehung herangezogen werden. Für die Untersuchungen zur epigenetischen Regulation der Gen-Expression sollten gezielt Gene (z. B. Tumorsuppressoren wie p16, p14, p21) und miRNAs (z. B. miRNA 23a, miRNA 23b) untersucht werden, die im Verdacht stehen, bei Initiation bzw. Progression von Hautkrebs involviert zu sein und nach (einmaliger) UV-Bestrahlung differentiell exprimiert zu werden.

3. METHODIK

Zur Exposition der Zellen mit UV-Strahlung wurden folgende Strahlenquellen verwendet:

- Philips HB404 (100 % UVA, < 0,0001 % UVB)
- Philips TL-12 (58 % UVA, 42 % UVB, entspricht einem erythemgewichteten UVA-Anteil von 1,75 %)
- LOT Oriol Sonnenlichtsimulator (98 % UVA, 2 % UVB), im Folgenden als SSUV bezeichnet.

Die Reparaturkinetiken UV-bedingter DNA-Schäden nach sequenzieller UV-Bestrahlung wurden durchflusszytometrisch untersucht. Epigenetische Veränderungen wurden (I) auf der Ebene der DNA-Methylierung und (II) auf der Ebene von Transkriptionsveränderungen regulatorischer microRNAs analysiert.

4. DURCHFÜHRUNG

4.1 BESTRAHLUNG

HaCaT-Zellen wurden in vier Bestrahlungsserien (s. unten) sequenziell mit UVA, UVB oder SSUV bestrahlt.

- AB-Serie - UVB-Bestrahlung mit UVA-Vorbestrahlung
- AS-Serie - SSUV-Bestrahlung mit UVA-Vorbestrahlung

- BA-Serie - UVB-Bestrahlung mit UVA-Nachbestrahlung
- BS-Serie - UVB-Bestrahlung mit SSUV-Nachbestrahlung

4.2 FLUSSZYTOMETRISCHE QUANTIFIZIERUNG DER UV-INDUZIERTEN CPDS

Der Anteil an DNA-Schäden (CPDs pro Zelle) wurde unter Verwendung eines monoklonalen Primärantikörpers und eines fluoreszenzmarkierten Sekundärantikörpers durchfluss-zytometrisch quantifiziert.

4.3 BESTIMMUNG DES METHYLIERUNGSSTATUS VON CPGS MITTELS PYROSEQUENZIERUNG BISULFIT-BEHANDELTEN DNA

Der Methylierungsstatus der Promotorregionen von p16^{INK4a} und hTERT¹⁾ sowie der globale Methylierungsstatus wurden durch Pyrosequenzierung ermittelt.

4.4 QUANTIFIZIERUNG DER TRANSKRIPTION VON MICRORNAS UND KANDIDATENGENEN (REPARATURGENEN UND TUMORSUPPRESSOREN) MITTELS QPCR

Die gesamte RNA (inklusive microRNA) wurde mit dem „miRNeasy mini Kit“ (Qiaagen) isoliert. Die Expression von microRNAs wurde mit dem „qScript™ microRNA quantification System“ (Quanta) bestimmt. Die Expression von HSRNU6-2, HSSNORA73A und HSSNORD48 wurde für den Normalisierungszweck (für die Quantifikation der microRNAs) gemessen. Alle microRNA-Primer wurden von der Firma IDT (Integrated DNA Technologies) geliefert.

Für die Transkriptionsanalyse von Reparaturgenen und Tumorsuppressoren wurden cDNAs mit dem „Enhanced Avian First Strand Synthesis Kit“ (Sigma-Aldrich) synthetisiert und mit Realplex-Mastercycler (qPCR) (Eppendorf) quantifiziert. Für die qPCR-Reaktionen wurde eine SYBR-Green-haltige Mischung (SensiMix, Biotline) verwendet.

5. ERGEBNISSE

Die CPD-Reparaturzeitkonstanten wurden nach sequenzieller UV-Bestrahlung (AB-, AS- BA- und BS-Serie) bestimmt. Epigenetische Veränderungen (globale Methylierung, Promoter-Methylierung und microRNA-Transkription) wurden nach sequenzieller UV-Bestrahlung (AB- und AS-Serie) untersucht.

5.1 REPARATUR VON CYCLOBUTANPYRIMIDINDIMEREN (CPD) NACH SEQUENZIELLER UV-BESTRAHLUNG

5.1.1 Reparaturkinetik der UVB-induzierten DNA-Schäden (CPDs) bei sequenzieller Bestrahlung mit UVA-Vorbestrahlung

Für die Reparatur UVB-induzierter CPDs mit UVA-Vorbestrahlung bei einer Pausenzeit ($\Delta t = 0,5$ h) ergab sich eine Reparaturzeitkonstante τ von 23,9 h ($\pm 0,9$ h) (Tabelle 1). Diese Reparaturzeitkonstante unterschied sich nicht von der bei der Bestrahlung mit UVB allein ($\tau = 23,5$ h ($\pm 2,2$ h)). Eine deutliche Verlangsamung der Reparaturkinetik ($\tau = 37,4$ h ($\pm 4,0$ h)) wurde bei der Vorbestrahlung mit einer Bestrahlungspause $\Delta t = 24$ h festgestellt (Abbildung 1 und Tabelle 1).

¹⁾ human telomerase reverse transcriptase

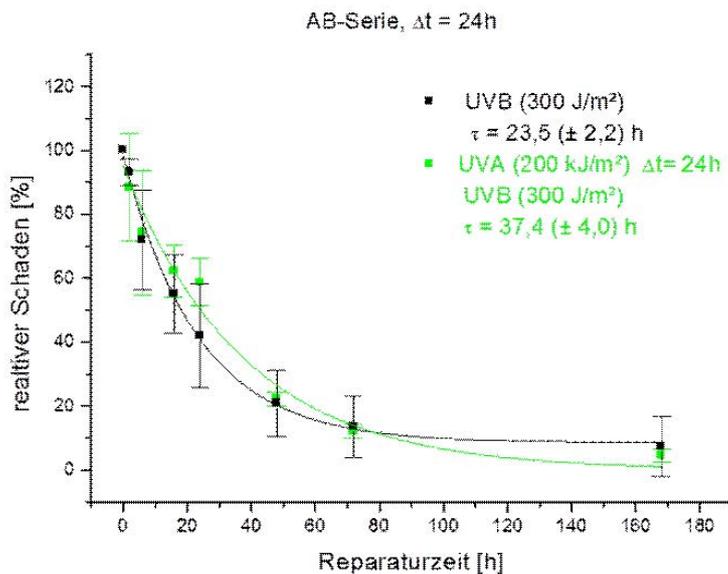


Abbildung 1: CPD-Reparaturkinetik nach Vorbestrahlung mit UVA-Strahlung und Bestrahlung mit UVB (grün, $\Delta t = 24 \text{ h}$). Reparaturkinetik nach UVB-Strahlung allein (schwarz). τ = Reparaturzeitkonstante. Dargestellt sind die Ergebnisse aus zwei Versuchen (jeweils Doppelbestimmung). Die Fehlerbalken geben die Standardabweichung an.

5.1.2 Reparaturkinetik der SSUV-induzierten DNA-Schäden (CPDs) bei sequenzieller Bestrahlung mit UVA-Vorbestrahlung

Eine verlangsamte Reparaturkinetik mit einer Reparaturzeitkonstante τ von 29,6 h ($\pm 5,0 \text{ h}$) wurde für die Reparatur SSUV-induzierter DNA-Schäden mit UVA-Vorbestrahlung bei einer Pausenzeit ($\Delta t = 0,5 \text{ h}$) erhalten (Tabelle 1). Diese Reparaturzeit-Konstante unterschied sich deutlich von der bei der Bestrahlung mit SSUV allein ($\tau = 14,5 \text{ h} (\pm 1,5 \text{ h})$). Eine deutliche Verlangsamung der Reparaturkinetik ($\tau = 29,1 \text{ h} (\pm 3,2 \text{ h})$) konnte auch bei der Vorbestrahlung mit einer Bestrahlungspause $\Delta t = 24 \text{ h}$ festgestellt werden (Tabelle 1).

5.1.3 Reparaturkinetik der UVB-induzierten DNA-Schäden (CPDs) bei der sequenziellen Bestrahlung mit UVA-Nachbestrahlung

Die Nachbestrahlung mit UVA bei einer Pausenzeit ($\Delta t = 0,5 \text{ h}$) änderte die Reparaturkinetik UVB-induzierter DNA-Schäden (CPDs) nicht (Tabelle 2). Die Reparaturzeitkonstante $\tau = 29,2 \text{ h} (\pm 1,0 \text{ h})$ unterschied sich kaum von der bei der Bestrahlung mit UVB allein ($\tau = 28,7 \text{ h} (\pm 1,9 \text{ h})$). Bei einer Bestrahlungspause $\Delta t = 24 \text{ h}$ wurde eine leichte Verlangsamung der Reparaturkinetik UVB-induzierter DNA-Schäden festgestellt. Die Reparaturzeitkonstante τ betrug 32,3 h ($\pm 1,9 \text{ h}$) für die sequenzielle Bestrahlung. Die Bestrahlung mit UVB allein ergab eine Reparaturzeitkonstante $\tau = 24,8 \text{ h} (\pm 1,4 \text{ h})$ (Tabelle 2).

5.1.4 Reparaturkinetik der UVB-induzierten DNA-Schäden (CPDs) bei der sequenziellen Bestrahlung mit SSUV-Nachbestrahlung

Die Nachbestrahlung mit SSUV bei einer Pausenzeit ($\Delta t = 0,5 \text{ h}$) scheint die Reparaturkinetik UVB-induzierter DNA-Schäden (CPDs) nicht beeinflusst zu haben (Tabelle 2). Die Reparaturzeitkonstante $\tau = 27,0 \text{ h} (\pm 1,7 \text{ h})$ unterschied sich kaum von der bei der Bestrahlung mit UVB allein ($\tau = 28,7 \text{ h} (\pm 1,9 \text{ h})$). Auch bei einer Bestrahlungspause $\Delta t = 24 \text{ h}$ konnte kein Unterschied bei der Reparaturkinetik UVB-induzierter DNA-Schäden festgestellt werden. Die Reparaturzeitkonstante τ betrug 22,4 h ($\pm 1,7 \text{ h}$) für die sequenzielle Bestrahlung mit UVB und SSUV-Nachbestrahlung. Die Bestrahlung mit UVB allein ergab eine Reparaturzeitkonstante $\tau = 24,8 \text{ h} (\pm 1,4 \text{ h})$ (Tabelle 2).

Tabelle 1: CPD-Reparaturzeitkonstanten für UVA-Vorbestrahlung plus UVB-Bestrahlung

Strahlenqualität	Bestrahlungspause Δt	Reparaturzeitkonstante τ	Änderung der Reparaturzeit $\Delta \tau$
UVB	–	23,5 h \pm 2,2 h	–
UVA + UVB	0,5 h	23,9 h \pm 0,9 h	0,4 h \pm 3,1 h
UVA + UVB	24 h	37,4 h \pm 4,0 h	13,9 h \pm 6,2 h
SSUV	–	14,5 h \pm 1,5 h	–
UVA + SSUV	0,5 h	29,6 h \pm 5,0 h	15,1 h \pm 6,5 h
UVA + SSUV	24 h	29,1 h \pm 3,2 h	14,6 h \pm 4,7 h

Tabelle 2: CPD-Reparaturzeitkonstanten für UVB-Bestrahlung plus UVA- oder SSUV-Nachbestrahlung

Strahlenqualität	Bestrahlungspause Δt	Reparaturzeitkonstante τ	Änderung der Reparaturzeit $\Delta \tau$
UVB	0,5 h	28,7 h \pm 1,9 h	–
UVB	24 h	24,8 h \pm 1,4 h	–
UVB + UVA	0,5 h	29,2 h \pm 1,0 h	0,5 h \pm 2,9 h
UVB + UVA	24 h	32,3 h \pm 1,9 h	7,5 h \pm 3,8 h
UVB + SSUV	0,5 h	27,0 h \pm 1,7 h	1,7 h \pm 3,6 h
UVB + SSUV	24 h	22,4 h \pm 1,7 h	2,4 h \pm 3,1 h

5.2 EPIGENETISCHE VERÄNDERUNGEN NACH SEQUENZIELLER UV-BESTRAHLUNG

5.2.1 Bestimmung des globalen DNA-Methylierungsstatus nach sequenzieller Bestrahlung mit UVA-Vorbestrahlung gefolgt von UVB oder SSUV

Der globale Methylierungsstatus wurde durch Analyse des prozentualen Methylierungsgrades in vier CpGs¹⁾ der repetitiven LINE1-Sequenz mittels Pyrosequenzierung bestimmt. Der Methylierungsgrad der einzelnen CpGs unterschied sich nicht. Der prozentuale Methylierungsgrad liegt bei allen Proben bei ~55 % und zeigt bei der AB-Serie keine signifikanten Änderungen durch UV-Bestrahlung mit unterschiedlichen Pausenzeiten ($\Delta t = 0,5$ h, 6 h und 24 h) und Reparaturzeiten ($t = 6$ h und 24 h) im Vergleich zur Kontrolle. Die AS-Serie zeigt gleiche Resultate.

5.2.2 Bestimmung des genspezifischen DNA-Methylierungsstatus am hTERT-Promotor nach sequenzieller Bestrahlung

Der Methylierungsstatus der Promotorregion von hTERT wurde mittels Pyrosequenzierung anhand von fünf CpGs analysiert. Die einzelnen CpGs liegen zu ~45 % (CpG1) bis ~90 % (CpG3) methyliert vor, sind also unterschiedlich stark methyliert. Über alle fünf CpGs gemittelt ergibt sich ein Methylierungsgrad von ~70 % für den hTERT-Promotor.

Obwohl die einzelnen CpGs unterschiedlich stark methyliert sind, zeigen sie innerhalb der Proben der AB-Serie die gleiche Tendenz. Daher wird aus Gründen der Übersichtlichkeit nur der mittlere Methylierungsstatus dieser CpGs miteinander verglichen. Die bestrahlten Proben der AB-Serie (UVA allein, UVB allein oder UVA plus UVB) zeigten keinen Unterschied zu der unbestrahlten Kontrolle. Auch die AS-Serie wies keine UV-induzierten Veränderungen auf.

¹⁾ Cytosin-Phosphat-Guanin

5.2.3 Bestimmung des genspezifischen DNA-Methylierungsstatus am P16^{INK4a}-Promotor nach sequenzieller Bestrahlung

Der Methylierungsstatus der Promotorregion von P16^{INK4a} wurde anhand von sieben CpGs mittels Pyrosequenzierung analysiert. Die einzelnen CpGs im selben Versuch zeigen die gleiche Änderungstendenz. Daher wurde aus Gründen der Übersichtlichkeit der über alle sieben CpGs gemittelte Methylierungsstatus des jeweiligen Versuchs dargestellt.

Sowohl das Grundniveau als auch die Veränderung bei der Methylierung wiesen in den beiden Versuchen der Serie AB (UVA-Vorbestrahlung + UVB-Bestrahlung) große Unterschiede auf. Während die Proben der Versuchsreihe AB-II ein niedrigeres Grundmethylierungsniveau (bei etwa 7 %) besaßen und keine bestrahlungsabhängige Methylierungsveränderung zeigten, wiesen die Proben der Versuchsreihe AB-I ein deutlich höheres Grundmethylierungsniveau (bis etwa 18 %) auf und zeigten eine bestrahlungsabhängige Methylierungsänderung. In Abbildung 2 sind die Ergebnisse dieser Versuchsreihen dargestellt.

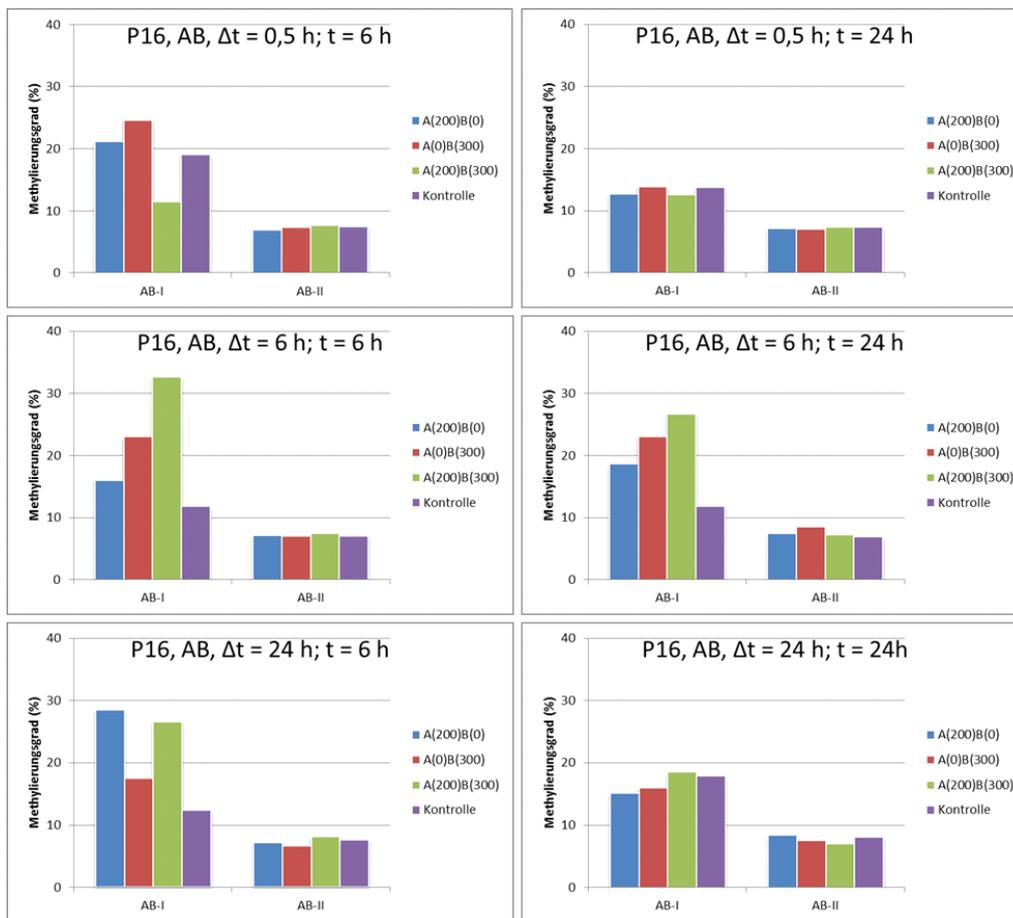


Abbildung 2: Promotormethylierungsstatus des Tumorsuppressors P16^{INK4a} nach sequenzieller Bestrahlung mit UVA + UVB (AB-Serie, Versuch-AB-I und AB-II). Die Abbildungen zeigen die Ergebnisse der sechs Bestrahlungskombinationen mit Bestrahlungspause (Δt) und der Reparaturzeit (t).

Insgesamt ergeben die Daten, in Abhängigkeit der verschiedenen Bestrahlungsprotokolle und der Versuchsreihen, ein sehr dynamisches Bild. Exemplarisch sei hier auf einige UV-induzierte Veränderungen hingewiesen. Betrachtet man Versuchsreihe AB-I, so zeigt sich beim Vergleich der sequenziellen Bestrahlung mit der unbestrahlten Kontrolle nach einem Bestrahlungsprotokoll von $\Delta t = 0,5$ h und $t = 6$ h eine Hypomethylierung (11,5 % im Vergleich zu 19,1 % der unbestrahlten Kontrollprobe). Im Gegensatz dazu wurde bei den längeren Bestrahlungspausen $\Delta t = 6$ h und 24 h bei gleicher Reparaturzeit von $t = 6$ h eine Hypermethylierung beobachtet. Eine längere Reparaturzeit von $t = 24$ h bei einer Bestrahlungspause von $\Delta t = 6$ h führte ebenfalls zu einer Hypermethylierung. Der Effekt einer singulären UVB-Bestrahlung ohne UVA-Vorbestrahlung zeigt ein

ähnliches Bild, allerdings wird nach dem Bestrahlungsprotokoll $\Delta t = 0,5$ h und $t = 6$ h im Vergleich zur unbestrahlten Kontrolle keine Hypomethylierung, sondern eine leichte Hypermethylierung beobachtet.

Der Einfluss von sequenzieller UVA-Vorbestrahlung und SSUV-Bestrahlung (AS-Serie) auf den Methylierungsstatus des Tumorsuppressors P16^{INK4a} zeigte ein ebenso dynamisches Bild wie die Daten der AB-Serien. Die beiden Versuchsreihen AS-I und AS-II wiesen sowohl im Grundniveau als auch bei der Veränderung der Methylierung große Unterschiede auf. Proben des Versuchs AS-I zeigten ein niedrigeres Grundmethylierungsniveau als Proben der Versuchsreihe AS-II. Bei AS-I konnten leichte Änderungen der Promotormethylierung z. B. bei dem Bestrahlungsprotokoll $\Delta t = 6$ h; $t = 6$ h (12,3 % bei sequenzieller Bestrahlung versus 8,8 % bei der Kontrolle) beobachtet werden.

Eine Korrelation des p16-Methylierungsstatus mit einer strahleninduzierten Veränderung der Transkription lag nicht vor.

5.2.4 Transkriptionsveränderung von reparatur- oder krebsrelevanten Genen nach sequenzieller Bestrahlung mit UVA gefolgt von UVB oder SSUV und Korrelation mit der Promotormethylierung

Der Einfluss von sequenzieller UV-Strahlung auf die Transkription von reparatur- oder krebsrelevanten Genen wurde untersucht. In die Untersuchung eingeschlossen wurden folgende Gene: MecP2 (methyl CpG binding protein, epigenetischer Faktor), PTCH1 (patched 1, Tumorsuppressor), KLF4 (Transkriptionsfaktor beteiligt an Stammzell-Funktionen), HIC1 (Hypermethylated in Cancer), P21^{CIP1} (Zellzyklusregulator, Tumor suppressor), SIRT1 (Sirtuin 1, epigenetischer Faktor), XPC (Reparaturprotein in NER), CDH1 (Cadherin 1, Karzinogenese/Tumorsuppressorfunktion), P16^{INK4a} (Zellzyklus-Regulator, Tumorsuppressor), hTERT.

Veränderungen in der Transkription (Induktion (≥ 2 -fach), Repression ($\leq 0,5$ -fach)) wurde insbesondere für KLF4, HIC1, Sirt1, p16^{INK4a} und PTCH beobachtet. So liegt nach serieller Bestrahlung ($\Delta t = 0,5$ h; $t = 6$ h) eine Induktion ($\sim 2,5$ -fach) von KLF4 vor. Für SIRT1 wurde darüber hinaus bei den Bestrahlungsprotokollen mit einer Reparaturzeit $t = 6$ h ($\Delta t = 0,5$ h; $t = 6$ h, $\Delta t = 6$ h; $t = 6$ h und $\Delta t = 24$ h; $t = 6$ h) eine Induktion sowohl nach sequenzieller als auch nach singulärer Bestrahlung mit UVB beobachtet. Für HIC1 lag bei den Bestrahlungsprotokollen mit Pausenzeiten $\Delta t = 0,5$ und $\Delta t = 24$ h (und eingeschränkt nach $\Delta t = 6$ h) bei einer Reparaturzeit $t = 24$ h eine Induktion vor. Auch eine Induktion von P16^{INK4a} konnte unter einigen Bestrahlungsbedingungen (z. B. $\Delta t = 0,5$ h; $t = 24$ h und $\Delta t = 6$ h; $t = 24$ h) beobachtet werden. Als einziges der untersuchten Gene wurde für PTCH1 nach sequenzieller und singulärer Bestrahlung mit UVB bei $\Delta t = 0,5$ h; $t = 6$ h ein starker Rückgang der Transkription (auf 0,24-fach und 0,4-fach) gemessen.

In der AS-Serie konnte, wie auch nach sequenzieller Bestrahlung mit UVA + UVB, ein Effekt für HIC1, P16^{INK4a} und PTCH1, nicht jedoch KLF4 und SIRT1 beobachtet werden. Eine Induktion (2 - 4-fach) von HIC1 und P16^{INK4a} konnte z. B. bei $\Delta t = 0,5$ h; $t = 6$ h und $\Delta t = 0,5$ h; $t = 24$ h festgestellt werden. Wie auch in der AB-Serie wurde für PTCH1 eine Repression (auf $\sim 0,5$ -fach) der Transkription beobachtet. Diese trat hier nach singulärer Bestrahlung mit SSUV und nach sequenzieller Bestrahlung bei $\Delta t = 24$ h; $t = 24$ h auf.

Die größten Effekte in Bezug auf eine strahleninduzierte Veränderung der Transkription konnten für die Gene KLF4, HIC1 und SIRT-1 festgestellt werden. Deshalb wurde der Promotormethylierungsgrad dieser Gene mittels MSP-qPCR bestimmt. KLF4 zeigte sich stark hypermethyliert, ein strahleninduzierter Effekt war nicht zu beobachten. SIRT-1 zeigte sich stark hypomethyliert, ein strahleninduzierter Effekt war nicht zu beobachten.

Für HIC-1 wurde in Abhängigkeit vom Bestrahlungsprotokoll ein Effekt auf die Promotormethylierung beobachtet. Ähnlich wie für P16^{INK4a} zeigte sich hierbei ein sehr dynamisches Bild. So zeigte sich z. B. nach Bestrahlung mit UVA und UVB (AB-Serie) eine starke Hypomethylierung nach singulärer UVA-Bestrahlung für Bestrahlungspausen $\Delta t = 0,5$ h und $\Delta t = 24$ h nach einer Reparaturzeit von $t = 6$ h. Auch nach singulärer UVB-Bestrahlung trat unter bestimmten Bedingungen ($\Delta t = 0,5$ h; $t = 6$ h; $\Delta t = 0,5$ h; $t = 24$ h und $\Delta t = 6$ h; $t = 6$ h) eine DNA-Hypomethylierung auf. Für sequenzielle Bestrahlung (UVA+UVB) konnte ein solcher Effekt bei einer Bestrahlungspause von $\Delta t = 6$ h und einer Reparaturzeit von $t = 6$ h gemessen werden. Auch eine Hypermethylierung trat in der AB-Serie auf. Diese wurde unter bestimmten Bedingungen ($\Delta t = 0,5$ h; $t = 24$ h und $\Delta t = 24$ h; $t = 24$ h) nach singulärer UVA-Bestrahlung detektiert. Bei der AS-Serie wurde ebenfalls sowohl UV-induzierte Hypomethylierung als auch eine Hypermethylierung registriert. Bei den beiden Bestrahlungsreihen kam es häufiger zu Hypomethylierung als zu Hypermethylierung am HIC1-Promotor. Eine Korrelation mit den Transkriptionsdaten lag nicht vor.

5.2.5 Transkriptionsveränderung von microRNAs nach sequenzieller Bestrahlung mit UVA-Vorbestrahlung gefolgt von UVB oder SSUV

Der Einfluss von sequenzieller UV-Strahlung auf die Transkription von microRNAs, welche Funktionen in Hautkarzinogenese oder Hautfunktionalität haben, wurde untersucht. Die untersuchten microRNAs sind:

miR-23b (Tumorsuppressor), miR-21-5p (Onco-miR), miR-182-5p (Onco-miR), miR-29c-3p (Tumorsuppressor), miR-203a (Hautausdifferenzierung/Tumorsuppressor), miR-205-5p (Tumorsuppressor-/Stammzellfunktionen in Maushautzellen), miR-124-3p (in SCC reduziert) und miR-214-3p (in SCC¹) reduziert).

In Abbildung 3 sind die Transkriptionsänderungen der microRNAs durch die sequenzielle Bestrahlung mit UVA-Vorbestrahlung gefolgt von UVB (AB-Serie) für die sechs Bestrahlungskombinationen dargestellt. Eine Induktion ($\geq 1,5$ -fach) oder Repression ($\leq 0,67$ -fach) von microRNAs konnte bei unterschiedlichen Bestrahlungsprotokollen festgestellt werden. So zeigte z. B. miR-29c-3p bei $\Delta t = 0,5$ h; $t = 6$ h eine Reduktion (auf 0,36-fach und 0,66-fach) durch singuläre Bestrahlung mit UVA oder UVB. Eine Reduktion von miR-29c-3p konnte auch bei $\Delta t = 0,5$ h; $t = 24$ h gemessen werden, die hier auch nach sequenzieller Bestrahlung auftrat. Nach dem Bestrahlungsprotokoll $\Delta t = 24$ h und $t = 24$ h lag eine Induktion der Transkription von miR-29c-3p insbesondere nach sequenzieller Bestrahlung vor. Für miR-205-5p zeigte sich eine Induktion nach singulärer und sequenzieller Bestrahlung nach dem Bestrahlungsprotokoll $\Delta t = 0,5$ h; $t = 6$ h. Interessanterweise wiesen bei $\Delta t = 6$ h; $t = 6$ h sieben der acht untersuchten microRNAs eine Induktion auf und keine wurde reprimiert. Allerdings zeigten sich keine Unterschiede zwischen singulärer und sequenzieller Bestrahlung.

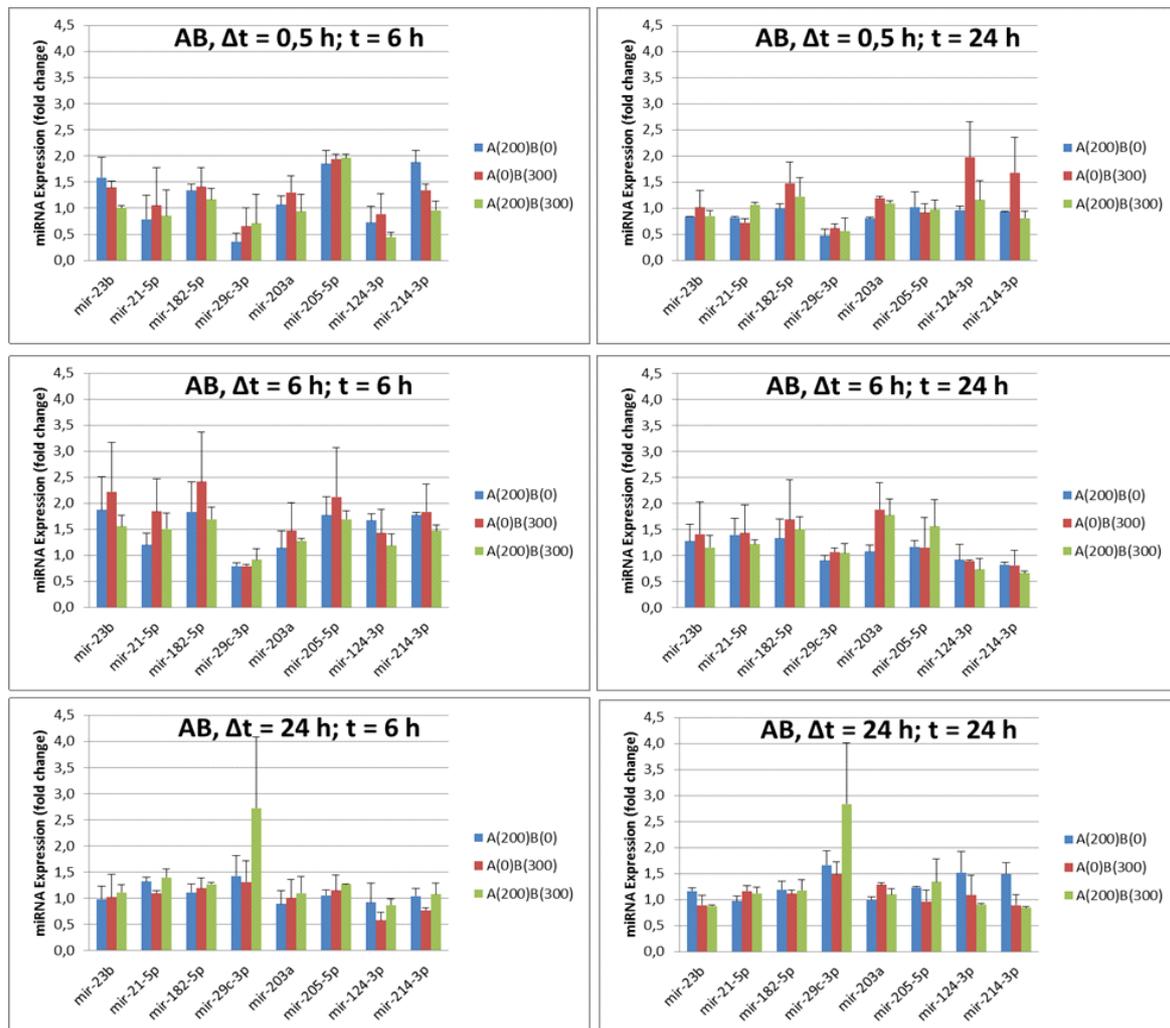


Abbildung 3: Transkriptionsänderungen von microRNAs nach sequenzieller Bestrahlung mit UVA + UVB (AB-Serie). Die Abbildungen zeigen die Ergebnisse der sechs Bestrahlungskombinationen mit Bestrahlungspause (Δt) und der Reparaturzeit (t). Die Daten wurden aus zwei Versuchen gemittelt, die Fehlerbalken geben die Standardabweichung an. Der „fold change“ bezieht sich auf die Veränderung im Vergleich zur Expression der microRNAs in nicht bestrahlten Proben.

¹⁾ Plattenepithelkarzinom

Wie schon in der AB-Serie trat bei der AS-Serie in Abhängigkeit vom Bestrahlungsprotokoll eine Induktion oder Repression von microRNAs auf. So zeigte sich für miR-182-5p, miR-203a, miR-205-5p und 124-3p eine Induktion nach sequenzieller Bestrahlung bei einem Bestrahlungsprotokoll $\Delta t = 0,5$ h und $t = 24$ h. Bei $\Delta t = 6$ h; $t = 6$ h konnte nur eine reduzierte Expression z. B. für miR-23b, miR-214-3p und miR-29c-3p beobachtet werden. Bei $\Delta t = 24$ h und $t = 6$ h konnte nur nach singulärer SSUV-Bestrahlung eine erhöhte Expression z. B. für miR-214-3p, miR-29c-3p und miR-124-3p beobachtet werden. Eine Induktion von miR-124-3p konnte darüber hinaus auch nach singulärer UVA-Bestrahlung und nach sequenzieller Bestrahlung für $\Delta t = 24$ h und $t = 6$ h detektiert werden.

Für die Expression von microRNAs ergibt sich für die einzelnen Bestrahlungskombinationen ein sehr heterogenes Bild. Insbesondere der Vergleich zwischen singulärer und sequenzieller Bestrahlung zeigte keine einheitliche Tendenz, d. h. Effekte (Induktion oder Repression) traten für die einzelnen untersuchten miRNAs in allen bestrahlten Proben eines Bestrahlungsregimes oder auch nur nach singulärer oder sequenzieller Bestrahlung auf. Mit einer Ausnahme (miR 29c-3p, AS-Serie, $\Delta t = 24$ h; $t = 24$ h) zeigte sich für die einzelnen miRNAs innerhalb eines Bestrahlungsregimes immer entweder eine Induktion oder eine Repression.

6. UMSETZUNG DER ERGEBNISSE

In dieser Zellkultur-Studie wurden Einflüsse aufeinanderfolgender (sequenzieller) Bestrahlung mit unterschiedlichen UV-Strahlungsqualitäten auf für die Hautkrebsentstehung relevante zelluläre Endpunkte (Reparatur von UV-induzierten DNA-Schäden, epigenetische und genregulatorische Prozesse wie DNA-Methylierung und Expression von microRNAs) in menschlichen Hautzellen untersucht. Die Ergebnisse verbessern die Informationsbasis über die Wirkungen von UV-Strahlung auf zelluläre Regulationsprozesse im Zusammenhang mit der Entstehung von Hautkrebs. Sie fließen zudem in das vom BMBF geförderte KAUVIR-Projekt (KAUVIR= „Kombination statt Addition: UV bis IR-Strahlung in der Krebsentstehung und Alterung“) ein.

Relevant für den Strahlenschutz sind vor allem die Hinweise darauf, dass eine Vorbestrahlung mit UVA die Reparatur von mit zeitlicher Verzögerung gesetzten, vor allem von UVB induzierten DNA-Schäden verlangsamen kann. Dies hätte z. B. dann praktische Bedeutung, wenn ein Solarienbesuch (hoher UVA-Anteil) kombiniert wird mit nachträglicher solarer UV-Exposition. Die Ergebnisse stützen die Empfehlungen des BfS zur Hautkrebsprävention und insbesondere die Empfehlungen im Hinblick auf die Vermeidung zusätzlicher künstlicher UV-Exposition in Solarien.

Themenbereich 04
Medizinische Strahlenexposition / Röntgenverordnung

Subject area 04
Medical radiation exposures / X-ray Ordinance

Thema			
Untersuchung des Brustkrebsrisikos nach Radioiodtherapie eines Schilddrüsenkarzinoms bei Jugendlichen und jungen Frauen			
Subject			
<i>Assessment of breast cancer risk following radioiodine treatment for thyroid cancer among female adolescents and young women</i>			
Kennzeichen 3611S40006	Beginn 01.10.2012	Ende 30.09.2014	Fördermittel EUR 61.399,-
Forschungs- / Auftragnehmer			
Klinik und Poliklinik für Nuklearmedizin der Universität Würzburg, Würzburg			
Projektleitung Prof. Dr. Chr. Reiners	Fachbetreuung BfS A. Erzberger / AG-SG 2.1	verantwortlich für den Text Prof. Dr. Chr. Reiners, Dr. R. Schneider	

1. ZIELSETZUNG

Bisherige Studien, die den Zusammenhang einer Radioiodtherapie (RIT) auf Grund von Schilddrüsen(SD)-krebs und malignen Zweittumoren - insbesondere Brustkrebs - untersuchten, führten zu kontroversen Resultaten. Eine Pilotstudie mit weißrussischen Patientinnen, die sich im Kindes-, Jugend- und frühen Erwachsenenalter wegen eines Schilddrüsenkarzinoms infolge des Reaktorunfalls in Tschernobyl einer RIT unterzogen, sollte Voraussetzungen und Rahmenbedingungen für die Durchführung einer langfristigen, prospektiven Untersuchung eines größeren, geeigneten Studienkollektivs erarbeiten und prüfen, um das Risiko für ein sekundäres Mammakarzinom nach RIT zu beurteilen.

2. EINZELZIELSETZUNG

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

Der erste Projektteil (AP 1 und AP 2) verfolgte folgende zwei Einzelzielsetzungen:

- Analyse und Zusammenfassung des aktuellen Standes von Wissenschaft und Technik zur Frage eines sekundären Mammakarzinoms nach RIT
- Planung einer Machbarkeitsstudie und Entwicklung eines Modells zur länderübergreifenden Kooperation nationaler und internationaler medizinischer Zentren sowie Identifizierung und Beschreibung geeigneter Patientinnen-Kohorten, mit dem Ziel eine ausreichend große Kohorte für die Hauptstudie zu rekrutieren.

Der zweite Projektteil (AP 3 und AP 4) - die Durchführung und Auswertung einer Machbarkeitsstudie - umfasste die beiden Einzelziele:

- Untersuchung von je 100 Schilddrüsenkrebspatientinnen mit RIT und vergleichbaren Kontrollen ohne RIT entsprechend einem Studienprotokoll in Weißrussland zur Erprobung des praktischen Arbeitsablaufs
- Eingabe der erhobenen Daten in eine klinische, webbasierte Datenbank zur Dokumentation von u. a. RIT-bedingten Nebenwirkungen wie sekundärem Brustkrebs sowie Auswertung und Analyse der Daten.

3. METHODIK

Die bisherigen Arbeiten des Auftragnehmers sowie Stellungnahmen einschlägiger nationaler und internationaler Gremien wurden dargestellt; eine qualitative, systematische Literaturanalyse zum Brustkrebsrisiko von Schilddrüsenkrebspatienten nach RIT wurde durchgeführt.

Zur Vorbereitung der Machbarkeitsstudie wurden Fragebögen entwickelt, um die für die Bestimmung des Brustkrebsrisikos relevanten Daten der Schilddrüsenkrebspatientinnen zu erfassen. Geeignete klinische Labor- und bildgebende Untersuchungsmethoden wurden ausgewählt und entsprechende Untersuchungs- und Qualitätssicherungsprogramme etabliert. Studienablauf und Reihenfolge der Untersuchungen wurden in einem Untersuchungsprogramm dargestellt, um die Eckpunkte eines Studienplans im Hinblick auf Machbarkeit abzuklären.

Um die Daten der neuen Fragebögen in der Datenbank zu verwalten, wurde die Datenbank um die entsprechenden zusätzlichen Formulare erweitert.

Zur Ermittlung eines genügend großen, geeigneten Kollektivs für eine epidemiologische Untersuchung des Zusammenhangs zwischen sekundärem Brustkrebs und RIT wurden weltweit weitere, in Frage kommende Studienkohorten identifiziert. Die Eignung der eruierten Kohorten, deren Größe und weitere Charakteristika sowie der Umfang der erforderlichen Untersuchungen/Daten wurden geprüft und bewertet. Eine primäre statistische Analyse und Fallzahlberechnung wurde durchgeführt.

4. DURCHFÜHRUNG

4.1 STAND DER WISSENSCHAFT (AP 1)

Zur Darstellung der bisherigen Arbeiten des Auftragnehmers wurden die Beteiligung an Projekten des Gemeinschaftsausschusses Strahlenforschung (GAST) sowie Ergebnisse von Forschungsvorhaben zur Behandlung und Langzeitnachsorge nach Schilddrüsenkrebs infolge des Reaktorunfalls in Tschernobyl bei Kindern, Jugendlichen und jungen Erwachsenen aus Weißrussland zusammengefasst.

Die Stellungnahmen nationaler und internationaler wissenschaftlicher Gremien wurden recherchiert und bewertet.

Zudem wurde von Dezember 2012 bis Februar 2013 eine systematische Recherche der Literaturdatenbanken MEDLINE (Pubmed), Cochrane und Embase nach deutsch- und englischsprachigen Originalarbeiten durchgeführt, die nach methodischen Qualitätskriterien und hinsichtlich ihrer Resultate analysiert und ausgewertet wurde. Auf Grund der Heterogenität und des Designs der Studien erfolgte eine qualitative Analyse.

4.2 PLANUNG (AP 2)

Die Planung bestand aus zwei Teilaufgaben:

- Konzeption einer Machbarkeitsstudie, die die Definition der Rahmenbedingungen der Machbarkeitsstudie umfasste, u. a. die Festlegung der Studienart, des Studienumfangs sowie der Ein- und Ausschlusskriterien der Patienten- und Kontrollgruppe, die Entwicklung von Fragebögen zur Erfassung der für die Bestimmung des Brustkrebsrisikos relevanten Daten der untersuchten Frauen, die Erstellung des Untersuchungsprogramms mit der Festlegung des zeitlichen Ablaufs und der Reihenfolge der Untersuchungen und Benennung und Begründung der in Frage kommenden klinischen, Labor- oder bildgebenden Untersuchungsmethoden, die Vorbereitung der Datenbank mit der Aktualisierung von Patientendaten sowie die Ergänzung der neuen Untersuchungsparameter und die Etablierung entsprechender Qualitätssicherungsprogramme inklusive der Behandlung der Daten von Frauen, die die Nachsorge abrechnen.
- Ermittlung weltweiter Patientenkohorten, die geeignet sind, in die Hauptstudie zur Untersuchung des Brustkrebsrisikos nach RIT einbezogen zu werden und die Entwicklung eines Modells zur länderübergreifenden Kooperation zwischen entsprechenden medizinischen Zentren.

4.3 HALTEPUNKT

Nach AP 1 und AP 2 war ein Haltepunkt, die Erstellung eines eigenständigen schriftlichen Berichts zu den Ergebnissen von Projektteil 1 (AP 1 und AP 2) sowie ein Projektgespräch zur Vorstellung der Detailplanung und Abstimmung des Arbeitsprogramms mit dem Forschungsgeber eingeplant.

Gemäß den Empfehlungen des Forschungsgebers wurden Ergänzungen zu AP 2 des Forschungsvorhabens erforderlich.

Auf Grund von Verzögerungen bei der Ermittlung weltweiter Patientenkohorten konnte der geplante zweite Projektteil mit AP 3 und AP 4 nicht innerhalb des vorgegebenen Zeitrahmes des Vorhabens durchgeführt werden. Das Forschungsvorhaben endete aus diesem Grund bereits nach Projektteil 1 (AP 1 und AP 2).

5. ERGEBNISSE

5.1 STAND VON WISSENSCHAFT UND TECHNIK (AP 1)

Insgesamt unterzogen sich knapp 250 Kinder und Jugendliche mit fortgeschrittenem Schilddrüsenkarzinom (144 bzw. 58 % Patientinnen; 103 bzw. 42 % Patienten) an den Universitätskliniken in Essen (1992-1993) und

Würzburg (1994-2007) einer RIT nach vorausgegangener Schilddrüsenoperation im Schilddrüsenkrebszentrum in Minsk, Weißrussland. Die Zahl der in Deutschland durchgeführten Behandlungszyklen mit Radioiod lag bei 1068.

Von Januar 2005 bis Dezember 2007 wurden im Rahmen des BfS-Forschungsvorhabens „Nachsorge von Kindern mit Schilddrüsenkrebs post-Tschernobyl aus Weißrussland“ nahezu alle der in Würzburg mit einer RIT behandelten Patienten (94,2 %) entsprechend einem definierten Untersuchungsprotokoll in Minsk medizinisch nachuntersucht (137 bzw. 60 % Patientinnen; 91 bzw. 40 % Patienten). Im Jahr 2004 wurde für diese Patienten eine Nachsorgestelle in Minsk gegründet, die seither von der weißrussisch-deutschen Stiftung „Arnica“ unterhalten wird. Bis auf einen Patienten, der 16 Jahre nach einer zunächst erfolgreichen RIT verstarb, und zwei Patienten mit Spätrezidiven, sprachen alle Patienten gut auf die Therapie an. Mögliche Komplikationen einer RIT, wie Lungenfibrose, traten bisher nur sehr selten auf. Ein Brustkarzinom als Folge der RIT wurde bislang nicht diagnostiziert.

Die publizierten Stellungnahmen zum Risiko durch medizinische Strahlenexposition der Strahlenschutzkommission (SSK) und einiger übergeordneter internationaler wissenschaftlicher Institutionen wurden ermittelt und analysiert. Weder Berichte des National Research Council (NRC) - Biological Effects of Ionizing Radiation (BEIR)-VII-Bericht - noch der United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation - UNSCEAR-2006-Bericht - ließen eine eindeutige Einschätzung des Brustkrebsrisikos nach RIT wegen eines Schilddrüsenkarzinoms zu.

Eine systematische Literatursuche ermittelte 30 relevante englischsprachige Publikationen von 1984 bis 2013. Nahezu die Hälfte der Studien fand ein erhöhtes Brustkrebsrisiko nach Schilddrüsenkrebs, weniger als ein Viertel der Studien dagegen keine Risikoerhöhung. Ein größeres Brustkrebsrisiko nach einer RIT wegen Schilddrüsenkrebs beobachtete nur eine Studie. Wegen der großen Unterschiede der Studien und der vielfältigen Einschränkungen hinsichtlich Qualität und Design ist die Evidenzbasis weiterhin schwach.

5.2 PLANUNG (AP 2)

Die erarbeiteten Rahmenbedingungen der Machbarkeitsstudie umfassten Aspekte wie die Studienart, den Studenumfang sowie die Ein- und Ausschlusskriterien der Patienten- und Kontrollgruppe.

Insgesamt wurden zur Datenerhebung sieben Fragebögen entwickelt: drei Fragebögen zu Risikofaktoren für Brustkrebs und zur Untersuchung der Brust, ein Fragebogen zur gynäkologischen Anamnese und Untersuchung, zwei Fragebögen zur Schilddrüsenuntersuchung sowie ein Fragebogen zur radiologischen Anamnese.

Gemäß den Empfehlungen des Forschungsgebers wurden Ergänzungen zu AP 2 des Forschungsvorhabens erforderlich, die sich auf die folgende Punkte bezogen:

5.2.1 In Frage kommende Patientenpopulationen

Die in Frage kommenden Patientenpopulationen wurden bezüglich Größe der Studienpopulation, des Geschlechts der Patienten, des Alters der Patienten bei Diagnose, der Therapiemodalitäten (mit/ohne RIT) und Dosisbereiche charakterisiert und tabellarisch dargestellt.

Für die geplante prospektive Hauptstudie wurden sechs geeignete Kohorten aus vier Ländern ermittelt. Die Kontaktaufnahme mit den Studienzentren (zwei in Deutschland, zwei in Weißrussland und je eines in der Ukraine und in Polen) erfolgte per Email, telefonisch und in persönlichen Gesprächen.

5.2.2 Statistische Abschätzung

Die primäre Analyse betraf den Endpunkt „brustkrebsfreies Überleben“ bei Frauen nach Behandlung eines Schilddrüsenkarzinoms. Der hauptsächlich interessierende Risikofaktor war die Anwendung mindestens einer RIT innerhalb der Behandlung des Schilddrüsenkarzinoms, erfasst als dichotome Variable. Beim Schätzen und Testen des Effektes des möglichen Risikofaktors RIT sollten weitere mögliche Einflussfaktoren und Confounder in die Analyse eingeschlossen werden: das Alter bei der Diagnose des SD-Karzinoms sowie eine dichotome Variable zur Kodierung, ob das SD-Karzinom spontan aufgetreten oder strahleninduziert war („Tschernobyl-Effekt“). Die adäquate multivariable statistische Analyseverfahren ist die Cox-Regression unter Voraussetzung proportionaler Hazardfunktionen.

Für die Herleitung der Annahmen für die Fallzahlberechnung galt:

Die Nullhypothese, dass der Regressionskoeffizient zum Faktor RIT ja/nein im Modell den Wert 0 hat, was gleichbedeutend damit ist, dass der Faktor RIT keinen Einfluss auf die Hazardfunktion und damit auf die Survivalfunktion hat (d. h. Hazard Ratio = 1), sollte mittels Wald-Score Test zum Signifikanzniveau 0,05 geprüft werden. Basierend auf publizierten Daten zu Registern in den USA und in Frankreich wurde ein Wert von

0,025 für den Anteil der Frauen, die im Verlaufe der Nachverfolgung in der Hauptstudie einen Brustkrebs entwickeln, angenommen. Die Fallzahl in dieser Studie sollte ausreichend sein, um eine Hazard Ratio von 1170 als signifikante Abweichung von der Nullhypothese einer Hazard Ratio von 1,0 mit einer Power von 0,80 (80 %) aufdecken zu können. Die bisher aus den Registern in Würzburg, Münster, Minsk, Kiew und Gliwice zur Verfügung gestellten Daten zeigen einen Anteil von 0,73 (73 %) von Frauen mit Schilddrüsenkarzinom, die nach der Operation eine RIT erhielten. Aus diesen Annahmen ergeben sich 0,0165 erwartete Anteile von inzidentem Brustkrebs in der Gruppe ohne RIT und 0,0279 erwartete Anteile von inzidentem Brustkrebs in der Gruppe mit (mindestens) einer RIT.

Unter den getroffenen Annahmen sichern 8070 in die Studie eingeschlossene Frauen mit behandeltem Schilddrüsenkrebs eine Power von 0,80 (80 %), um für Frauen nach Schilddrüsenkrebstherapie eine tatsächlich vorhandene RIT-spezifische Hazard Ratio bezüglich inzidentem Brustkrebs von 1,70 als signifikante Abweichung von der Nullhypothese aufzudecken. Nach aktuellem Stand können 7615 Frauen in die Untersuchung eingeschlossen werden.

5.2.3 Kooperationsbereitschaft

Zur Evaluierung der Bereitschaft in den ermittelten, in Frage kommenden Institutionen zu einer langjährigen Kooperation im Rahmen der geplanten Hauptstudie und der Möglichkeiten der Vervollständigung bzw. Abgleichung vorhandener Daten wurde das grundsätzliche Interesse an einer Zusammenarbeit und Beteiligung an der Hauptstudie eruiert. Die möglichen Kooperationspartner wurden gebeten, relevante Kenngrößen ihrer jeweiligen Studienpopulation zu übermitteln und damit ihre Bereitschaft zur Kooperation zu bekunden.

5.2.4 Untersuchungsprogramm

Das zwingend erforderliche Untersuchungsprogramm (Programmminimum) sieht vor, dass bei künftigen Untersuchungsterminen die Studienteilnehmer entsprechend dem im jeweiligen nationalen Studienzentrum geltenden Nachsorgeprotokoll und -intervall befragt und medizinisch untersucht werden; die jeweils vorgesehenen Routine-Laboruntersuchungen werden durchgeführt. Das Auftreten von Zweitumoren, insbesondere Brustkrebs, im Laufe der Nachbeobachtung wird in den Studienzentren dokumentiert; die Ergebnisse eventuell nachfolgender Untersuchungen und durchgeführter Behandlungen werden erfasst.

Das umfangreichere, wünschenswerte Studienprotokoll (Programmmaximum) sieht eine allgemeine und spezielle Anamnese sowie Laboruntersuchungen, Schilddrüsen- und gynäkologische Untersuchungen vor:

- allgemeine Anamnese: bisherige Krankengeschichte und Familienanamnese
- radiologische Anamnese
- Laboruntersuchungen, Probenbestimmung
- allgemeine Blutuntersuchung mit der Bestimmung des sog. kleinen Blutbilds: Leukozyten, Erythrozyten, Hämoglobin sowie Erythrozyten-Sedimentationsrate (ESR)
- biochemische Tests zur Bestimmung von Blutfetten: Cholesterin, HDL (high-density lipoproteins), LDL (low-density lipoproteins), beta-Lipoproteine, Triglyceride
- zur Abklärung der Pankreasfunktion: Bestimmung von Glucose sowie der Leberenzyme: Aspartat-Aminotransferase (AST), Alanin-Aminotransferase (ALT)
- zur Beurteilung der Schilddrüsenfunktion: TSH, ft4, TG, Anti-TG, Anti-TPO
- zur Abklärung des weiblichen Geschlechtshormonstatus: LH, FSH, Prolaktin, Testosteron, Östradiol und Progesteron
- zur Bestimmung des Kalzium-Phosphat-Metabolismus: Calcium und Phosphat
- Schilddrüsenuntersuchung inkl. Ultraschalluntersuchung und Anamnese
- gynäkologische Untersuchung (Palpation, Koloskopie) und Anamnese
- Brustuntersuchung
- Palpation
- bei unklaren oder suspekten Befunden Ultraschalluntersuchung, Mammographie, Punktion

5.2.5 Qualitätssicherung

Die Qualitätssicherung der Daten/Untersuchungen, der Daten- und Untersuchungsumfang, die Untersuchungsfrequenz, die Datenerhebung und Datensicherheit sowie der Datenschutz personenbezogener Daten wurden beschrieben.

Der Umfang der zu erhebenden Daten richtet sich nach den im jeweiligen Studienzentrum durchgeführten Untersuchungen gemäß dem jeweiligen Nachsorgeprotokoll und -intervall. Datenformate und -lieferung müssen mit den beteiligten Institutionen abgestimmt werden.

In Folgeuntersuchungen in ca. jährlichen Abständen wird im Wesentlichen das Programm der Erstuntersuchung wiederholt, um pathologische Veränderungen und das Neuauftreten von Erkrankungen zu erfassen. Ein jährliches Brustkrebscreening wird empfohlen.

Zur Datenerhebung werden alle Untersuchungsergebnisse zunächst in entsprechend entwickelten Papierfragebögen dokumentiert und anschließend zeitnah in die Datenbank eingegeben, um eine sichere Erfassung und Erhaltung der Daten zu gewährleisten. Die Originalunterlagen werden in geeigneter Form aufbewahrt. Für numerische Variablen erfolgt eine Zweit- bzw. Prüfeingabe. Der nach der Prüfeingabe erhaltene Rohdatensatz wird in unveränderter Form aufbewahrt. Plausibilitätskontrollen erfolgen prinzipiell auf der Grundlage des prüfeingegebenen Rohdatensatzes. Eventuell erforderliche Änderungen der Variablenwerte oder die Bildung neuer Variablen werden in jedem Einzelfall schriftlich dokumentiert. Hinsichtlich der Behandlung der Daten von Frauen, die die Nachsorge abbrechen, ist vorgesehen bei Abbruch der Nachsorge von bis zu 5 % der Patienten oder Kontrollen statistische Korrekturen vorzunehmen. Sollte ein größerer Prozentsatz der Kohorte die Nachsorge rechen, ist vorgesehen, weitere Patienten bzw. Kontrollen als Ersatz zu rekrutieren.

Um die Datensicherheit zu gewährleisten werden u. a. folgende Maßnahmen etabliert:

- periodische Back-ups
- Duplikation der Computerfiles an einem anderen physischen Ort zum Schutz vor komplettem Datenverlust
- Einsatz routinemäßiger Anti-Virus-Programme.

Die Studie wird nach den geltenden datenschutzrechtlichen Bestimmungen (EU-Datenschutzrichtlinie, Bundesdatenschutzgesetz, Landesdatenschutzgesetz) für den Umgang mit personenbezogenen Patientendaten, Krankenunterlagen und Krankenblattarchiven durchgeführt. Mit Hilfe eines Sicherheitskonzepts werden zudem der Schutz vor unbefugtem Zugriff und der Schutz vor Datenverlust sichergestellt.

Zu den geplanten Maßnahmen der Qualitätssicherung der Laboruntersuchungen gehören Verfahren der Standardisierung und Validierung der Messmethoden, der Kontrolle des Studienablaufs und der Datenqualität sowie Schulung des Personals. Für die Hauptstudie wird eine begleitende Qualitätssicherung aller relevanten Instrumente und Verfahren sichergestellt. Es soll eine Standardisierung der Verfahren und Kriterien, Prüfung der Validität und Reliabilität der eingesetzten Erhebungsinstrumente und Messverfahren sowie Festlegung von Art, Umfang, Ort und Zeitpunkt der durchzuführenden Qualitätskontrollen erfolgen.

6. UMSETZUNG DER ERGEBNISSE

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

Die Klärung des Nutzen/Risiko-Verhältnisses bei der Strahlentherapie, hier der möglichen Induktion des Zweitumors Brustkrebs nach RIT, ist insbesondere für junge Patienten von Bedeutung. Die Studie trägt zur Klärung des Nutzen/Risiko-Verhältnisses bei der Anwendung ionisierender Strahlung in der Medizin bei. Dies kann dem BMUB als Entscheidungsgrundlagen für die Vorbereitung bzw. Umsetzung von rechtlichen Regelungen dienen (z. B. „rechtfertigende Indikation“ gemäß § 80 StrlSchV, resp. „Richtlinien Strahlenschutz in der Medizin“).

Thema

Etablierung eines IT-gestützten Verfahrens zur Erfassung von Untersuchungsparametern (IVEU) durch die Ärztlichen Stellen und deren Übermittlung an das BfS und Auswertung der erhobenen Daten im Rahmen einer Querschnittsstudie

Subject

Establishment of an IT-based system for the acquisition of examination parameters by German authorities for quality assurance, their transfer to the Federal Office for Radiation Protection and evaluation by a survey

Kennzeichen

3611S40008

Beginn

01.05.2012

Ende

28.02.2015

Fördermittel

EUR 256.105,-

Forschungs- / Auftragnehmer

TÜV SÜD Life Service GmbH, Ärztliche Stelle Hessen, Frankfurt

Projektleitung

PD Dr. M. Walz

Fachbetreuung BfS

Dr. A. Schegerer / AG-SG 2.3

verantwortlich für den Text

PD Dr. M. Walz

1. ZIELSETZUNG

Ziel des Vorhabens war die elektronisch unterstützte, vereinfachte und valide Erhebung von strahlenexpositions- und qualitätsrelevanten Untersuchungsparameter bei medizinischen Strahlenanwendungen im Rahmen der Überprüfungen durch die Ärztlichen Stellen (ÄS) nach § 17a RöV und § 83 StrlSchV, die Übermittlung von patientendosisrelevanten Daten an das Bundesamt für Strahlenschutz (BfS) und die Auswertung von in Hessen erhobenen Daten in einer Querschnittsstudie.

2. EINZELZIELSETZUNG

2.1 ERFASSUNG DES AKTUELLEN STANDES UND DER ZUKÜNFTIGEN ANFORDERUNGEN IN DEN ÄRZTLICHEN STELLEN

Ziel war die Erhebung des aktuellen Standes der Strahlenexpositionserfassung und -auswertung in den Ärztlichen Stellen Deutschlands zu den vorhandenen informationstechnischen Grundlagen, zum Bedarf und den Wünschen bez. der Funktionen einer neu innerhalb des IVEU-Projektes zu entwickelnden Software.

2.2 ENTWICKLUNG EINER SOFTWARE ZUR ERFASSUNG VON UNTERSUCHUNGSPARAMETERN DURCH DIE ÄRZTLICHEN STELLEN UND DEREN ÜBERMITTLUNG AN DAS BfS

Ziel war die Entwicklung und Bereitstellung einer Software für die Ärztlichen Stellen Deutschlands, mit der insbesondere valide strahlenexpositionsrelevante Daten erfasst, für die Überprüfungen nach § 17a RöV und § 83 StrlSchV ausgewertet und an das BfS übermittelt werden können. Die IVEU-Software soll auch den medizinischen Strahlenanwendern in Deutschland kostenfrei zur Verfügung gestellt werden, um deren Protokollierung des Umgangs mit ionisierenden Strahlen, das interne Qualitätsmanagement und die Akzeptanz zur Datenübermittlung an die Ärztlichen Stellen zu unterstützen.

2.3 AUSWERTUNG DER ERHOBENEN DATEN IM RAHMEN EINER QUERSCHNITTSTUDIE IN HESSEN

Es sollten die im Rahmen des IVEU-Projektes erhobenen, exemplarischen Daten der Ärztlichen Stelle Hessen aus den Überprüfungen zu Strahlenanwendungen nach § 17a RöV und teilweise § 83 StrlSchV in den Jahren 2013 und 2014 ausgewertet werden.

3. METHODIK

3.1 ERFASSUNG DES AKTUELLEN STANDES UND DER ZUKÜNFTIGEN ANFORDERUNGEN IN DEN ÄRZTLICHEN STELLEN

Die relevanten Informationen aus den Ärztlichen Stellen wurden mit Hilfe von Fragebögen erhoben, teilweise unterstützt durch telefonische Kontakte, Anfragen im Rahmen der Treffen des Zentralen Erfahrungsaustauschs der Ärztlichen Stellen und bei Projektsitzungen und Workshops des IVEU-Projektes.

3.2 ENTWICKLUNG EINER SOFTWARE ZUR ERFASSUNG VON UNTERSUCHUNGSPARAMETERN DURCH DIE ÄRZTLICHEN STELLEN UND DEREN ÜBERMITTLUNG AN DAS BFS

Auf Basis der erhobenen Anforderungen der Ärztlichen Stellen wurden in Zusammenarbeit der Projektpartner, insbesondere der Ärztlichen Stellen, dem Centre Recherche Public Henri Tudor, der Technischen Hochschule Mittelhessen (THM) und Vertretern aus Krankenhäusern und Praxen (insbesondere aus Braunschweig, Mannheim und Nürnberg/Schweiz) das Software-Konzept und ein Zeitplan erstellt. Die Programmierung erfolgte unter der Federführung des Centre Recherche Public Henri Tudor unter Beteiligung weiterer Projektpartner und deren Studenten (z. B. bez. Klassifikationsmodul und Dosisprotokollauswertungen).

3.3 AUSWERTUNG DER ERHOBENEN DATEN IM RAHMEN EINER QUERSCHNITTSTUDIE IN HESSEN

In einer Pilotstudie sowie in den kontinuierlichen Tests der IVEU-Software unter Nutzung der DICOM¹⁾-Header-Daten der Ärztlichen Stelle Hessen (ÄSH) wurde der aktuelle Stand der Datenextraktionsmöglichkeiten und der notwendigen Algorithmen und Abläufe für Auswertungen analysiert und optimiert. Mit der Hochschule Mittelhessen wurde ein Data Mining Tool für die komplexen Auswertungen in den Ärztlichen Stellen und im Rahmen der Querschnittsstudie entwickelt. Die Datenstrukturen, die Terminologie und die praktischen Erhebungsformen sowie Mensch-Maschinen-Schnittstellen inkl. Austauschmodul wurden erstellt und verschiedene Auswerteprojekte konfiguriert und eingesetzt, z. B. für Prüfungen der Ärztlichen Stellen oder eine Jahresauswertung.

4. DURCHFÜHRUNG

4.1 IMPLEMENTIERUNG DER SOFTWARE

Die im Rahmen des Projektes erstellte IVEU-Software beinhaltet folgende miteinander verknüpfte, größtenteils auf JAVA basierende Komponenten:

- IVEU-Kern
 - Datenbank (PostgreSQL V 9.2, Open Source)
 - Im-/Exporter, Template-Verwaltung und Script-Verarbeitung
 - Bedienungsoberfläche inkl. Daten-Viewer
 - DICOM-Viewer
 - Schnittstellen
 - Log-Dateien
- Data Mining Tool „Rapid Miner“
 - Open Source Programm mit graphischer Oberfläche
 - Programmierung anhand von über 500 Operatoren
 - Zugriff auf IVEU-Datenbank
 - Bereitstellung vorkonfigurierter Auswertungen (z. B. als xls oder pdf)
 - Berechnung von Sekundärparametern

¹⁾ Digital Imaging and Communications in Medicine

- Klassifikationsmodul
 - Zuordnung zu Untersuchungsarten
 - Festlegung des Modalitätentyps
 - Markierung dosisrelevanter Serien
 - Übernahme und Verarbeitung von Daten aus Fremdsystemen
- Austausch- und Präsentationsmodul
 - Konfigurierbare Präsentation von Dateien und Daten
 - Workflow-Unterstützung (z. B. Datenkorrekturen bzw. -ergänzungen anhand von Plausibilitätsprüfungen, Auslösen von IVEU-Aktionen)
 - Excel-Datei - basierte Eingabe- und Ausgabemöglichkeiten zur Mensch-Maschinen-Interaktion und Datenaustausch mit Fremdsystemen
- Dosismodul
 - Auslesen von CT-Dosis-Reports und CT-Dose-SR¹⁾-Objekten (Pixelmed-Software-Integration)
- Stammdatenmodul
 - Verwaltung von Personen und Geräten nach Strahlenschutzverantwortlichkeit und Strukturen in Ärztlichen Stellen
 - Verbindung zu Fremdsystemen
 - Datenaustausch mit Importer, Workflowunterstützung bei Einlesevorgängen
- Installer-Paket

Die JAVA-basierten Komponenten der IVEU-Software, insbesondere der IVEU-Kern und selbsterstellte Programme, können unter den Betriebssystemen Windows, Linux und Apple OS-X laufen, wie auch in erfolgreichen Tests festzustellen war. Der Workflow wurde entsprechend der Erhebung in AP 1 bei den Ärztlichen Stellen auf den Einsatz unter MS-Windows optimiert. Manche Module verwenden z. B. MS-Excel (Standard: Version 2007) als Basis der Mensch-Maschinen-Kommunikation. Für das Betriebssystem Windows 7 liegen die meisten Erfahrungen vor; einzelne Installationen wurden auch unter Windows 8 und XP durchgeführt. JAVA Version 6 wird als Basis verwendet und bei der Installation bereitgestellt und verbunden; Tests mit JAVA 8 wurden begonnen.

IVEU kann den folgenden Workflow einer ÄS umsetzen: Der Importer übernimmt die Inhalte des DICOM-Objektes und übergibt diese an das Klassifikationsmodul. Der IVEU-Kern extrahiert entsprechend den ausgewählten Templates die Header-Daten. Klassifikationsmodul und Dosismodul stellen weitere Informationen zur Verfügung. Durch den Abgleich mit dem Stammdatenmodul und/oder manuellen Eingaben werden die Verbindungen zu Personen, Geräten und Prüfungen der ÄS überprüft, automatische Zuordnungen sowie eine Modifikation der Pat-ID²⁾ vor Weiterleitung der Bilder an ein PACS³⁾ durchgeführt sowie Angaben von Fremdsystemen übergeben. Der Anwender kann die Datenbankinhalte darstellen und bearbeiten sowie Auswertungen mit Rapid Miner starten. Während der Prüfung der ÄS können die Auswertedateien sowie andere konfigurierte Daten über das Austausch- und Präsentationsmodul geöffnet werden. In einer ebenfalls konfigurierbaren Excel-Tabelle können Aktionen mit IVEU, z. B. Datenergänzungen und Neuberechnungen, ausgelöst sowie Daten aus Fremdsystemen dargestellt, bearbeitet und zurückgegeben werden.

4.2 QUERSCHNITTSTUDIE

In die Querschnittstudie wurden über 50 000 Datensätze von radiologischen und nuklearmedizinischen Untersuchungen von Überprüfungen der ÄSH aus den Jahren 2013 und 2014 herangezogen.

Die Erfassung und Auswertung erfolgte nach Modalitäten und auf folgenden DICOM-Ebenen:

- CT: series (teilweise ergänzt mit DICOM-Header-Daten aus den Bildern)
- Projektionsradiographie: images
- Mammographie: images
- Durchleuchtung: multi-frame images (= Aufnahmeserie), series, images

¹⁾ Dosisprotokoll

²⁾ Patienten-Identifikationsnummer

³⁾ Picture Archiving and Communication System

- Nuklearmedizin (inkl. PET-CT): series

Der größte Teil der Daten stammt von per IVEU eingelesenen DICOM-Medien, die der ÄSH für die Überprüfungen nach Auswahl aus dem Röntgentagebuch zugesandt wurden. Weiterhin wurden im Rahmen von „Vor-Ort-Überprüfungen“ oder Tests der IVEU-Software in röntgenanwendenden Institutionen oder bei Projektpartnern Bilddaten erhoben.

Die Zusammenstellung der einzelnen Untersuchungen pro Gerät erfolgte dementsprechend auf verschiedene Weise, insbesondere:

- zufällig (z. B. alle Untersuchungen aus einer Woche)
- nach Prüfungsschwerpunkten (z. B. Untersuchungen mit dem diagnostischen Referenzwert (DRW))
- Kombination aus den ersten beiden
- Auswahl während einer Überprüfung vor Ort

Anders als in der Radiologie ist die automatisierte Datenerfassung in der Nuklearmedizin bisher nur in geringem Umfang möglich. Im DICOM-Header stehen oft nur wenige Informationen zur Verfügung oder sie werden in privaten, nicht standardisierten Feldern abgelegt, so dass Auswertungen nur mit Pilotcharakter erfolgen konnten.

In der Nuklearmedizin waren auf Grund der Zuständigkeiten mehrere Abstimmungsrunden in der Projektplanung und im weiteren Projektverlauf mit Ministerium, Regierungspräsidium, Fachgremium und Mitarbeitern der Ärztlichen Stelle und IVEU-Projektpartnern erforderlich. Viele für die Auswertung sinnvolle Daten dürfen durch die ÄSH bei den Strahlenanwendern nur auf freiwilliger Basis erfragt werden und können teilweise nur durch aufwändiges Studium der Unterlagen wie Arbeitsanweisungen eruiert werden. Es wurden mehrere Varianten der manuellen Erfassung mit den im IVEU-Projekt zur Verfügung stehenden Mitteln erprobt, letztendlich über eine an das Austauschmodul angeschlossene Excel-Datei realisiert. Dies soll ab 2015 in einem Nachfolgeprojekt eingesetzt werden.

5. ERGEBNISSE

5.1 ANWENDUNG DER IVEU-SOFTWARE

IVEU kann innerhalb der geltenden rechtlichen Vorgaben für die Tätigkeit einer Ärztlichen Stelle nach § 17a RöV und § 83 StrlSchV eingesetzt werden, sowohl durch Einlesen zugesandter Medien, bei Vor-Ort-Prüfungen auch mit PACS-Anbindung oder durch anwendergesteuerte Auswahl von Daten mit einer eigenen IVEU-Installation.

Intensive Tests und Anwendungen fanden in den Ärztlichen Stellen Hessen, Nordrhein und Brandenburg statt. Weitere Ärztlichen Stellen setzen IVEU entweder ein oder haben Installationen und Tests im Rahmen der Workshops durchgeführt. IVEU wurde dabei sowohl mit einer zentralen Datenbank als auch auf Einzelplatzsystemen eingesetzt, ggf. verknüpft mit einer Remote Desktop-Funktion.

Ergebnisse aus den IVEU-Anwendungstests:

- IVEU kann als Software für eine erleichterte und verbesserte Überprüfung von Ärztlichen Stellen eingesetzt werden (tabellarische und graphische Übersichten).
- IVEU ermöglicht eine elektronische Übermittlung von automatisch erfassten, strukturierten Dosisdaten an das BfS
- IVEU ermöglicht insbesondere geräte- und untersuchungsbezogene Auswertungen, aber auch von Herstellern, registrierten Personen und Prozesszeiten
- IVEU kann den Workflow, insbesondere in Ärztlichen Stellen, unterstützen, z. B. durch:
 - Workflow-unterstützendes teilautomatisiertes Einlesen von Bilddaten inkl.:
 - Automatisierter Datenextraktion
 - Stammdatenmodul für Verwaltung der Geräte, SSV¹⁾ und Prüfungen
 - Fall- oder institutionenbezogener Kennzeichnung des Bilddatensatzes
 - Weiterleitung der Bilder an ein PACS

¹⁾ Strahlenschutzverantwortliche

- Anpassbares Klassifikationsmodul für Gerätetypen und Untersuchungsarten
- Übernahme von Daten von Dose SR und Dosisreports (CT)
- Sortierung und Filterung von Datensätzen
- Export von beliebig zusammengestellten Datensätzen
- Umfangreiche Bereitstellung von Auswerteprozessen und Plausibilitätsprüfungen inkl. Studienauswertungen (z. B. pro Jahr)
- Verbindung und Datenaustausch mit existierenden Systemen in ÄS
- Anzeige und Verknüpfung von Bilddaten
- Konfigurierbare Konsole mit in der Prüfung benötigten Dateien
- Sowohl bei sehr großen Patientenstudien, z. B. ab mehreren Hundert Bildern, als auch bei institutionenübergreifenden Auswertungen wie in der Querschnittstudie sind 64 bit-Systeme mit möglichst über 8 GB Arbeitsspeicher erforderlich.
- IVEU kann die Weitergabe von Daten aus der strahlenanwendenden Institution an eine Ärztliche Stelle erleichtern und verbessern (nach Wunsch anhand von Auswertungen, selektierten Header-Daten und/oder Bilddaten)
- IVEU kann in strahlenanwendenden Institutionen zur Unterstützung des Dosismanagements, des Qualitätsmanagements bei Patientenanwendungen, der technischen Qualitätssicherung und für die Vereinfachung von Dokumentation und Verwaltung, z. B. durch bedarfsgerechte Erstellung eines „Röntgentagebuchs“, eingesetzt werden.

Für die Zukunft soll ein Einsatz von IVEU in Ärztlichen Stellen sowie in angepasster Form bei den Strahlenanwendern unterstützt werden. Die Definition eines strukturierten Austauschformates zwischen Dosismanagementsystemen und Ärztlichen Stellen oder Behörden wären hilfreich. Die Einrichtung von erweiterten Funktionen zum Datenaustausch über Internet wurde nach Prüfung in einem Projekt mit der THM entsprechend des Projektplans und bei offenen Fragen zu Akzeptanz, Technik und Datenschutz zurückgestellt.

5.2 QUERSCHNITTSTUDIE

Trotz der bereits sehr großen Probenanzahl dürfen die Ergebnisse der Querschnittstudie nur als eingeschränkt repräsentativ angesehen werden. Wie oben dargestellt, handelt es sich nicht um rein zufällig ausgewählte Untersuchungen. Ein Bias ist beispielsweise bei Verteilungen zu Untersuchungsarten und Dosis, insbesondere bei seltenen Untersuchungsarten oder bei Kindern, oder zu beteiligten Institutionen und Geräteherstellern zu erwarten.

Die Ergebnisse der Auswertungen können hier nur beispielhaft gezeigt werden und sollen im Projektabschlussbericht sowie Veröffentlichungen dargelegt werden.

Abbildung 1 bietet eine Übersicht der mittleren CTDIvol¹⁾-Werte pro CT-Untersuchungsart aus Überprüfungen der ÄSH in den Jahren 2013 und 2014. Dies zeigt, auch bei eingeschränkter Repräsentativität, bereits eine sehr gute Erfüllung der Anforderungen aus der RöV, gleichzeitig aber auch noch Optimierungsmöglichkeiten.

Abbildung 2 lässt anhand des Beispiels der CTDIvol-Verteilung bei Thorax-CTs erkennen, dass bei Kindern und bei Erwachsenen die Werte sehr gut im Verhältnis zum DRW liegen und DRW-Überschreitungen in geringer Zahl, insbesondere bei älteren, wahrscheinlich adipösen Patienten, auftreten. Die sehr geringen CT-DI-Werte stammen teils von Low-Dose-CTs, aber auch von einzelnen Topogrammen, bei denen das Klassifikationsmodul keine korrekte Zuordnung machen konnte.

Schlussfolgerungen bez. Qualität und Nutzungsmöglichkeiten der Metadaten von Bildern aus strahlenanwendenden medizinischen Untersuchungen vieler unterschiedlicher Institutionen können folgendermaßen gezogen werden:

- Mit Hilfe einer automatisierten Erfassung von Metadaten bzw. Inhalten von DICOM-Objekten kann mit vertretbarem Personalaufwand und im Rahmen eines übersehbaren Zeitraumes eine sehr breite Datenbasis für qualitätsbezogene Auswertungen geschaffen werden.
- Insgesamt war der größte Teil der DICOM-Felder entsprechend den Vorgaben des Standards korrekt gefüllt, allerdings mit teilweise relevanten Einschränkungen:
 - Die Verwendung der Einheit dGycm² laut DICOM-Standard für den Eintrag des Dosisflächenpro-

¹⁾ Volumen-CT-Dosisindex

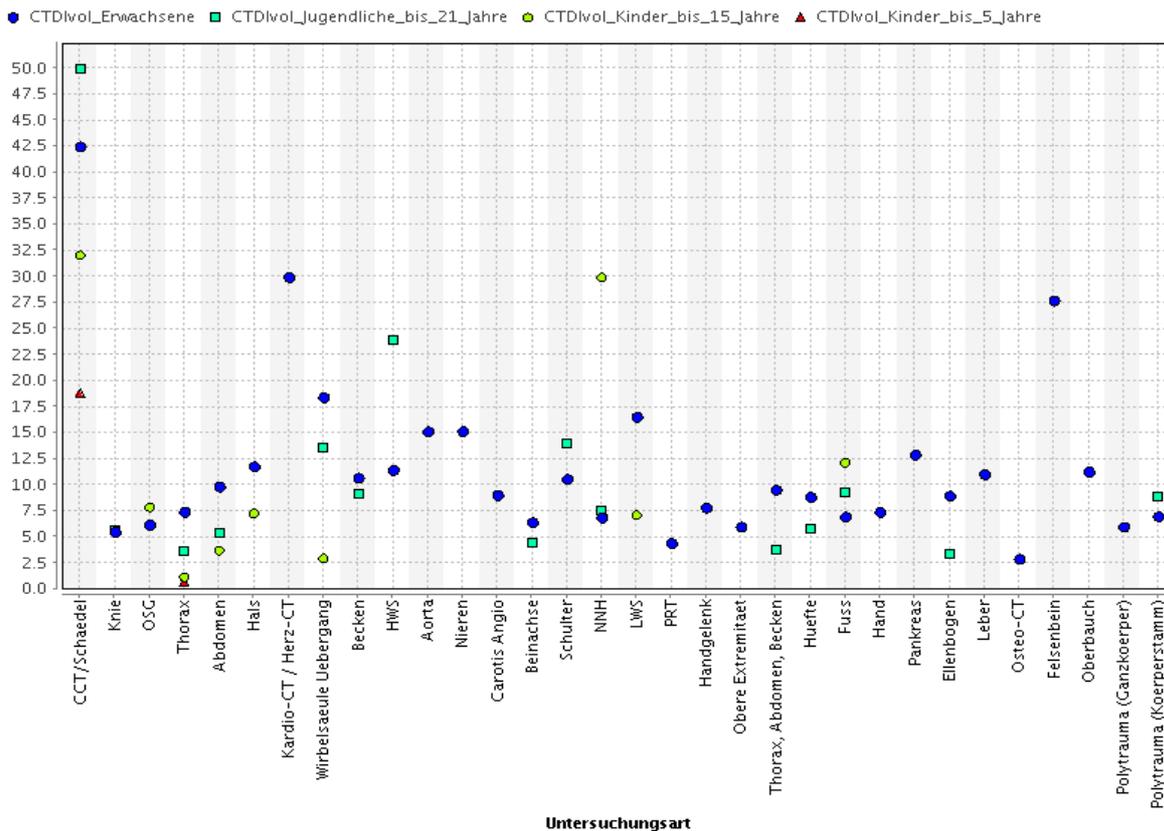


Abbildung 1: Mittelwerte der CTDIvol-Angaben (nach Altersgruppen) für CT-Untersuchungsarten (n = 4183 CT-Serien mit Dosisangaben aus 2013 und 2014)

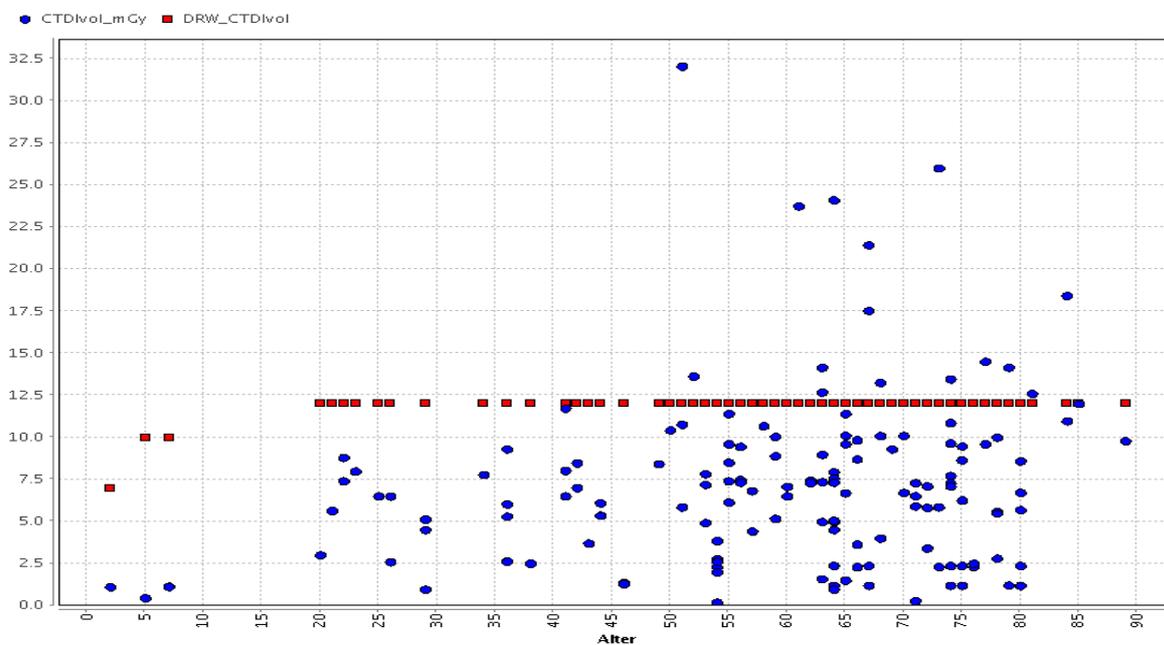


Abbildung 2: Verteilung der CTDIvol - Dosiswerte bei Thorax-CTs (2013 / 2014)

dukts (DFP) wird manchmal nicht eingehalten. Als häufigste Abweichung wird cGycm² verwendet und führt dann zu scheinbar 10-fach erhöhten Werten.

- Vereinzelt werden Angaben in anderen als von DICOM vorgegebenen Feldern gemacht oder Terminologien von DICOM nicht korrekt verwendet.
- Teilweise können Falscheinträge erkannt werden und in manchen Fällen ist durch die Kombination von Informationen eine automatisierte Korrektur möglich oder der IVEU-Anwender kann auf eine korrigierende Aktion hingewiesen werden.
- Oft fehlen im DICOM-Header Daten, deren Dokumentation nach deutschem Recht vorgegeben und in der DIN 6862-2 als erforderlich beschrieben ist. Diese werden z. B. bei Speicherfoliensystemen oder älteren Geräten häufig separat (wie in einem Röntgentagebuch) und nicht automatisiert auswertbar niedergelegt.
- Für die Angaben zu den Untersuchungsarten und -regionen im DICOM-Header werden von den Institutionen sehr viele unterschiedliche Terminologien verwendet. Ein Klassifikationssystem besteht bisher nicht.
- Die Systematik bzw. Gleichartigkeit von Einträgen im DICOM-Header ist nicht immer gegeben, z. B.:
 - Als „Hersteller“ können Gerätehersteller, Hersteller des Detektorsystems oder der bilderstellenden Software aufgeführt sein
 - In den DICOM-Bildern ist eine Differenzierung zwischen strahlenerzeugendem System (z. B. Durchleuchtung, CT) und Bildrekonstruktionsmethode (2-Ebenen-Aufnahme oder (CT)-Schichten) häufig erschwert. In manchen Feldern werden Einträge zur Steuerung des institutionsbezogenen Workflows genutzt und dementsprechend adaptiert.

Für das Problem der unterschiedlichen Terminologien und Zuordnungen können insbesondere folgende Lösungsansätze erwogen werden:

- Einsatz eines automatisierten, z. B. regelbasierten Klassifikationssystems. In IVEU wird dadurch nach aktuellem Stand eine korrekte Zuordnung zu den Untersuchungsarten in über 90 % der Fälle erzielt.
- Bei der Bereitstellung von Untersuchungsdaten erfolgt eine Zuordnung des jeweiligen Bilddatensatzes durch den Strahlenanwender zu einem vorgegebenen Katalog. Dies erfordert einen hohen Aufwand im Einzelfall.
- Vorgabe für die Verwendung eines einheitlichen Klassifikationssystems in zumindest einem der untersuchungsartenbezogenen DICOM-Header-Felder. Die erfolgreiche Erstellung und Einführung sind allerdings nur in einem aufwändigen, langdauernden Abstimmungsprozess zu erwarten.
- Erstellung eines Klassifikationssystems und einer Übersetzungstabelle für jede Institution. Dies erfordert einmalig einen nicht geringen Aufwand, zukünftig eine Pflege der Tabelle bei Änderungen und man muss mit einer gewissen Zahl an unmöglichen oder fehlerhaften Zuordnungen rechnen. Diese Methode könnte für größere, gut strukturierte Institutionen passen.
- Ein Klassifikationssystem wird nur für eine begrenzte Zahl an fragestellungsabhängig ausgesuchten Untersuchungsarten erstellt (wie aktuell für die DRW) und diesbez. eine der oben erwähnten Methoden mit entsprechend begrenztem Aufwand und erhöhter Trefferquote verwendet. Die Untersuchungsarten sollten eindeutig definiert werden (können), möglichst anhand von in DICOM-Objekten vorhandenen Informationen.

6. UMSETZUNG DER ERGEBNISSE

Zur Aktualisierung der diagnostischen Referenzwerte (DRW) ist das BfS darauf angewiesen, Kenntnisse über die bei Untersuchungen in der Röntgendiagnostik und in der Nuklearmedizin verwendeten Untersuchungsparameter zu erhalten. Solche Parameter werden von den Ärztlichen Stellen (ÄS) im Rahmen ihrer Überprüfung der Einhaltung der DRW bei den Betreibern erhoben und dem BfS weitergeleitet. Die Ergebnisse dieses Vorhabens helfen, eine vollständige Übertragung der von den ÄS erhobenen Daten an das BfS zu gewährleisten und für ein Bundesland einen repräsentativen Überblick über Untersuchungsdaten zu erhalten. Die Ergebnisse dieses Vorhabens dienen auch dem Ressortoberziel „Die Strahlenanwendung in der Medizin ist unter Berücksichtigung des gesundheitlichen Nutzens optimiert“, da sie Dosisersparpotentiale für medizinische Untersuchungen aufzeigen.

Themenbereich 05
Radioökologie

Subject area 05
Radioecology

Thema			
Ergänzende Untersuchungen zur Validierung des Atmosphärischen Radionuklid-Transport-Modells (ARTM)			
Subject			
Complementary research on validation of the atmospheric radionuclide transportation model (ARTM)			
Kennzeichen	Beginn	Ende	Fördermittel
3612S50007	16.07.2012	31.03.2015	EUR 316.897,-
Forschungs- / Auftragnehmer			
Gesellschaft für Anlagen- und Reaktorsicherheit (GRS) mbH, Köln			
Projektleitung	Fachbetreuung BfS	verantwortlich für den Text	
Dr. M. Sogalla	H. Wildermuth / SW 1.4	H. Wildermuth, Dr. C. Richter, Dr. M. Sogalla	

1. ZIELSETZUNG

In vorangegangenen Forschungsvorhaben wurde das Programmpaket ARTM zunächst auf Basis des Lagrangeschen Partikelmodells AUSTAL 2000 für die Ausbreitung luftgetragener radioaktiver Stoffe entwickelt und für Anwendung nach der Allgemeinen Verwaltungsvorschrift (AVV) zu §47 der Strahlenschutzverordnung sowie der Störfallberechnungsgrundlagen (SBG) erweitert. Um mittelfristig das nicht mehr zeitgemäße Gauß-Modell in diesen Vorschriften ersetzen zu können, sollten in dem hier beschriebenen Vorhaben weitere systematische Validierungen von ARTM durchgeführt sowie aktuelle Weiterentwicklungen verfolgt, untersucht und gegebenenfalls in das Modellsystem eingebaut werden.

2. EINZELZIELSETZUNG

Das Forschungsvorhaben gliederte sich in 5 Arbeitspakete. Das Arbeitspaket (AP) 1 „Aufarbeitung des für das Vorhaben relevanten Standes von Wissenschaft und Technik (W&T)“ nahm dabei eine Sonderstellung ein, da die darin recherchierten und aufbereiteten Themen durch die Zielsetzungen der übrigen Arbeitspakete bestimmt wurden und andererseits die Ergebnisse des AP 1 die konkrete Umsetzung der übrigen APs beeinflusste. AP 1 hatte demzufolge keinen Selbstzweck, sondern diente vorbereitend für die übrigen Arbeiten. Ebenso folgte AP 5 „Informations- und Erfahrungsaustausch zwischen Programmentwicklern und externen Anwendern“ keinem Selbstzweck sondern diente der Unterstützung und Begleitung der übrigen Arbeitspakete. Im Folgenden werden deshalb nur die Einzelziele der AP 2 bis 4 beschrieben.

2.1 VALIDIERUNG DES AUF STÖRFALLANWENDUNGEN ERWEITERTEN MODELLSYSTEMS ARTM (AP 2)

Durch die Erweiterung von ARTM für die SBG, in der auch kurze Emissionszeiten berücksichtigt werden müssen, stellte sich die Frage nach der Belastbarkeit der verwendeten Strömungsfelder. Daten verschiedener Feldexperimente sollten für die Validierung verfügbar gemacht, aufbereitet und zum Vergleich mit entsprechenden ARTM-Ergebnissen herangezogen werden.

Neben der Belastbarkeit der Strömungsfelder waren die nasse Deposition sowie Gamma-Wolken- und Gamma-Bodenstrahlung weitere Schwerpunkte der Validierung.

2.2 FORTSCHREIBUNG DER AKTUALISIERUNG DER TURBULENZPARAMETRISIERUNG (AP 3)

Die aktuellen Weiterentwicklungen zur Parametrisierung der Turbulenz in Ausbreitungsmodellen nach VDI¹⁾ Richtlinie 3783 Blatt 8, die sich in Überarbeitung befindet, sollten verfolgt und, wenn sinnvoll, implementiert werden.

¹⁾ Verein Deutscher Ingenieure

2.3 TECHNISCH-WISSENSCHAFTLICHE MODELLERWEITERUNGEN AN ARTM UND GO-ARTM (AP 4)

Einen Großteil der geplanten Modellerweiterungen betraf die graphische Benutzeroberfläche GO-ARTM. Dies waren:

- Gauß-Fahnen-Rechnungen gesteuert durch ARTM-Parameter und der direkte Vergleich der Ergebnissfelder mit Partikelmodell-Rechnungen
- Die Visualisierung von Wind- und Turbulenzfeldern.

Es sollte zudem ermöglicht werden, dass geographische Referenzpunkte in ARTM auch im weit verbreiteten UTM¹⁾-Koordinatensystem angegeben werden können.

Durch Fallstudien sollten zudem relevante Parameter und Randbedingungen der Ausbreitungsrechnung für die Berechnung der Strahlenexposition untersucht werden.

3. METHODIK

Die angewendeten Methodiken richteten sich nach den Zielen der einzelnen Arbeitspakete. Um den für das Vorhaben relevanten aktuellen Stand von Wissenschaft und Technik zu recherchieren, wurde Literaturrecherche betrieben sowie der direkte Kontakt zu Fachkollegen und die Teilnahme an Fachkonferenzen zum Erfahrungsaustausch genutzt.

Die Arbeit der VDI-Arbeitsgruppe zur Überarbeitung der VDI Richtlinie 3783, Blatt 8 zur Turbulenzparametrisierung, wurde verfolgt.

Zahlreiche Komponenten von ARTM wurden verifiziert. Validierungsdatensätze wurden recherchiert und verfügbar gemacht. Für die Aufbereitung der Validierungsdaten und für die Visualisierung der Ergebnisse wurden Python-Skripte erstellt.

Das Programm ARTM selbst ist in der Programmiersprache C implementiert. Es wird der Intel C-Compiler und die Entwicklungsumgebung Visual Studio 2010 verwendet. Die graphische Benutzeroberfläche GO-ARTM ist in der Programmiersprache Delphi implementiert. Als Entwicklungsumgebung wird Embarcadero RAD Studio verwendet. Für die Versionskontrolle bei der Entwicklung wird ein SVN²⁾-Repository gepflegt. Zur Programmentwicklung gehören jeweils Programmtests sowie die Dokumentation der Änderungen in einer History-Datei sowie, wenn nötig, in der Programm- und Modellbeschreibung.

Anwenderrückfragen wurden bearbeitet. Der diesbezügliche Email-Schriftverkehr wurde für alle Projektmitarbeiter in einem internen Projektportal verfügbar gemacht und archiviert.

Eine Internetseite zu ARTM www.grs.de/content/ausbreitungsmodellierung wurde gepflegt und die entwickelten Programme zum freien Download den Anwendern zur Verfügung gestellt. Zusammen mit dem Fachbetreuer wurde ein Newsletter erstellt und ein Anwenderworkshop ausgerichtet.

4. DURCHFÜHRUNG

Die Durchführung der Arbeitspakete 1,3,4 und 5 richtete sich nach der im vorherigen Abschnitt beschriebenen Methodik. Die Durchführung der Validierung (AP 2) orientierte sich an etablierten Vorgehensweisen im Bereich der computergestützten Simulationen bzw. dem Fachgebiet der atmosphärischen Ausbreitungsrechnung. Zu dem mehrstufigen Prozess gehörte demnach:

- die (wissenschaftliche) Überprüfung der Modellansätze
- die Verifikation des Modells
- eine Überprüfung der Modell- und Programmbeschreibung sowie der technischen Dokumentation
- die Bereitstellung von geeigneten (experimentellen) Datensätzen, mit denen die Simulationsergebnisse verglichen werden sollten
- die Festlegung von Vergleichsgrößen (z. B. Mittelwerte, Extremwerte, Positionen, Überschreitungen eines Referenzwertes, Zeitpunkte, Korrelationskoeffizienten)

¹⁾ Universal Transverse Mercator

²⁾ Apache Subversion

- Festlegung der noch akzeptablen Abweichungen zwischen den simulierten und experimentellen Vergleichswerten
- die Durchführung der Simulationen
- die Berechnung von simulierten und experimentellen Vergleichsgrößen inklusive jeweiliger Fehlerabschätzung
- der Vergleich der Werte
- die Dokumentation und Diskussion der Ergebnisse
- eventuell das Identifizieren von Handlungsbedarf zur Verbesserung des Modells oder der Anpassung des Anwendungsbereiches.

5. ERGEBNISSE

5.1 AUFARBEITUNG DES FÜR DAS VORHABEN RELEVANTEN STANDES VON WISSENSCHAFT UND TECHNIK (AP 1)

Der für das Forschungsvorhaben relevante Stand von W&T wurde recherchiert und dokumentiert. Insbesondere gehörte dazu, den Entwicklungsstand von ARTM sowie der Benutzeroberfläche GO-ARTM vor Beginn des Vorhabens darzustellen. Zudem wurden die Unterschiede in der Entwicklung von ARTM und AUSTAL2000 bewertet.

Es wurde recherchiert, wie eine Validierung von ARTM bestenfalls durchzuführen sei und was davon realistisch und möglichst sinnvoll für die Belastbarkeit von ARTM-Simulationsergebnissen im Rahmen des Forschungsvorhabens erreichbar ist. Zudem wurden experimentelle Datensätze für die Validierung verfügbar gemacht. Geeignete Validierungsdatensätze zur Gamma-Wolkenstrahlung sowie zur Gamma-Bodenstrahlung konnten allerdings nicht gefunden werden.

Die Arbeit der VDI-Arbeitsgruppe zur Überarbeitung der VDI Richtlinie 3783, Blatt 8 zur Turbulenzparametrisierung, wurde verfolgt. Da allerdings bis März 2015 noch keine offizielle Fassung (Gründruck) der Überarbeitung vorlag, wurde der Stand der Arbeiten dieser Arbeitsgruppe nicht dokumentiert.

5.2 VALIDIERUNG DES AUF STÖRFALLANWENDUNGEN ERWEITERTEN MODELLSYSTEMS ARTM (AP 2)

Wie in AP 1 motiviert, wurde der Begriff „Validierung“ von ARTM auf die Steigerung der Belastbarkeit von ARTM-Simulationsergebnissen bezogen. Insbesondere gehörte hierzu auch eine Qualitätssicherung der Modell- und Programmbeschreibung. So wurden im Rahmen dieses Arbeitspaketes Mängel bei der Beschreibung der Behandlung fehlender meteorologischer Eingabedaten beseitigt sowie einige (Unter-)Kapitel und Anhänge ergänzt.

Verifikationsrechnungen zum radioaktiven Zerfall ergaben, dass die bisher verwendete lineare Näherung des Zerfalls für schnell zerfallende Nuklide (mit einer Lebensdauer im Bereich von Sekunden) zu niedrige Konzentrationen dieser Nuklide in den Simulationsergebnissen liefert. Die lineare Näherung wurde daher durch die explizite Berechnung der Exponentialfunktion ersetzt. Die Modellbeschreibung wurde entsprechend angepasst.

Das Versionsmanagement zu ARTM und TALdia¹⁾ sowie den begleitenden Dokumenten wurde auf ein SVN-Repository umgestellt.

Der Ansatz zur Reduzierung der horizontalen, lateralen Windgeschwindigkeits-Fluktuationen bei Emissionszeiten, die kürzer sind als die Mittelungszeit der meteorologischen Eingangsdaten, wurde mittels experimenteller Daten der Near Road Tracer Study 2008 (durchgeführt durch die Field Research Division des Air Resources Laboratory der National Oceanic Atmospheric Administration) validiert. Im Mittel über alle ausgewerteten Tests ergab sich eine gute Übereinstimmung zwischen dem im Modell implementierten Potenzgesetz und den experimentell ermittelten Abhängigkeiten. Allerdings unterlag der experimentell ermittelte Exponent (im Modell einheitlich auf 0,2 festgelegt) großen Schwankungen (von nahezu 0 in manchen Testphasen bis über 0,6). Insbesondere scheint bei stabilen atmosphärischen Schichtungen die Windgeschwindigkeits-Fluktuation stärker von der Mittelungszeit abzuhängen (größerer Exponent) als bei instabilen Schichtungen. Ein

¹⁾ ein diagnostisches Windfeldmodell

zu niedrig festgelegter Exponent führt bei den Modellergebnissen zu niedrigeren maximalen Konzentrationen. Die Konservativität der Modellergebnisse ist bei stabilen Wetterlagen und kurzen Emissionszeiten unter Umständen nicht mehr gewährleistet. Die VDI-Arbeitsgruppe zur Überarbeitung der VDI Richtlinie 3783, Blatt 8, wurde über diese Ergebnisse in Kenntnis gesetzt.

Zur Validierung der Modellierung der nassen Deposition (Washout) nutzte der Forschungsnehmer monatliche Datensätze des Helmholtz-Zentrums zu Niederschlag, Luftkonzentration und Washout. Mit dieser Zeitauflösung war eine Validierung der in ARTM verwendeten Parametrisierung für den Washout nur begrenzt möglich. Die Aussagefähigkeit der Validierung konnte aber durch Skalierung des Datensatzes mit Tages- oder Stundenwerten für Niederschlag und Staubkonzentration verbessert werden. Die Skalierung führte zu einer besseren Übereinstimmung zwischen der mit der Modellparametrisierung in ARTM berechneten und der gemessenen nassen Deposition, wodurch der gewählte Wertebereich für die Modellparameter bestätigt werden konnte.

5.3 FORTSCHREIBUNG DER AKTUALISIERUNG DER TURBULENZPARAMETRISIERUNG (AP 3)

Wie bereits unter AP 1 erwähnt, liegt noch keine offizielle Version der überarbeiteten VDI Richtlinie 3783, Blatt 8, vor. Das ARTM-Programm konnte deshalb noch nicht angepasst werden. Der Quellcode wurde für die kommenden Änderungen aufbereitet. Insbesondere wurde bereits eine vom geographischen Bezugspunkt abhängige Bestimmung des Coriolis-Parameters implementiert. Dieser Parameter spielt bei der Bestimmung der Mischungsschichthöhe sowie der Windrichtungsrotation mit der Höhe eine wichtige Rolle.

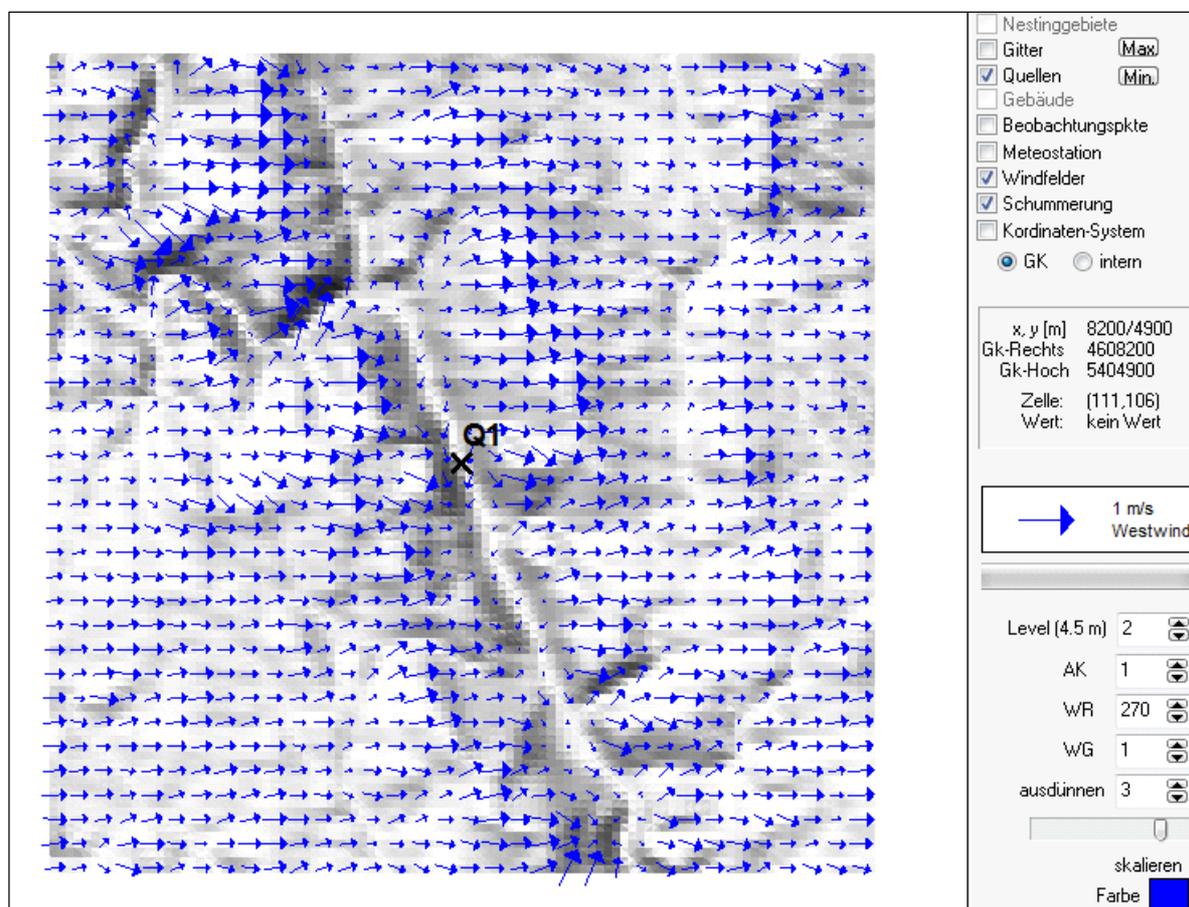


Abbildung 1: Beispiel einer Visualisierung des Windfeldes mit GO-ARTM

5.4 TECHNISCH-WISSENSCHAFTLICHE MODELLERWEITERUNGEN AN ARTM UND GO-ARTM (AP 4)

Während der Projektlaufzeit wurden zahlreiche Änderungen an ARTM, TALdia sowie der graphischen Benutzeroberfläche GO-ARTM vorgenommen. Die wichtigsten davon waren:

- Das SBG-Modul für Gauß-Fahnenmodel-Rechnungen gesteuert durch ARTM-Eingabedateien wurde in GO-ARTM realisiert.
- Die Visualisierung von Windfeld-Bibliotheken, die von TALdia erstellt wurden, wurde in GO-ARTM ermöglicht (siehe Abbildung 1).
- Die Möglichkeit, neben Gauß-Krüger auch UTM-Koordinaten zu verwenden, wurde in ARTM, TALdia sowie GO-ARTM implementiert.
- Die Möglichkeit, einen vom Standard abweichenden Speicherort der Windfeldbibliothek anzugeben, wurde eingerichtet.

Sämtliche Änderungen wurden in der History-Datei protokolliert und die Programm- und Modellbeschreibungen wo nötig überarbeitet bzw. ergänzt. Das Programmpaket wurde zum freien Download zur Verfügung gestellt.

Des Weiteren wurden Parameterstudien zu relevanten Einflussfaktoren auf die Nuklidkonzentrationen und damit die Dosisberechnung durchgeführt. Wie erwartet, stellte sich insbesondere die Orographie als wichtiger Parameter heraus, der das Windfeld und damit die Ausbreitungsbedingungen für die Nuklide stark beeinflusst (vergleiche erneut Abbildung 1). Des Weiteren ist auch die Rauigkeitslänge eine wichtige Eingangsgröße für die Grenzschichtprofile der Windgeschwindigkeit und der Turbulenz und damit der Aufweitung bzw. Verdünnung der Nuklidfahne. Beispielhaft ist das in Abbildung 2 demonstriert.

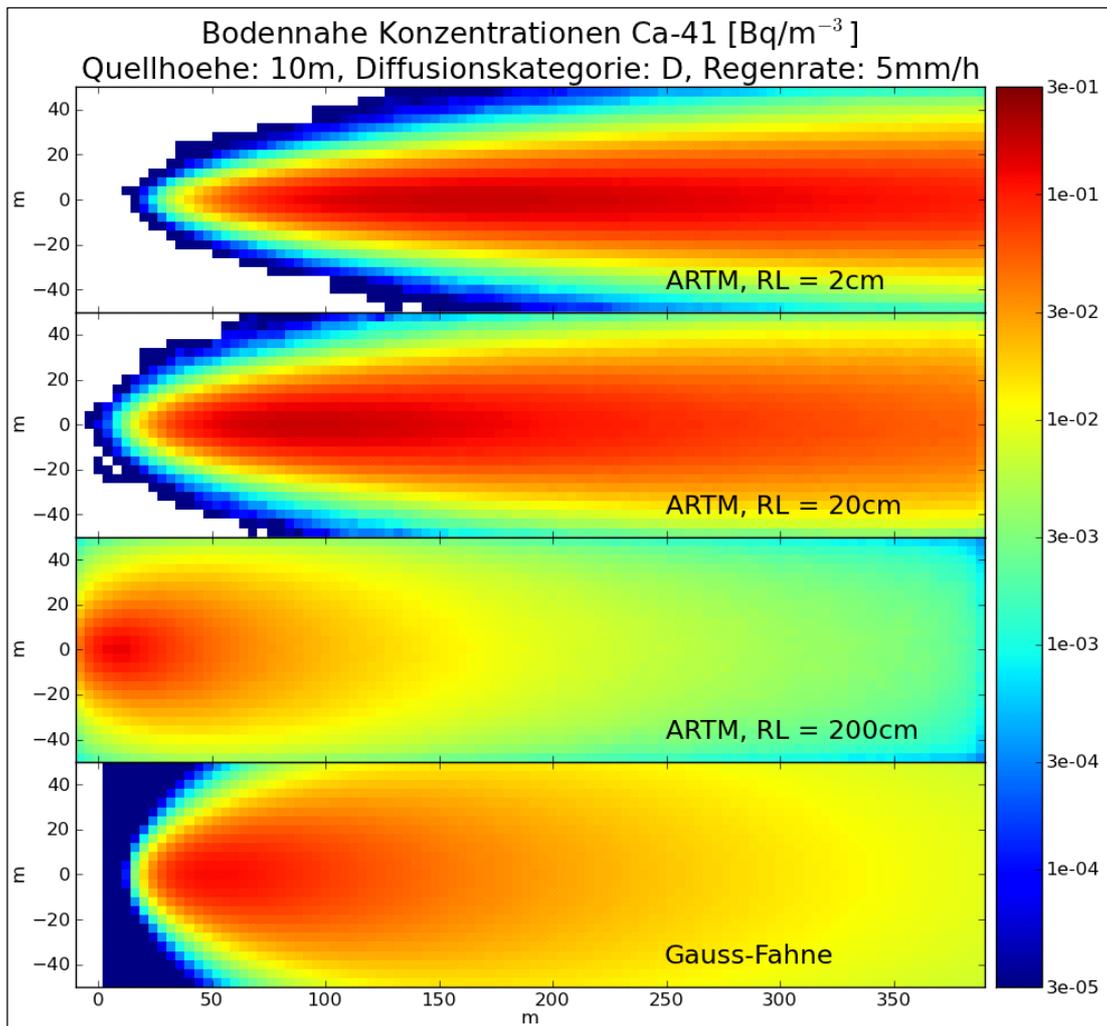


Abbildung 2: Einfluss der Rauigkeitslänge (RL) auf die bodennahe Konzentration bei sonst gleichen Ausbreitungsbedingungen (siehe Bildtitel, 1m/s Westwind in Quellhöhe, Quellstärke: 100 Bq/s, Aerosolgrößenklasse 1). Bei kleinen Rauigkeitslängen ist die Fahne schmal und die maximale Konzentration hoch, bei großen Rauigkeitslängen ist die Fahne breiter und die maximale Konzentration niedriger. Das Gauß-Fahnenmodell liefert nur für große Rauigkeitslängen und hohe Quellen konservative Ergebnisse

5.5 INFORMATIONEN- UND ERFAHRUNGSAUSTAUSCH ZWISCHEN PROGRAMMENTWICKLERN UND EXTERNEN ANWENDERN (AP 5)

Anfragen von Anwendern wurden bearbeitet. Der E-Mail-Schriftverkehr wurde in der Projektakte archiviert und eine Übersicht über das jeweils betroffene Programmmodul sowie den Bearbeitungsstand gepflegt.

Die Internetseite des Forschungsnehmers zur Ausbreitungsmodellierung wurde gepflegt und dort der freie Download des Programmpaketes GO-ARTM bereitgestellt.

Zusammen mit dem BfS wurde ein ARTM-Newsletter eingerichtet und ein Anwenderworkshop mit rund 50 Teilnehmern organisiert. Dabei stellte der Forschungsnehmer in zahlreichen Vorträgen die Ergebnisse dieses Forschungsvorhabens inklusive der Programm-Weiterentwicklungen vor. Zahlreiche Anregungen und Ideen der Anwender sowie des Forschungsnehmers zum weiteren Forschungs- und Entwicklungsbedarf rund um ARTM wurden auf dem Workshop diskutiert.

6. UMSETZUNG DER ERGEBNISSE

Die Implementierung von ARTM, einschließlich der Umgebung, zu der auch ein am BfS entwickeltes Dosismodul gehört, soll im Rahmen der Erstellung einer allgemeinen „AVV-Tätigkeiten“ erfolgen. In dieser Grundlage werden die Vorgaben der EU (Richtlinie 2013/59/Euratom) zu einer realistischeren Ermittlung der Strahlenexposition umgesetzt. Die bisher gültigen Rechenvorschriften sollen darin aufgehen. Das Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit (BMUB) erteilte dazu am 31.1.2014 der Strahlenschutzkommission einen Beratungsauftrag. Als Termin für die Umsetzung der EU-Richtlinie in nationales Recht ist der 6. Februar 2018 angegeben.

Hauptanwendungsbereich wird dabei neben Genehmigungsverfahren die retrospektive Berechnung der Strahlenexposition der Bevölkerung sein, z. B. im Rahmen der jährlichen Berichterstattung des BMUB über die Strahlenbelastung der Bevölkerung.

Aus fachlicher Sicht ergibt sich weiterer Forschungsbedarf im Bereich der Verarbeitungsmöglichkeit komplexer und realitätsnaher meteorologischer Randbedingungen. Dies betrifft schwerpunktmäßig das vorgeschaltete Windfeldmodell und die Verwendung geeigneter meteorologischer Grenzschichtmodelle.

Themenbereich 06
Notfallschutz

Subject area 06
Emergency management

Thema Fortschreibung des Szenarienkatalogs für behördliche Notfallübungen			
Subject <i>Extrapolation of the catalogue of exercise scenarios for emergency response planning by authorities</i>			
Kennzeichen 3611S60006	Beginn 01.12.2011	Ende 30.11.2014	Fördermittel EUR 357.235,-
Forschungs- / Auftragnehmer Gesellschaft für Anlagen- und Reaktorsicherheit (GRS) mbH, Köln			
Projektleitung U. Büttner	Fachbetreuung BfS N. Zander / SW 2.2	verantwortlich für den Text U. Büttner, N. Zander	

1. ZIELSETZUNG

Das Spektrum des Szenarienkatalogs für behördliche Notfallübungen sollte unter Berücksichtigung weiterer spezifischer Ereignisabläufe erweitert und ergänzt werden. Somit sollte eine fachlich fundierte Grundlage mit detailliert ausgearbeiteten und realitätsnahen Übungsszenarien in Bezug auf radiologische Ereignisse vorgelegt werden, um zur Steigerung der Effizienz der Notfallorganisationen von BMUB und BfS beizutragen.

Das Augenmerk hierbei lag auf der Weiterentwicklung des bestehenden Szenarienkatalogs um zusätzliche Szenarien für in- und ausländische Vorkommnisse. Daneben sollten Szenarien mit Themenschwerpunkten wie „Transportunfall“, „Vorkommnis in einer kerntechnischen Einrichtung“ oder „Notfallmanagement nach dem Wolkendurchzug“ erarbeitet werden. Die nationale und internationale Übungspraxis auf dem Gebiet des behördlichen Notfallschutzes sollte dabei berücksichtigt werden. Zudem sollte das von der Gesellschaft für Anlagen- und Reaktorsicherheit (GRS) entwickelte Quelltermprognosetool QPRO in einem Szenario Anwendung finden. Das Szenario mit QPRO sowie ein weiteres neu erstelltes Szenario sollten jeweils in einer Übung angewendet werden.

2. EINZELZIELSETZUNG

Im Rahmen des Vorhabens wurden Übungsszenarien zu radiologisch relevanten Themenbereichen betrachtet, wie

- Ereignisablauf mit mehrfach wiederkehrenden Freisetzungen
- Ereignisablauf und Übung unter Verwendung des Quelltermprognosetools QPRO
- Ereignis in einem ausländischen Kernkraftwerk (KKW)
- Notfallmanagement nach einem Wolkendurchzug
- auslegungsüberschreitendes Ereignis in einer weiteren kerntechnischen Einrichtung (Forschungsreaktor)
- Unfall beim Transport radioaktiver Stoffe.

Die Erarbeitung der o. g. Übungsszenarien sollte auf bereits verfügbaren aktuellen Analysen von Ereignisabläufen basieren und Erfahrungen aus dem Vorläufervorhaben berücksichtigen.

Neben einer Stabsrahmenübung unter Verwendung des Quelltermprognosetools QPRO am Beispiel einer Referenzanlage sollte eine weitere Tabletop-Übung unter Zugrundelegung des im Vorhaben neu erarbeiteten Szenarios „Transportunfall“ erfolgen.

3. METHODIK

Die Aufbereitung des Standes von Wissenschaft und Technik bezog sich u. a. auf:

- bisherige Arbeiten des Auftragnehmers: Methoden, Daten, Vorgehensweisen und Ergebnisse
- wichtige Untersuchungen und Ergebnisse anderer Stellen (abgeschlossene sowie laufende Arbeiten, Literaturrecherche)
- Sichtung der relevanten Informationssysteme

- Ergebnisse aktueller Beratungen in einschlägigen nationalen und internationalen Gremien
- vorhandene Bewertungsmaßstäbe, die dem Vorhaben zu Grunde liegen
- bewährte Vorgehensweisen („Best Practices“).

Als Teil der Recherchen wurden die Daten zu den Übungen CORE 2009 und „Brokdorf 2010“ recherchiert und ausgewertet. Zusätzlich werden die verfügbaren Daten zum Unfall des KKW in Fukushima recherchiert und im Hinblick auf ihre Bedeutung für die Übungsgestaltung ausgewertet.

Für die Übungsszenarien wurden folgende Informationen bereitgestellt:

- Verlauf von ausgewählten systemtechnischen und physikalischen Parametern in der Anlage
- Satz von Meldungen, die aus der Anlage an die Behörde zu erwarten wären
- Verlauf der Freisetzungen von Radionukliden aus der Anlage.

Auf Basis bestehender Unfallablaufsimulationen mit dem integralen Rechenprogramm MELCOR wurden für das Übungsszenario alle relevanten Informationen über Systemzustände (insbesondere Betrieb bzw. Ausfall von Sicherheitssystemen) und die physikalischen Zustände (z. B. Füllstände, Temperaturen, Drücke) bereitgestellt. Dabei wurden insbesondere diejenigen Daten berücksichtigt, die bei einem Ereignisablauf in der Anlage erkennbar bzw. messbar sind.

Ausgehend von den ermittelten Anlagenzuständen wurde hergeleitet, welche Informationen vom Anlagenbetreiber an die Behörden gemeldet werden. Unter möglichst realistischer Berücksichtigung eines eventuellen Zeitverzugs oder möglicher Schwierigkeiten in der Anlage wurde erarbeitet, welche Informationen aus der Anlage in welchem Zeitverlauf zu erwarten sind. Ebenfalls ausgehend von den ermittelten bestimmten Anlagenzuständen wurde hergeleitet, welche Radionuklidfreisetzungen aus der Anlage („Quellterm“) stattfinden. Dabei wurde der Zeitverlauf, der Ort (z. B. ob bodennah oder über den Kamin) und die Menge der freigesetzten Isotope bestimmt. Ferner wurde festgelegt, über welchen Zeitraum die Radionuklidfreisetzungen verfolgt werden, um die Zwecke des Übungsszenarios zu erfüllen.

Unter Verwendung des identifizierten und dokumentierten Unfallablaufs wurden für den ausgewählten Referenzstandort meteorologische Randbedingungen (Übungswetter) zur Berechnung der potenziellen radiologischen Konsequenzen des Ereignisablaufs festgelegt und die erforderlichen Rechnungen zur Ermittlung der potenziellen Konsequenzen durchgeführt und ausgewertet. Als Ergebnis wurden die potenziellen Strahlenexpositionen der Bevölkerung und Kontaminationen der Umwelt in Verbindung mit dem Ereignis bestimmt und dokumentiert. Die Ermittlung der potenziellen Konsequenzen erfolgte unter Berücksichtigung der meteorologischen und topographischen Gegebenheiten am Standort und in der Umgebung sowie der Bevölkerungsstruktur und Nutzung der betroffenen Gebiete.

Die Konsequenzenanalyse gliederte sich zu diesem Zweck in zwei Stufen. In der ersten Stufe wurde im Rahmen einer Grobanalyse das Spektrum der radiologischen Auswirkungen bei vereinfachten und tendenziell pessimistischen Annahmen abgeschätzt. Hierdurch wurde eine erste Bewertung der radiologischen Relevanz des Quellterms im Verhältnis zum bestehenden Notfallschutzkonzept ermöglicht. In der zweiten Stufe wurde eine Detailanalyse der radiologischen Auswirkungen für eine vorgegebene realistische Wettersituation durchgeführt. Hierfür wurden detaillierte Rechnungen mit dem Entscheidungshilfesystem RODOS mit Unterstützung der BfS-RODOS-Zentrale durchgeführt und ausgewertet.

4. DURCHFÜHRUNG

4.1 AUFARBEITUNG DES FÜR DAS VORHABEN RELEVANTEN STANDES VON WISSENSCHAFT UND TECHNIK

Im Rahmen der Aufarbeitung des Standes von Wissenschaft und Technik wurden die Ergebnisse der bereits abgeschlossenen Arbeiten der GRS im Hinblick auf Relevanz für das laufende Vorhaben überprüft sowie Literaturrecherchen bezüglich Notfallschutzplanung, Notfallschutzübungen und möglicher Szenarien durchgeführt. Die Recherchen umfassten u. a. durchgeführte nationale und internationale Notfallschutzübungen, internationale Empfehlungen zur Übungsgestaltung sowie den Aufbau und die Verzahnung des Katastrophenschutzes und der Strahlenschutzvorsorge bei radiologischen und nuklearen Ereignissen auf Landes- und Bundesebene. Zusätzlich wurden umfangreiche Recherchen im Rahmen der zu erstellenden Szenarien sowie der zu erarbeitenden Übungen durchgeführt. Diese Ergebnisse flossen direkt in die Arbeiten zur Erweiterung des Szenarienkatalogs und zur Erstellung und Durchführungen der geplanten Übungen ein.

4.2 ERWEITERUNG DES SZENARIENKATALOGS

Grundsätzlich wurde für die jeweils zu erstellenden Szenarien in den jeweiligen Kategorien (siehe Kapitel 2 Einzelzielsetzungen) mehrere in Frage kommende Anlagen bzw. erste mögliche Szenarienverläufe recherchiert, insbesondere in Hinblick auf die zur Verfügung stehenden Informationen. Auf Grundlage dieser Recherchen wurde in Abstimmung mit dem Auftraggeber entschieden, welche Anlagen bzw. Szenarien letztendlich für den Übungskatalog auszuarbeiten sind. Diese Ausarbeitung der einzelnen Szenarien erfolgte gemäß der in Kapitel 3 vorgestellten Methodik.

Von dieser Vorgehensweise gab es Abweichungen beim Szenario 4 "Notfallmanagement nach dem Wolkendurchzug" sowie dem Szenario 6 "Transportunfall". Bei Szenario 4 lag das Hauptaugenmerk auf der Einschätzung zur Notwendigkeit von Strahlenschutzvorsorgemaßnahmen sowie dem Einsatz von Messfahrzeugen von Bund und Ländern und deren Koordination nach dem Wolkendurchzug. Als Basis für den vorausgehenden Unfall wurde das in der CORE 2009 geübte Szenario verwendet, da dadurch alle bis zum (damaligen) Übungsende ergriffenen Gegenmaßnahmen bereits geübt waren und das neue Szenario 4 sich nahtlos anschließen konnte. Für das Übungsszenario 6 wurden Analysen bezüglich möglicher Freisetzungen nach Transportunfällen durchgeführt. Es wurde eine Analyse durchgeführt, inwieweit Ergebnisse der Transportstudie Konrad 2009 für ein Szenario genutzt werden können, zudem lag ein Schwerpunkt der Untersuchungen auf Unfällen, bei denen Typ B-Behälter mit großem Aktivitätsinventar durch Kombinationen von auslegungsüberschreitenden mechanischen und thermischen Einwirkungen ihre Integrität verlieren könnten. Die Auswahl der Unfallrandbedingungen orientierte sich an seltenen, besonders schweren Unfallabläufen (z. B. lang anhaltenden Tunnelbränden). Für das Szenario 6 wurde ebenfalls ein Quellterm sowie Freisetzungsraten abhängig von der Temperatur erstellt und Ausbreitungsrechnungen mit LASAIR durchgeführt. Auf Grundlage der LASAIR-Rechnungen wurden die möglichen radiologischen Auswirkungen analysiert.

4.3 VORBEREITUNG, DURCHFÜHRUNG UND AUSWERTUNG VON NOTFALLSCHUTZ-ÜBUNGEN

Im Vorhaben wurden zwei Übungen durchgeführt: Eine Stabsrahmenübung unter Verwendung der Quelltermprognosetools QPRO und eine Tabletop-Übung auf Grundlage des neuen Transportunfallszenarios.

Zur Erstellung der Stabsrahmenübung CORE 2014 wurde das Quelltermprognosetool QPRO an die Gegebenheiten der Referenzanlage angepasst. Das zu übende Anlagenszenario sowie weitere wichtige Aspekte der Übung (z. B. Zeitpunkte von Meldungen oder sonstigen Einspielungen) wurden in einem Ablaufplan festgehalten, anhand dessen die Übungsregie den Ablauf steuern und kontrollieren konnte. Es wurden zudem zahlreiche Texte und Vorlagen für Telefonate erarbeitet, um parallel zur CORE 2014 das Pressereferat und das Referat Öffentlichkeitsarbeit des BfS intern, jedoch abgekoppelt von der Hauptübung, üben zu können. Zur Vorbereitung der Übungsleiter, -koordinatoren und -beobachter sowie zur grundlegenden Schulung der Übungsteilnehmer wurden ein Übungsleitfaden sowie Kontaktlisten erstellt.

Für die Tabletop-Übung wurde das Tunnelbrandszenario (Szenario 6) ausgewählt. Dazu wurden Informationen zu möglichen zu „involvierenden“/simulierenden Beteiligten/Behörden zusammengetragen. Die Ausbreitungsrechnungen zu diesem Szenario wurden mit dem Programm LASAIR durchgeführt. Der grundsätzliche Ablauf der Übung wurde in einem Übungsdrehbuch festgelegt. Es wurden Lageinformationen für die Übungsteilnehmer erstellt und mit dem BfS abgestimmt. Weiterhin wurden Schulungsunterlagen für Stabsmitarbeiter mit Schwerpunkt auf Beförderung von radioaktiven Gütern erstellt.

5. ERGEBNISSE

5.1 ERSTELLTE ÜBUNGSSZENARIEN

Der Szenarienkatalog für behördliche Notfallschutzübungen wurde um sechs neue Szenarien erweitert. Während der bisherige Katalog ausschließlich Übungsszenarien für deutsche KKW enthielt, sind nun neben weiteren Szenarien zu KKW auch je eines zu Forschungsreaktoren, Transportunfällen und zur Strahlenschutzvorsorge bzw. dem Notfallmanagement nach dem Wolkendurchzug enthalten.

Für das Szenario 1 „Wiederkehrende Freisetzung“ wurde basierend auf einer modifizierten MELCOR-Rechnung ein Kernschmelzablauf mit Dampferzeugerheizrohrleck betrachtet, bei dem es durch zeitweise Wiederbespeisung des defekten Dampferzeugers zu Phasen mit Wasserbedeckung der Leckstelle und damit variierenden Freisetzungsraten kommt. Für das Übungsszenario 2 „Nutzung von QPRO“ wurde für eine Referenzanlage ein Kernschmelzablauf mit mehrfachem Druckentlasten und Freisetzungen radioaktiver Stoffe in die

Umgebung erstellt. Das Szenario 3 „Ausländisches Kernkraftwerk“ enthält Betrachtungen für einen französischen Druckwasserreaktor (DWR). Dabei kommt es nach einer Transiente, welche zu einer Kernschmelze unter hohem Druck führt, zu einem Dampferzeugerheizrohrleck. Im weiteren Verlauf kommt es zu Freisetzungen radioaktiver Stoffe in die Umgebung. Szenario 4 „Notfallmanagement nach Wolkendurchzug“ beinhaltet Aspekte zur Strahlenschutzvorsorge nach dem Durchzug einer radioaktiven Wolke. Von besonderer Bedeutung ist die Erlangung von Informationen und Messwerten in dem betroffenen Gebiet. Neben der Nutzung fest installierter Sonden ist der zusätzliche Einsatz von mobilen Messteams notwendig. Szenario 5 „Kerntechnische Einrichtung“ befasst sich mit Freisetzungen radioaktiver Stoffe nach einem Flugzeugabsturz auf einen deutschen Forschungsreaktor. Auf Grund des kleineren Inventars im Vergleich zu einem KKW sind auch die radiologischen Folgen geringer als bei den bisherigen Szenarien im Katalog. Als sechstes Szenario „Transportunfall“ wurde ein Unfall zweier Gefahrgutzüge in einem Eisenbahntunnel mit anschließendem Brand erstellt. Auf Grund der Hitzeentwicklung und Branddauer kommt es zu einer mehrstündigen Freisetzung radioaktiver Stoffe in die Umgebung.

5.2 DURCHGEFÜHRTE ÜBUNGEN

Die Tabletop-Übung wurde am 13. Februar 2014 beim BfS Neuherberg durchgeführt und mit einer Alarmübung im Vorfeld kombiniert. An der Übung nahmen die Rufbereitschaften des BfS in Neuherberg (Zentralstelle des Bundes - ZdB, Betreuung RODOS) und Freiburg (Einsatz Messfahrzeuge, Betreuung ELAN (elektronische Lagedarstellung)) teil. Das geübte Szenario war ein Unfall in einem Eisenbahntunnel mit Brand und anschließender Freisetzung radioaktiver Stoffe.

Gesamtziel der Übung war die Lagedarstellung und Lagebewertung durch das BfS. Dies sollte als Unterstützung für das (simulierte) BMUB sowie die (simulierten) betroffenen Länder durchgeführt werden. Insbesondere sollten Maßnahmen der Strahlenschutzvorsorge aus radiologischer Sicht empfohlen bzw. bewertet werden. Ein weiterer Schwerpunkt war die Unterstützung der Länder bei den Messaufgaben durch BfS-eigene Messfahrzeuge. Zur Lagebewertung sollte das Entscheidungshilfesystem LASAIR verwendet werden. Daneben konnte auch das Entscheidungshilfesystem RODOS genutzt werden.

Eine zweite Übung („CORE 2014“) wurde am 25. Juni 2014 als Stabsrahmenübung durchgeführt. Die Übung CORE 2014 wurde unter Verwendung des Quellterm-Prognosemoduls QPRO erstellt. An der Übung haben die Notfallorganisationen der Referenzanlage sowie des Bayerischen Landesamtes für Umwelt, BfS, BMUB und das GRS-Notfallzentrum teilgenommen. Ziel der Übung CORE 2014 war es, den Einsatz des Quelltermprognosetools QPRO in einem KKW zu testen.

Der für die CORE 2014 entwickelte Szenarienvorlauf (Kernschmelze in einem KKW und der möglicherweise nicht erfolgreichen Kühlung des Kerns im Sicherheitsbehälter) während der Übung führte vormittags in QPRO zur Ausgabe mehrerer möglicher Entwicklungen bzw. Quellterme. Ab Mittag wurde gemäß Übungsszenario nur eine Druckentlastung mit geringeren Freisetzungen erforderlich. Der detailliert simulierte anlagentechnische Ereignisverlauf basierte auf physikalisch konsistenten Analysen, weicht jedoch von den technischen Möglichkeiten der Anlage ab. Zur Simulation eines radiologisch relevanten Ablaufs wurde eine extrem ungünstige Kombination von Ereignissen mit dem Mehrfachversagen von betrieblichen Systemen und von Sicherheitssystemen mit sehr geringer Häufigkeit angenommen.

Beide Übungen verliefen insgesamt erfolgreich. Die jeweiligen Ziele der Tabletop-Übung und der Stabsrahmenübung CORE 2014 wurden erreicht.

6. UMSETZUNG DER ERGEBNISSE

Die vom Auftragnehmer erarbeiteten Szenarien bilden eine gute fachlich fundierte Grundlage für Gestaltung von Notfallübungen der BfS/BMUB-Notfallorganisation. Die Szenarien decken ein breites Spektrum von radiologisch relevanten Ereignissen ab. Auf der Grundlage von zwei Szenarien aus dem vorgelegten Katalog wurden bereits zwei Übungen erfolgreich durchgeführt.

Das vom Auftragnehmer entwickelte und bei einer Übung bereits eingesetzte Quelltermprognosetool QPRO entspricht dem Stand von Wissenschaft und Technik und wurde entsprechend in der SSK-Empfehlung „Prognose und Abschätzung von Quelltermen bei Kernkraftwerksunfällen“ (verabschiedet in der 270. Sitzung am 17./18. Juli 2014) gewürdigt. Dieses Tool ist mit dem Entscheidungshilfesystem RODOS kompatibel und kann bei prognostischen Ausbreitungsrechnungen verwendet werden. Für eine weitere Erhöhung der Effektivität von Übungsmaßnahmen behördlicher Notfallorganisationen soll der vorliegende Katalog durch detailliertere Szenarien für grenznahe ausländische Kernkraftwerke fortgeschrieben werden.

Thema			
Weiterentwicklung der aero-gammaspektrometrischen Messsysteme des Bundesamtes für Strahlenschutz (BfS) und Anpassung der Mess- und Auswerteverfahren an die Anforderungen des Notfallschutzes			
Subject			
<i>Advancement of the airborne gamma spectrometric measurement systems of the Federal Office for Radiation Protection (BfS) and adjusting the measurements and the evaluation of the measurement results to the needs of the emergency management</i>			
Kennzeichen 3611S60013	Beginn 01.09.2011	Ende 31.07.2014	Fördermittel EUR 359.023,-
Forschungs- / Auftragnehmer TÜV SÜD Industrie Service GmbH, München			
Projektleitung Dr. R. Schütz	Fachbetreuung BfS Dr. C. Strobl / SW 1.4		verantwortlich für den Text Dr. R. Schütz

1. ZIELSETZUNG

Zur großräumigen Ermittlung der Umweltradioaktivität und für das Aufspüren von Strahlenquellen aus der Luft werden vom BfS vier flugtaugliche gammaspektrometrische Messsysteme einsatzbereit vorgehalten. Die in einen Hubschrauber vom Typ EC135 der Bundespolizei einrüstbaren und vom Luftfahrtbundesamt zugelassenen rechnergestützten Messsysteme sind mit einem hochreinen Germaniumdetektor und bis zu vier thallium-dotierten Natriumiodid-Detektoren (NaI(Tl)-Detektoren) ausgestattet und können im Sekundentakt Spektren aufnehmen. Während die NaI(Tl)-Detektoren mit ihrem hohen Ansprechvermögen vor allem zur geologischen Kartierung und zum Auffinden von Gammastrahlern eingesetzt werden, eignen sich die hochauflösenden Germaniumdetektoren für die nuklidspezifische Bestimmung der Radionuklide.

Die quantitativen Ergebnisse aero-gammaspektrometrischer Messungen unterliegen einer Vielzahl von Einflussgrößen. Für einige dieser Größen, insbesondere Strahlungsbeiträge von radioaktiven Partikeln im Luftvolumen sowie z. B. die Auswirkung von Orographie und Bodennutzung (z. B. Wald/Offenlandschaft), existieren keine hinreichend genauen Informationen bezüglich ihres Einflusses auf die Bestimmung der spezifischen Aktivität im bzw. auf dem Boden.

Ziel des Forschungsvorhabens war es demzufolge, den Einfluss dieser relevanten Parameter auf das Messergebnis durch Modellrechnungen und Kalibriermessungen zu bestimmen und für alle sich als wesentlich erweisenden Einflussgrößen ein Korrekturverfahren zu erstellen.

2. EINZELZIELSETZUNG

Das Vorhaben gliederte sich in mehrere Teile:

- Berechnung von Geometriefaktoren, d. h. des Verhältnisses der Flussdichte ungestreuter Photonen am Ort des Detektors zur Photonenquellstärke der betrachteten Flächen- bzw. Masseneinheit (abhängig von der Photonenenergie und Radionuklidverteilung; vgl. DIN 25462). Die vorgegebenen Radionuklidverteilungen beinhalten z. B. unebenes Gelände, unterschiedliche Ausdehnung von Kontaminationen am Boden, Bodenvegetation und Luftkontamination.
- Kalibriermessungen am im Hubschrauber eingebauten Messsystem mit Punktquellen für diskrete Einstrahlwinkel bei verschiedenen Tankfüllungen
- Erstellung von Software zur Berechnung von Geometriefaktoren und, in Verbindung mit den Ergebnissen der Kalibriermessungen, von Kalibrierfaktoren für das Gesamtsystem unter verschiedenen Modellannahmen
- Entwicklung von Methoden zur Optimierung des Einsatzes aero-gammaspektrometrischer Messsysteme hinsichtlich der Berechnung charakteristischer Grenzen (vgl. DIN ISO 11929), der Suche nach radioaktiven Quellen und vorhandener Luftkontamination.

3. METHODIK

Zunächst wurde ein Softwareprogramm entwickelt, mit dem Geometriefaktoren bei unterschiedlichen Verteilungen von radioaktiven Stoffen in der Luft und im Boden berechnet werden können.

Anschließend erfolgten Kalibriermessungen an einem Hubschrauber des Typs EC 135 im Hangar der Bundespolizei in Oberschleißheim.

Anhand der Ergebnisse der oben angeführten Schritte wurden dann Methoden zur Optimierung des Einsatzes des aero-gammaspektrometrischen Messsystems, zum Beispiel bei der Suche von radioaktiven Strahlungsquellen, entwickelt.

4. DURCHFÜHRUNG

4.1 ERSTELLUNG DES PROGRAMMS UND BERECHNUNG DER GEOMETRIEFAKTOREN

Es wurde eine hinreichend allgemeine Geometriebeschreibung für die Verteilung von Aktivität und absorbierender Materie gewählt. Die Parameter dieser Beschreibung dienen als Eingangsdatensatz einer hierfür ebenfalls allgemein gehaltenen Rechenmethode. Vorteile sind, dass weitere Verteilungsmodelle ohne Programmierkenntnisse berechnet werden können und das Rechenverfahren nur einmal validiert werden muss.

Als Grundelemente wurden Schichten gewählt, welche in beliebiger Anzahl mit festem Absorptionskoeffizient aufeinander gestapelt werden können. Die Schichtoberflächen können entweder durch mathematische Funktionen beschrieben oder durch Dateien mit orographischen Daten interpoliert werden. Weiterhin kann für jede Schicht optional eine ortsabhängige Kontamination angegeben werden. Für den Fall, dass die Kontamination nicht nur an der Schichtoberfläche lokalisiert ist sondern in die Tiefe eingedrungen ist, kann der Schicht eine weitere Funktion zugeordnet werden, welche das Eindringverhalten in Abhängigkeit der Tiefe relativ zur Schichtoberfläche beschreibt. Zur vollständigen Beschreibung des Verteilungsmodells ist die Position bzw. Flugbahn des Detektors und dessen Ausbeutekorrekturfunktion (vgl. DIN 25462) anzugeben. Für die Ausbeutekorrekturfunktion gleich 1 ergibt sich der Geometriefaktor für die jeweilige Energie und Verteilung.

Die Routine zur Berechnung von Geometriefaktor bzw. dem Produkt aus Geometrie- und Winkelkorrekturfaktor wurde in der plattformunabhängigen und frei verfügbaren Programmiersprache PYTHON implementiert. Obwohl es sich hierbei um eine Interpretersprache handelt, welche im Vergleich zu kompilierten Programmen eine langsamere Ausführungsgeschwindigkeit aufweist, wurde sie gewählt, da hierfür umfangreiche numerische und wissenschaftliche Programmerroutinen vorhanden sind. Diese Erweiterungen erlauben außerdem direkte mathematische Operationen auf Datenfeldern, welche dann praktisch mit der Geschwindigkeit von kompilierten Programmen ablaufen.

Nach der Validierung der Software im Hinblick auf die Berechnung der Geometriefaktoren wurden die vorgegebenen Szenarien für die Bodenkontaminationen, Gelände und Vegetation eingegeben und die jeweiligen Geometriefaktoren berechnet.

Nach der Erstellung der Kalibrierdaten (s. u.) wurde deren korrekte Verwendung im Programm mit Hilfe anderer Programme und Berechnungsmethoden validiert. Zusätzlich erfolgte die Erstellung einer grafischen Benutzeroberfläche, die eine komfortable Bedienung des Programms ermöglicht (Abbildung 1).

4.2 KALIBRIERUNG DES MESSSYSTEMS

Es wurde die Detektorausbeute für alle fünf verwendeten Detektoren mit den Nukliden Cs-137 und Co-60 für insgesamt 66 Messpunkte ermittelt. Diese Messpunkte befanden sich sowohl im unteren als auch im oberen Halbraum im Abstand von 3 m zum Mittelpunkt der Symmetrieachsen der vier NaI(Tl)-Detektoren. Dabei war der sich unter den Detektoren befindende Tank des Hubschraubers zu einem Drittel gefüllt. Die Schrittweite der jeweiligen Messpunkte im unteren Halbraum betrug 20 Grad, im oberen Halbraum 30 Grad. Zusätzlich wurde die Detektorausbeute für ausgewählte Messpunkte im unteren Halbraum auch für den leeren und den zu zwei Drittel gefüllten Tank ermittelt. Eine größere Tankfüllung ist hinsichtlich des maximalen Abfluggewichtes eines solchen Hubschraubers auf Grund der Masse der Messeinrichtung nicht möglich. Die Kalibrierung erfolgte unter der Annahme einer Achsensymmetrie des Hubschraubers in Flugrichtung nur auf einer Seite.

Aus den Kalibrierdaten lässt sich die Ausbeutekorrekturfunktion durch die erstellte Software sowohl entlang des Raumwinkels als auch über den Füllstand des Tanks interpolieren. Eine weitere Interpolationsmöglichkeit besteht zwischen den Energien von 662 keV bis 1332 keV (Abbildung 2).

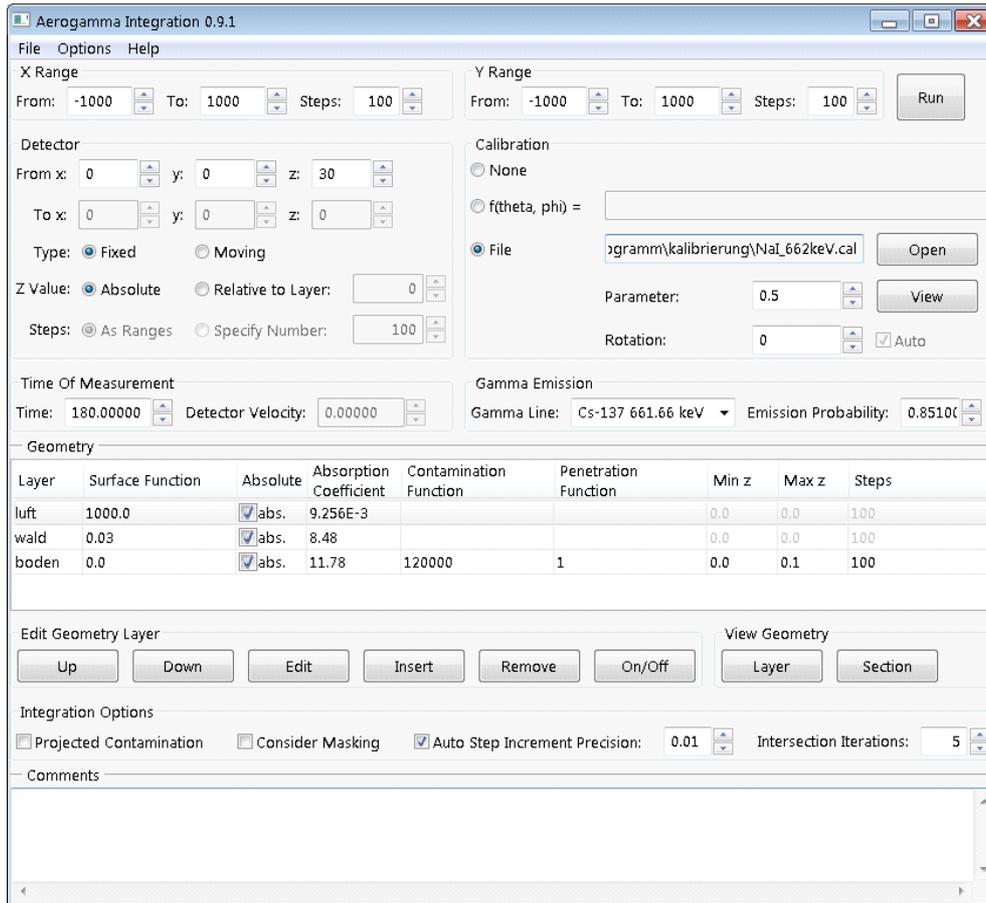


Abbildung 1: Benutzeroberfläche des Programms zur Berechnung der Geometriefaktoren bzw., unter Verwendung der Kalibrierdaten, zur Berechnung der Zählraten im Photopeak

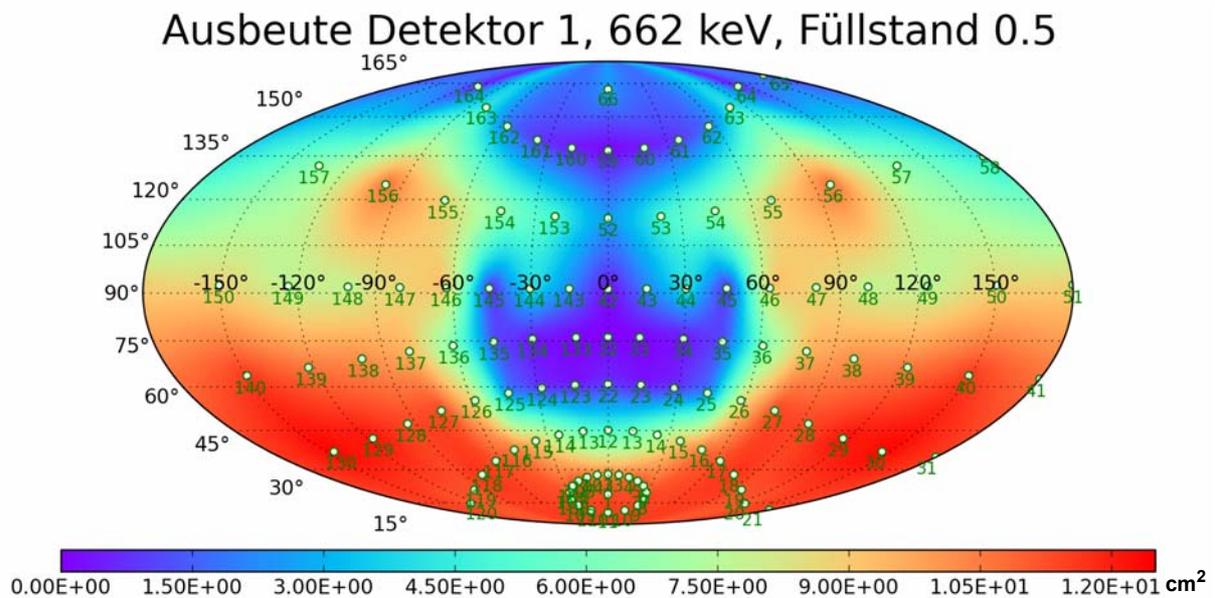


Abbildung 2: Beispiel für ein Ergebnis aus den Kalibriermessungen: Ausbeuten in cm² für Detektor 1 (Germanium-Detektor) mit den Messpunkten für die Gammaenergie von Cs-137 und für den halbvollen Tank

4.3 DURCHFÜHRUNG VON MESSFLÜGEN

Es wurden mit dem im Hubschrauber eingebauten Messsystem Flüge für verschiedene Geometrien vor allem für Punktquellen (Cs-137, Co-60) abhängig von der Flughöhe und der Tankfüllung durchgeführt. Der Einfluss unterschiedlichen Bewuchses (z. B. Wiese, Wald) wurde berücksichtigt. Die Ergebnisse der Messflüge dienen zur Validierung des Programms und flossen in die Berechnung der Messunsicherheiten des Systems ein.

5. ERGEBNISSE

Mit der erstellten Software wurden die Geometriefaktoren für einzelne Beispiele von Bodenkontaminationen, Geländeformen und Vegetation berechnet. Die Ergebnisse stimmen bei den für Vergleiche geeigneten Verteilungen mit denen anhand anderer Methoden (DIN 25462, Tabellenwerte, andere Programme) ermittelten Ergebnissen überein (Abbildung 3).

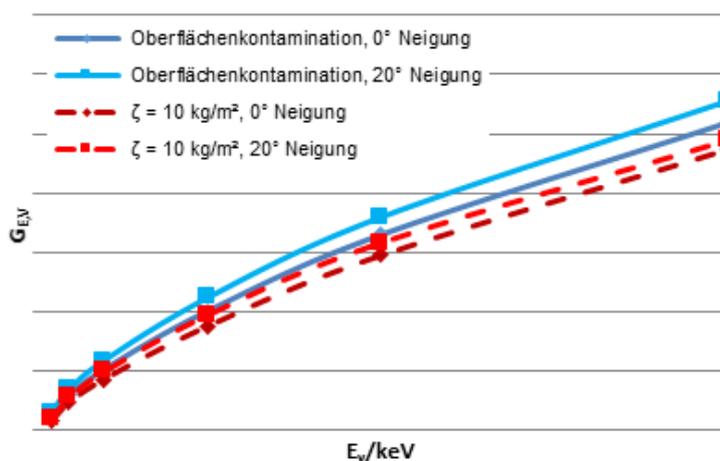


Abbildung 3: Ein Beispiel für berechnete Geometriefaktoren in Abhängigkeit von der Energie der Gammastrahlung. Die Kontamination lag dabei an der Oberfläche bzw. im Erdreich mit der Relaxationsmassenflächendichte von $\zeta = 1 \text{ g/cm}^2$ bzw. 10 kg/m^2 . Das Gelände wurde als ungeneigt bzw. unter einem Winkel von 20° geneigt betrachtet. Es ist ersichtlich, dass der Geometriefaktor bei geneigtem Gelände jeweils höher ist. Auf Grund des Abstandsgesetzes erhöht die auf der einen Seite näher liegende Kontamination den Geometriefaktor stärker als er auf Grund einer größeren Entfernung zu der Kontamination auf der anderen Seite vermindert wird.

Die Sensitivität des Geometriefaktors wurde abhängig von verschiedenen Parametern (z. B. Geländeneigung, Tiefenverteilung der Kontamination, Detektorhöhe, Messdauer, Quellenausdehnung) betrachtet. Unter Verwendung der am Hubschrauber bestimmten Kalibrierdaten wurden die Ausbeutekorrekturfaktoren für das Gesamtsystem ermittelt.

5.1 BERECHNUNG CHARAKTERISTISCHER GRENZEN

Mit Hilfe der Software und der Kalibrierdaten wurden spezielle Fragen zum Messsystem behandelt. Eine davon ist die Berechnung der charakteristischen Grenzen gemäß DIN ISO 11929, insbesondere der Nachweisgrenze. Dazu wurde ein Spreadsheet erstellt, mit dessen Hilfe für ein vorgegebenes Szenario die für das Aero-Gammaspektrometrie-System charakteristischen Grenzen errechnet werden können. Ein Beispiel, bei dem von einer homogenen Kontamination der oberen 10 cm Bodenschicht mit 120 kBq/m^3 Cs-137, einer Flughöhe von 60 m und einer Messzeit von 181 s ausgegangen wurde, wurde exemplarisch durchgerechnet. Dafür wurde für die Kombination aller vier NaI-Detektoren eine Nachweisgrenze für eine Cs-137-Punktquelle von ca. $3 \cdot 10^7 \text{ Bq}$ errechnet.

5.2 OPTIMIERUNG VON SUCHSTRATEGIEN ZUR AUFFINDUNG RADIOAKTIVER QUELLEN

Ein weiterer Aspekt war die Frage, inwieweit mit dem eingeführten Verfahren zur Bestimmung der Nachweisgrenze die Parameter der aero-gammaspektrometrischen Messung unter den jeweiligen Randbedingungen

optimiert werden können. Insbesondere sind dies die Flughöhe, Fluggeschwindigkeit und Flugbahn sowie die Mess- bzw. Integrationszeit. Diese sollen typischerweise so gewählt werden, dass die sich daraus ergebende Nachweisgrenze für den jeweiligen Einsatzzweck so gering wie möglich ist. Eine derartige Optimierung wurde für den Fall der Suche nach einem Cs-137-Strahler in einem bereits mit Cs-137 vorbelasteten, ebenen Gebiet ohne signifikante zusätzliche Absorption durchgeführt, da die hierfür notwendigen Eingangsgrößen aus den Testflügen abgeschätzt werden konnten.

Als Resultat ergaben sich Messzeiten von ca. 2 s für eine Flughöhe von 30 m und einen direkten Überflug über den gesuchten Punktstrahler. Für weitere Entfernungen von der Flugbahn erhöhen sich dann die optimalen Messzeiten pro Spektrum als auch die Nachweisgrenze.

Die Nachweisgrenzen der optimalen Messzeit wurden dazu verwendet, die beste Suchstrategie zum Aufspüren einer Cs-137-Punktquelle auf ebenem Gelände zu finden. Als optimal wird dabei die Flugbahn angesehen, die die kürzeste Flugzeit erfordert (und nicht beispielsweise den geringsten Kerosinverbrauch). Um eine Flugzeit angeben zu können, wurde von einer abzufliegenden Fläche von 50 km² ausgegangen. Es wurde angenommen, dass das Gelände streifenweise abgeflogen wird, keine Rückflüge wegen Tankstopps durchgeführt werden müssen und die Teilstrecken beim Bahnwechsel vernachlässigt werden können. Da nach rechts und links gemessen wird, darf der Bahnabstand für eine Nachweisgrenze den doppelten Betrag des Abstandes d bei der Nachweisgrenzenberechnung betragen. Die Flugzeit t_F berechnet sich demnach gemäß der Formel

$$t_F = \frac{50 \text{ km}^2}{2d \cdot v}$$

Errechnet man damit die Nachweisgrenzen bei optimaler Messzeit in Abhängigkeit der Flugzeit, so ergibt sich der in Abbildung 4 für die Flughöhen von 30 m, 60 m und 90 m bei den beiden Geschwindigkeiten von 50 km/h und 100 km/h dargestellte Verlauf. Daran lässt sich ablesen, welche Nachweisgrenze mit welcher Strategie, d. h. Kombination aus Flughöhe und -geschwindigkeit am schnellsten erreichbar ist. Beispielsweise ist eine Aktivität von 3E7 Bq nur mit einem Flug in Höhe von 30 m Höhe bei einer Geschwindigkeit von 50 km/h nachzuweisen, wobei die Flugzeit dann mehr als 20 h beträgt. Bei einer nachzuweisenden Aktivität von bis zu etwa 6E8 Bq ist der Flug in 30 m Höhe bei einer Geschwindigkeit von 100 km/h die beste Variante, bis etwa 2E9 Bq der Flug in 60 m Höhe bei 100 km/h und erst danach die Höhe von 90 m bei 100 km/h. Die Unterschiede für die verschiedenen Strategien hängen jedoch nur gering von der Flughöhe ab (Abbildung 4).

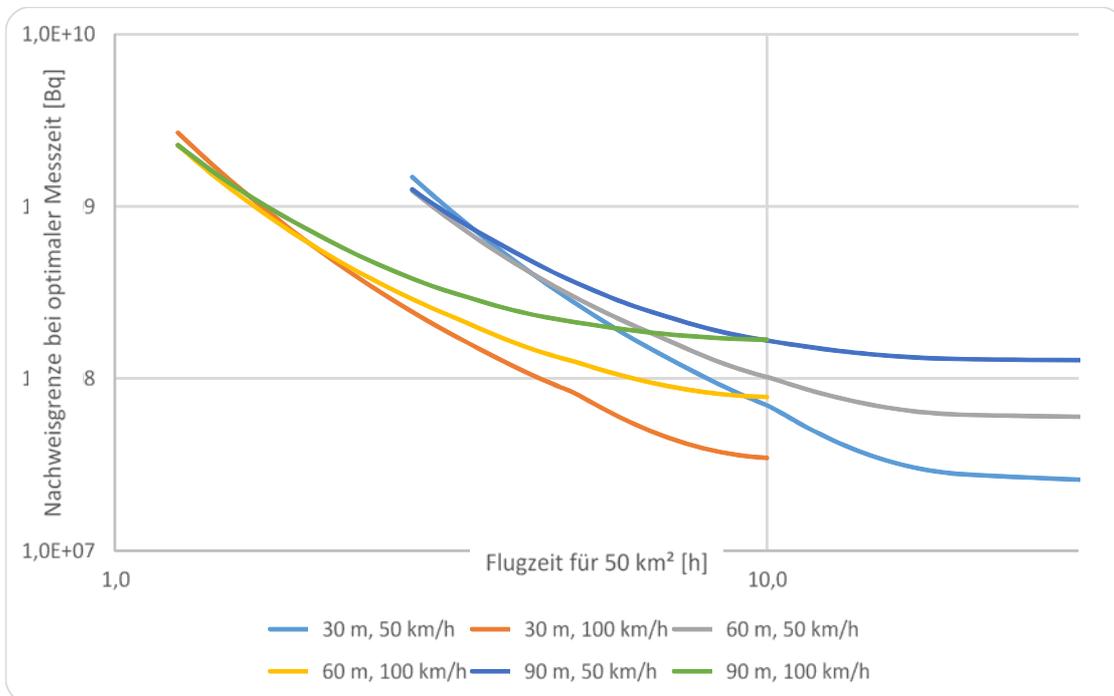


Abbildung 4: Die Nachweisgrenze bei optimaler Messzeit als Funktion der Flugzeit für eine abzusuchende Fläche von 50 km² und verschiedene Kombinationen aus Flughöhe und -geschwindigkeit

5.3 QUANTIFIZIERUNG VORHANDENER LUFTKONTAMINATIONEN

Der letzte zu betrachtende Aspekt betraf die Möglichkeit einer Bestimmung von Luftkontaminationen. Die durchgeführten Kalibrierungen hatten gezeigt, dass sich die Winkelcharakteristiken der eingesetzten Detektoren unterscheiden. Es war daher naheliegend zu untersuchen, ob sich diese Unterschiede durch die Bildung von Zählratenverhältnissen zur Diskriminierung verschiedener Kontaminationsszenarien verwenden lassen. Da sich hierbei auf die Unterscheidung zwischen ausgedehnter Bodenkontamination und ausgedehnter Luftkontamination beschränkt wurde, war es auf Grund der vorhandenen Symmetrie sinnvoll, die Detektoren in drei Gruppen einzuteilen: den Germaniumdetektor (Detektor 1), die beiden vorderen NaI-Detektoren (Detektor 4 und 5) und die beiden hinteren NaI-Detektoren (Detektor 2 und 3), die im Folgenden als „NaI vorne“ und „NaI hinten“ bezeichnet werden.

Als Beispiel wird hier das Zählratenverhältnis zwischen den NaI-Detektoren „hinten“ zum Germaniumdetektor angegeben. Abbildung 5 zeigt die berechneten Verläufe als Funktion der Flughöhe beim Schwebeflug für Tankfüllungen von 0 %, 50 % und 100 % und für die Szenarien homogene, weit ausgedehnte Bodenkontamination und homogene, weit ausgedehnte Luftkontamination. Der Abstand der Linien gleicher Farbe ist hierbei das Maß für die Unterscheidbarkeit der beiden Szenarien unter Vernachlässigung von Unsicherheiten. Dieser Abstand hat auf Grund der günstigen Lage der Detektoren hinter dem Haupttank eine deutlich geringere Abhängigkeit von dessen Füllstand. Für Flughöhen ab ca. 50 m sollte bei ausreichender Zählstatistik sogar ohne Korrekturen die Unterscheidung von Luft- und Bodenkontamination möglich sein. Zusätzliche unbekannte Unsicherheiten wie beispielsweise die Kontamination der Detektoren bzw. des Helikopters beim Aufenthalt in kontaminierter Luft sind jedoch in dieser Abschätzung nicht enthalten (Abbildung 5).

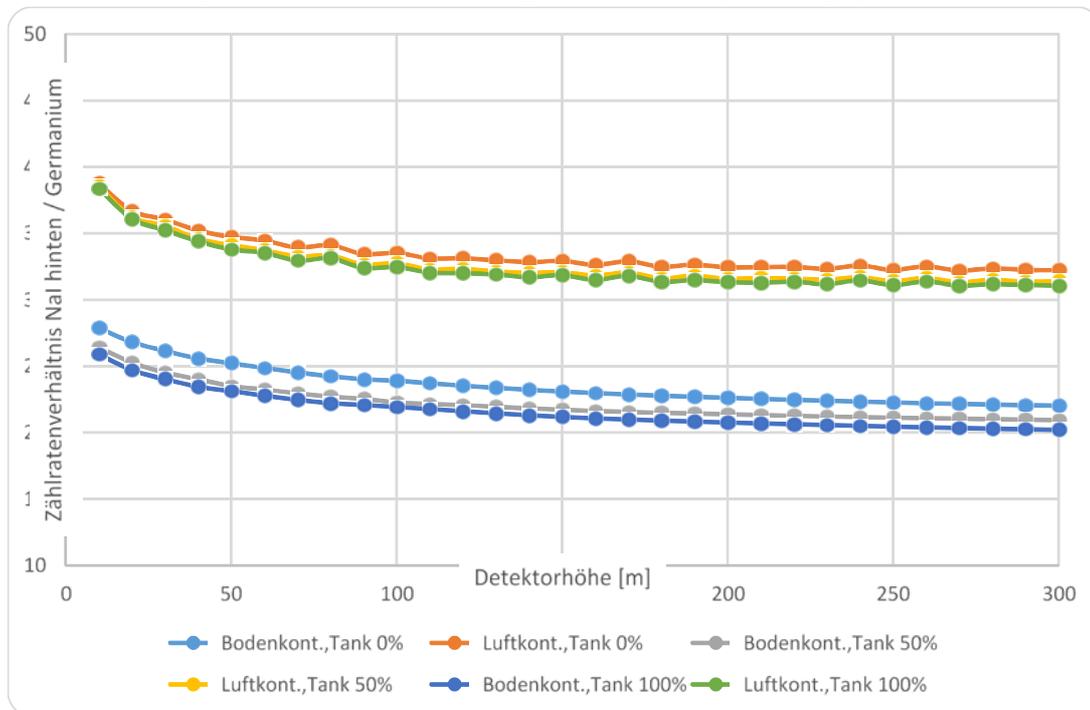


Abbildung 5: Zählratenverhältnis der NaI-Detektoren „hinten“ zum Ge-Detektor als Funktion der Flughöhe für die Szenarien Boden- und Luftkontamination bei Tankfüllständen von 0 %, 50 % und 100 %

6. UMSETZUNG DER ERGEBNISSE

Die Ergebnisse des vorliegenden Forschungsvorhabens ermöglichen einen optimierten Einsatz der aerogammaspektrometrischen Messsysteme des Bundesamtes für Strahlenschutz. In Vorbereitung auf anstehende nationale sowie internationale Messübungen bedeutet dies einen entscheidenden Vorteil hinsichtlich einer zielgerichteten Planung der Messkampagnen. Insbesondere die vom jeweiligen Messgebiet abhängigen geeignetsten Strategien zum Auslegen von radioaktiven Quellen, aber auch die spezielle Vorgehensweise bei der Suche nach diesen Quellen, können anhand der Ergebnisse des Forschungsvorhabens effektiv ermittelt werden.

Thema			
Erprobung alternativer, situationsangemessener Kommunikationsstrategien für den nuklearen Notfallschutz mittels eines web-basierten Informations- und Kommunikationsforums			
Subject			
<i>Testing alternative, situation suited communication strategies for nuclear emergency response using a web based information and communication forum</i>			
Kennzeichen	Beginn	Ende	Fördermittel
3611S70004	01.01.2012	30.05.2014	EUR 225.171,-
Forschungs- / Auftragnehmer			
ESN Sicherheit und Zertifizierung GmbH			
Projektleitung	Fachbetreuung BfS	verantwortlich für den Text	
B. Matzig, O. Staack	N. Zander / SW 2.2	O. Staack, J. Rehr	

1. ZIELSETZUNG

Im Forschungsvorhaben sollten moderne, web-basierte Ansätze für behördliche Risikokommunikation ermittelt und getestet werden. Es wurden die von Behörden und Institutionen eingesetzten Praktiken und Techniken bei der web-basierten Risikokommunikation analysiert sowie ein web-basiertes Informationsportal entwickelt und seine Wirkung und Verbesserungsfähigkeit im Rahmen eines Usability-Tests bestimmt. Die Analysen wurden durch allgemeine Recherchen zu wichtigen Themen wie Social Media, Barrierefreiheit usw. ergänzt. Aus der Kombination der Ergebnisse wurden Empfehlungen entwickelt, wie die Risikokommunikation sowie die Darstellung radiologischer Daten und sonstiger Fakten zukünftig verbessert werden können. Das Forschungsvorhaben gliederte sich in vier teilweise eng verknüpfte Arbeitspakete.

2. EINZELZIELSETZUNG

2.1 ANALYSE BESTEHENDER INFORMATIONSANGEBOTE

Im ersten Arbeitspaket wurden die seinerzeit eingesetzten Praktiken im Rahmen der web-basierten Risikokommunikation von Behörden in Deutschland und auf internationaler Ebene betrachtet und eine Befragung der Anbieter der Informationsangebote durchgeführt. Aus dieser Analyse sollten Rückschlüsse für eine mögliche verbesserte Vermittlung von radiologischen und kerntechnischen Sachverhalten gezogen werden, um als Grundlage für die Erstellung der Website in den nächsten Arbeitspaketen zu dienen.

2.2 ERSTELLUNG EINER WEBSITE FÜR TESTZWECKE

Aufbauend auf den Analysen des ersten Arbeitspakets und einer umfassenden Literatur- und Internetrecherche wurde eine Website erstellt, die als Testobjekt für ein Evaluationsexperiment zur Testung der „Usability“ (dt. etwa Benutzerfreundlichkeit) diente.

2.3 DURCHFÜHRUNG EINES EVALUATIONSEXPERIMENTS/USABILITY-TESTS

Die erstellte Website diente als Grundlage und Testobjekt für ein Evaluationsexperiment zur Testung der „Usability“. Hierbei wurden weitere Verbesserungsmöglichkeiten abgeleitet und eine zweite Version der Website auf Grund der Erkenntnisse erstellt (Details im Abschnitt 3).

2.4 ABLEITUNG VON EMPFEHLUNG FÜR DIE WEB-BASIERTE RISIKOKOMMUNIKATION

Aufbauend auf den Ergebnissen aller Arbeitspakete (Analysen, Recherchen, Experiment) wurden im Abschlussbericht Empfehlungen abgeleitet, wie die web-basierte Risikokommunikation (insbesondere im Bereich Strahlenschutz und Kernenergie) verbessert werden kann (siehe auch Abschnitt 5).

3. METHODIK

Als Einstieg in das Projekt wurden bestehende Informationsangebote (Websites) ausgewählter Behörden und Institutionen im In- und Ausland analysiert. Die Anbieter dieser Angebote sollten grundsätzlich die Notwendigkeit haben, Risikokommunikation im Bereich Kernenergie, Strahlenschutz, Katastrophenschutz und/oder verwandten Bereichen durchzuführen. Sie sollten also Aufgaben und Zuständigkeiten in diesen Gebieten haben. Die Auswahl wurde mit dem Auftraggeber abgestimmt und umfasste insgesamt 33 deutsche Behörden auf den verschiedenen Verwaltungsebenen und 19 ausländische Stellen (meist die Atomaufsicht und/oder die Katastrophenschutzbehörden der jeweiligen Staaten sowie die IAEA). Für die Analyse wurden neben einer Front-End-Betrachtung Fragebögen versandt, die sowohl administrative Aspekte (z. B. Zuständigkeiten und Ansprechpartner) als auch technische Fragestellungen behandelten. Darunter waren Themen wie Zugänglichkeit (in Deutschland beispielweise Erfüllung der BITV¹⁾ und/oder BITV 2.0), Prozesse zur Prüfung der Inhalte auf Aktualität und Korrektheit und zum Einstellen neuer Inhalte, verwendete Software, Server, Hardware usw.

Für Testzwecke wurde dann ein eigenes Informationsangebot erstellt. Dabei kam ausschließlich lizenzfreie oder kostenlose Software zum Einsatz. Den wesentlichen Teil bildeten gut auskommentierte PHP-Scripte. Im Front-End-Bereich wurde auf die semantischen Möglichkeiten des HTML5-Standards zurückgegriffen. Während mittels HTML die Struktur bereitgestellt wurde, wurde das Design CSS-basiert erstellt. Einige Darstellungen wurden mit JavaScript unter Nutzung der jQuery-Bibliothek verbessert.

Als ein wesentlicher Schritt des Forschungsvorhabens wurde ein Evaluationsexperiment zur Testung der „Usability“ der entwickelten Website durchgeführt. Ziel war es, auch allgemeine Erkenntnisse für die Darstellung von Risikoinformationen zu gewinnen. Hierbei wurde ein multimethodisches Verfahren angewandt, das sowohl quantitative als auch qualitative Daten nutzte und so Rückschlüsse über die Benutzerfreundlichkeit der erstellten Website zuließ. Der Test der „Usability“ der Website wurde in die vier Hauptthemengebiete „Ergonomie, Layout, Typographie“, „Inhaltliche Verständlichkeit, Informationsgehalt, Glaubwürdigkeit“, „Navigationsstruktur“ sowie „Soziale Medien und Sonstiges“ eingeteilt, welche jedoch nicht scharf gegeneinander abgegrenzt wurden, sondern durchaus vielfältige und gewollte Überschneidungen zeigten.

Die Studie war in zwei aufeinander folgende Phasen (2-Phasenkonzept) gegliedert. In der ersten Phase wurden die Probanden mit einer Problemstellung konfrontiert, die sie durch eine Navigationssuche auf der Website lösen konnten. Durch die vorgegebene Aufgabenstellung überprüften die Probanden den Aufbau der Website und die Navigationswege und machten sich mit der Website vertraut. Abschließend für die erste Phase wurde ein Fragebogen zu den Aspekten Inhalt, Navigationsstrukturen sowie Benutzerfreundlichkeit durch die Probanden ausgefüllt. In der zweiten Phase wurden die Probanden im Rahmen einer Fokusgruppe vertiefend zu den Bewertungskriterien sowie zu den etwaigen vorab festgestellten Schwachstellen in einer größeren Detailtiefe befragt.

4. DURCHFÜHRUNG

Aufbauend auf den Ergebnissen aus der Fragebogenauswertung und den Front-End-Betrachtungen und einer allgemeinen Recherche zum aktuellen Stand von Wissenschaft und Technik im Webdesign wurde ein Informationsportal entwickelt, welches dann im Rahmen eines Evaluationsexperiments getestet wurde. Die Ergebnisse aus dem Evaluationsexperiment wurden im Sinne eines Erfahrungsrückflusses in die Überarbeitung der Website einbezogen. Dies mündete in der Erstellung einer zweiten, verbesserten Version.

5. ERGEBNISSE

Die Ergebnisse aus allen Teilen des Forschungsvorhabens wurden im Abschlussbericht als Sammlung von Empfehlungen zusammengestellt. Die wesentlichen Erkenntnisse waren zusammenfassend:

- Kleinere Behörden haben ggf. keine finanziellen, personellen und/oder zeitlichen Mittel, um ihre Risiko- und Krisenkommunikation im Web adäquat durchzuführen. Daher bieten sich gemeinsame Informationsangebote (z. B. Katastrophenschutz benachbarter Landkreise) und Informationsportale zu bestimmten Themen (vgl. www.jodblockade.de) an, um Ressourcen zusammenzufassen und effizient zu nutzen.
- Informationsbedürfnisse müssen ggf. auch auf internationaler Ebene befriedigt werden, so dass vollwertige englischsprachige Angebote (als Ergänzung zum deutschen) wichtig sind. Ein Wechsel zwischen

¹⁾ Barrierefreie-Informationstechnik-Verordnung

- Sprachalternativen sollte problemlos möglich sein. Ggf. sind auch Minderheitensprachen (z. B. Türkisch) zu berücksichtigen.
- Zur Systematisierung der Inhaltsbearbeitung und Sicherstellung der Aktualität von Informationsangeboten im Allgemeinen und Websites und Social-Media-Accounts im Speziellen empfiehlt es sich, die entsprechenden Anforderungen und Abläufe als Prozess in ein vorhandenes Managementsystem aufzunehmen und darin die verantwortlichen Stellen und Personen genau zu definieren.
 - Ernste Themen (wie beispielsweise radiologischer Notfallschutz) sollten auch im Web seriös vermittelt werden. Das Design und Layout sollte daher nicht zu „verspielt“ wirken.
 - Die Aufmerksamkeitsspanne der Leser im Web folgt einer eigenen Dynamik. Texte sollten daher so kurz wie möglich und nur so lang wie nötig sein, um das „abscannen“ einer Website durch den Nutzer zu ermöglichen. Lange Texte müssen gut strukturiert und untergliedert sein.
 - Eine Website-Navigation sollte es dem Nutzer auch ohne Fachkenntnisse erlauben, sich zurechtzufinden. Hierfür ist eine gute Struktur der Navigationselemente ebenso wichtig wie, dass der Nutzer sie dort findet, wo sie vermutet werden (gängige Praxis nutzen).
 - Zahlen, Messwerte und sonstige für den Laien abstrakte Werte müssen verständlich erklärt werden. Zusätzliche Informationen zur Bedeutung des Wertes, der Einheiten und eine Relation von Werten zu alltäglichen Erfahrungswerten oder näher liegenden Beispielen sollten auf kurzem Weg - d. h. i. A. ohne die aktuelle Seite verlassen zu müssen - erreichbar sein.
 - Interaktive Anwendungen sollten in die gewöhnlichen Websites weitestgehend integriert werden und nicht nach extern verlinken.
 - Es bietet sich an, eine direkte Kommunikation (z. B. Chat, Forum u. ä.) zu ermöglichen, soweit dies technisch, organisatorisch und finanziell möglich ist.
 - Der Nutzen einer Technologie (Interaktive Anwendungen, Social Media usw.) muss vor deren Einsatz geprüft werden. Dieser Nutzen sollte in einem angemessenen personellen, finanziellen und zeitlichen Verhältnis zum Aufwand stehen, die Technologie einzusetzen.
 - Soweit mit vertretbarem Aufwand realisierbar sollten auch grafische, interaktive, animierte und filmische Angebote den Regeln der Barrierearmut folgen.
 - Die Einrichtung von Behörden-Accounts bei sozialen Medien bedarf neben Machbarkeits- auch einer umfangreichen Bedarfsanalyse und eines gut definierten Prozesses sowie ausreichend zeitlicher, finanzieller und personeller Mittel.
 - Solange eine rechtssichere Basis für die Nutzung von Plugins und anderer Dienste externer Anbieter wie Facebook, Twitter usw. nicht existiert, kann deren Nutzung nur sehr eingeschränkt erfolgen. Die Einhaltung deutschen Rechts - insbesondere des Datenschutzes - ist bei jedem externen Anbieter neu zu prüfen und zu überwachen.
 - Designlösungen können bei verschiedenen Auflösungen verschiedene Wirkung haben. Ein gutes Design auf großen Bildschirmen kann etwa auf einem Smartphone unlesbar sein. Es sollten daher die Prinzipien des „Responsive Webdesign“ zum Einsatz kommen.

6. UMSETZUNG DER ERGEBNISSE

Die im Rahmen des Vorhabens erarbeiteten Empfehlungen sowie Erkenntnisse aus dem Evaluationsexperiment sollen auf den Gebieten der Risiko- und der Krisenkommunikation umgesetzt werden. Weiterhin sollen diese bei der Erarbeitung eines fachbereichsübergreifenden Kommunikationskonzeptes für Notfallschutz berücksichtigt werden. Die vom Auftragnehmer beispielhaft erarbeitete Internetseite liefert gute Anregungen zur webbasierten Kommunikation auf dem Gebiet des Notfallschutzes.

Die Ergebnisse des Vorhabens haben gezeigt, dass eine proaktive Nutzung von interaktiven webbasierten Anwendungen auf solchen Gebieten wie radiologischer Notfallschutz zunächst eine Klärung von vielen rechtlichen und datenschutzbezogenen Fragestellungen voraussetzt. Diese soll in einem weiterführenden Projekt mit einer beispielhaften Implementierung solcher interaktiven webbasierten Anwendung erfolgen.

Thema			
14. Koordinierungs- und Planungstreffen der WHO-REMPAN-Kollaborationszentren und Liaison Institutionen in Würzburg im Jahr 2014			
Subject			
<i>14th Coordination and planning meeting of the WHO REMPAN Collaborating Centers and Liaison Institutions in Würzburg in the year 2014</i>			
Kennzeichen	Beginn	Ende	Fördermittel
3614102275	01.04.2014	30.09.2014	EUR 24.397,-
Forschungs- / Auftragnehmer			
Klinik und Poliklinik für Nuklearmedizin der Universität Würzburg			
Projektleitung	Fachbetreuung BfS	verantwortlich für den Text	
Prof. Dr. Chr. Reiners	A. Erzberger / AG-SG 2.1	Prof. Dr. Chr. Reiners Dr. R. Schneider	

1. ZIELSETZUNG

Das im Jahr 1987 gegründete WHO-REMPAN (Radiation Emergency Medical Preparedness and Assistance Network)-Netzwerk ist weltweit das einzige seiner Art. Vorrangiges Ziel des Netzwerks ist die Unterstützung der WHO beim Auf- und Ausbau nationaler Kapazitäten im medizinischen Strahlenunfallmanagement in Mitgliedsstaaten der WHO .

Seit 1987 fanden insgesamt 13 WHO-Koordinations- und Planungstreffen der REMPAN-Kollaborationszentren und Liaison-Institutionen statt. Im Jahr 2014 sollte die Reihe der REMPAN-Tagungen fortgesetzt werden und 22 Jahre nach der ersten Tagung in Ulm zum zweiten Mal in Deutschland stattfinden. Gastgeber des 14. Koordinations- und Planungstreffens sollte das REMPAN-Kollaborationszentrum für medizinische Vorsorge und Hilfe bei Strahlenunfällen Würzburg sein. Die Klinik und Poliklinik für Nuklearmedizin des Universitätsklinikums Würzburg ist seit 2005 als WHO-REMPAN-Kollaborationszentrum designiert und wurde 2013 für weitere 4 Jahre akkreditiert.

2. EINZELZIELSETZUNG

Die Durchführung des Koordinations- und Planungstreffens diene folgenden Zielen:

Es sollte ein Überblick über neueste wissenschaftliche und klinische Forschungen und Entwicklungen auf dem Gebiet des medizinischen Strahlenunfallmanagements gegeben werden. Im Mittelpunkt des Programms standen Erkenntnisse aus dem Reaktorunfall in Fukushima, Japan, im Jahr 2011. Weitere thematische Schwerpunkte der Tagung bildeten aktuelle Themen und offene Fragen der Strahlenunfallvorsorge und des Unfallmanagements.

Darüber hinaus sollte eine breite fachliche Diskussion über die präsentierten Themen mit Kollegen des internationalen REMPAN-Netzwerks geführt und den Teilnehmern der Austausch von Erfahrungen auf dem Gebiet der Strahlenunfallmedizin und des Strahlenunfallmanagements ermöglicht werden. Zudem wurde erwartet, dass die Erkenntnisse der Tagung in neue internationale Empfehlungen einfließen und der Harmonisierung von Maßnahmen dienen.

Schließlich soll der zu publizierende Tagungsband dazu beitragen, die Diskussion über offene Fragen weiterzuführen und weitere Schritte oder Lösungen anzugehen.

3. METHODIK

Inhaltlich und organisatorisch vorbereitet und durchgeführt wurde die 14. WHO-REMPAN-Tagung in Kooperation mit dem WHO-Hauptbüro in Genf, vertreten durch Dr. Zhanat Carr, Koordinatorin des WHO-REMPAN-Netzwerks.

- Zur Darstellung des aktuellen Stands von Wissenschaft und Technik zum Thema wurden bisherige relevante Arbeiten des Auftragnehmers sowie die Ergebnisse ausgewählter früherer WHO-REMPAN-Koordinations- und Planungstreffen zusammengefasst. (AP 1)

- Zur Ausarbeitung des Konzepts wurde in Abstimmung mit dem WHO-Hauptbüro das wissenschaftliche Programmkomitee gebildet, das die inhaltlichen Schwerpunkte definierte. Diesem Komitee gehörten folgende Experten an (AP 2):
 - Prof. Christoph Reiners, Würzburg, Deutschland
 - Dr. Albert Wiley, Oak Ridge, USA
 - Prof. Aleksander Akleyev, Chelyabinsk, Russland
 - Dr. Chunsheng Li, Ottawa, Kanada
 - Dr. Shunichi Yamashita, Nagasaki, Japan
 - Prof. Toshiteru Okubo, Hiroshima, Japan
 - Dr. Marc Benderitter, Fontenay-aux-Rosses, Frankreich
 - Dr. Lesley Prosser, Chilton, Großbritannien
 - Dr. Volker List, Karlsruhe, Deutschland
 - Dr. Nelson Valverde, Rio de Janeiro, Brasilien

Unter Beachtung regionaler und geschlechtsspezifischer Ausgewogenheit wurden die Sitzungsthemen und Sitzungsleiter sowie Referenten und Vorträge entsprechend dem Programm ausgewählt.

- Die Tagung wurde vom 07. bis 09. Mai 2014 in Würzburg durchgeführt (s. Abbildung 1). (AP 3)
- In der Nachbereitungsphase der Tagung stellten die Teilnehmer ihre Präsentationen zur Verfügung. Darauf basierend soll ein Tagungsband als Sonderausgabe der Zeitschrift Radiation Protection Dosimetry veröffentlicht werden. (AP 4)

Hotel Accommodation

The Local Secretariat has booked rooms in the following three hotels in Würzburg for a three night period from Tuesday, May 06th – Thursday, May 08th, 2014.

Rates are in Euro for a single room / per night including breakfast and VAT. Costs for WLAN/High-Speed Internet are excluded.

- ▶ **Novotel Würzburg**
Eichstraße 2, 97070 Würzburg
Standard / single: Euro 105.–
www.novotel.com/gb/hotel-5362-novotel-wuerzburg/index.shtml
- ▶ **Ghotel Würzburg**
Schweinfurter Straße 1–3, 97080 Würzburg
Business / single: Euro 75.–
www.ghotel.de/deutsch/hotels/wuerzburg
- ▶ **Hotel Maritim Würzburg**
Pleicherstraße 5, 97070 Würzburg
Classic / single: Euro 108.–
www.maritim.com/en/hotels/germany/hotel-wuerzburg

To process your booking and to guarantee the above price, please inform the Local Secretariat (hertlein_m1@ukw.de) no later than **March 1st, 2014** about your choice of hotel and booking dates using the Registration Form.

If you wish to extend or shorten your stay or like to book a double room, please indicate the respective dates and type of room in the Registration Form.

Venue and Directions



Hotel Maritim Würzburg and Ghotel Würzburg are in walking distance to the Venue and can be reached by foot in 17 minutes and 6 minutes, respectively.

Your Local Secretariat

Dr. Rita Schneider
Tel.: + 49 931 201 44 800
Fax: + 49 931 201 644 800
schneider_r1@ukw.de

Michaela Hertlein
Tel.: + 49 931 201 35 700
Fax: + 49 931 201 635 700
hertlein_m1@ukw.de

Address
University Hospital Würzburg
Department of Nuclear Medicine –
WHO REMPAN Collaborating Centre
Oberdürrbacher Str. 6
97080 Würzburg
Germany

Universitätsklinikum Würzburg 

GENERAL INFORMATION

14th Coordination and Planning Meeting of the WHO / REMPAN Collaborating Centres and Liaison Institutions



Wednesday, May 07th – Friday, May 09th, 2014

Novotel Würzburg
Eichstraße 2, 97070 Würzburg

WHO REMPAN Collaborating Centre Würzburg 

Abbildung 1: Flyer zu allgemeinen Informationen

4. DURCHFÜHRUNG

4.1 ORGANISATION DER TAGUNG

An dem dreitägigen REMPAN-Koordinations- und Planungstreffen vom 7. bis 9. Mai 2014 in Würzburg nahmen knapp 100 Teilnehmer aus 26 Ländern teil. Der deutsche Teilnehmerkreis bestand aus Vertretern von Bundesministerien, Fachbehörden/-einrichtungen und Bundeswehr, aus Klinikmitarbeitern und aus Experten aus Wissenschaft und Forschung sowie deutschen REMPAN-Liaison-Institutionen.

4.2 TAGUNGSPROGRAMM

Die Sitzungen waren elf Themenbereichen gewidmet.

4.2.1 Eröffnung und Begrüßung, Berichte von WHO, IAEA, IRPA, Vorstellung neuer Mitglieder

In der einführenden Sitzung gaben Vertreter von WHO, IAEA und IRPA einen Überblick über Aufgaben und aktuelle Tätigkeiten ihrer Organisationen. Z. Carr (WHO, Schweiz), Koordinatorin des WHO-REMPAN-Netzwerks, berichtete über aktuelle Vorhaben des Netzwerks. F. Baciú (IAEA, Österreich) präsentierte die Arbeiten der IAEA und R. Czarwinski (Bundesamt für Strahlenschutz, Deutschland) stellte die Herausforderungen im Strahlenschutz aus Sicht der IRPA¹⁾ dar. Im zweiten Teil der ersten Sitzung stellten fünf neue Mitglieder des WHO-REMPAN-Netzwerks ihre Organisationen vor und gaben eine Einführung in ihre Arbeiten und Aufgaben:

- S. Widodo (Nationale Atomenergie-Organisation, Indonesien)
- B. Boustani (Nationales Amt für Strahlenschutz, Marokko)
- C. Murith (Bundesamt für Gesundheit, Schweiz)
- M. Y. Hamadalneel (Nukleare und radiologische Aufsichtsbehörde, Sudan)
- A. Hasegawa (Medizinische Universität Fukushima, Japan)

In den drei nachfolgenden Sitzungen wurde das Schwerpunktthema der Tagung, der kerntechnische Unfall in Fukushima, Japan, behandelt.

4.2.2 Unfall in Fukushima Daiichi: Erstmaßnahmen

Die zweite Sitzung war Erstmaßnahmen im Zusammenhang mit dem Nuklearunfall in Fukushima gewidmet. M. Akashi (Nationales Institut für Strahlenforschung, Japan) präsentierte die Organisationsstrukturen für die medizinischen Erstmaßnahmen. Danach gab K. Tanigawa (Universität Hiroshima, Japan) einen Überblick über Evakuierungsmaßnahmen und anschließend sprachen S. Yoshida (Nationales Institut für Strahlenforschung, Japan) über Maßnahmen zur Beschränkung von Nahrungsmitteln und Trinkwasser und N. Takamura (Universität Nagasaki, Japan) über die Bedeutung des Managements psychologischer Konsequenzen und die Kommunikation mit der Öffentlichkeit.

4.2.3 Unfall in Fukushima Daiichi: Dosis- und Risikoabschätzung

In der dritten Sitzung zur Dosis- und Risikoabschätzung befassten sich die Beiträge mit Ergebnissen japanischer und internationaler Arbeitsgruppen. Zunächst gab K. Kamiya (Universität Hiroshima, Japan) einen Überblick über Messungen und Dosisabschätzungen der internen und externen Exposition und K. Akahane (Nationales Institut für Strahlenforschung, Japan) berichtete über die Dosisrekonstruktion bei interner und externer Exposition. S. Suto (Nationales Institut für Strahlenforschung, Japan) stellte zytogenetische Analysen bei Aufräumarbeitern von TEPCO vor und M. Yoshida (Universität Hirosaki, Japan) sprach über die Entwicklung eines Analysesystems für Chromosomentranslokation zur Biodosimetrie bei Kindern der Stadt Namie. Anschließend stellten F. Gering (Bundesamt für Strahlenschutz, Deutschland) und S. Solomon (Australian Radiation Protection and Nuclear Safety Agency, Australien) in ihrem Vortrag die Dosisabschätzungen von WHO und UNSCEAR gegenüber; P. Jacob (Helmholtzzentrum, Deutschland) verglich die gesundheitlichen Risikoabschätzungen von WHO und UNSCEAR. Abschließend gab W. Weiss (Internationale Kommission für Strahlenschutz, Deutschland) einen Überblick über das Memorandum der ICRP-Arbeitsgruppe 84 zu Fragen des Strahlenschutzes während und nach dem Unfall in Fukushima.

¹⁾ International Radiation Protection Association

4.2.4 Unfall in Fukushima Daiichi: Mittel- und langfristige Maßnahmen

In der vierten Sitzung wurden mittel- und langfristige Maßnahmen nach dem Nuklearunfall in Fukushima vorgestellt. Über Nachsorgeprogramme für TEPCO-Arbeiter berichtete M. Akashi (Nationales Institut für Strahlenforschung, Japan). A. Ohtsuru (Medizinische Universität Fukushima, Japan) stellte die folgenden vier Untersuchungsprogramme zur Erfassung der Gesundheit der betroffenen japanischen Bevölkerung vor: Ultraschalluntersuchungen der Schilddrüse bei Kindern, Basis- und umfassende Gesundheitschecks, Untersuchungen zur psychischen Gesundheit und zu den Lebensgewohnheiten sowie Untersuchungen zu Schwangerschaft und Geburt. Zuletzt präsentierte K. Kodama (Forschungsinstitut für Strahlenwirkungen, Japan) Studiendesign, Einschränkungen und Erwartungen von prospektiven Langzeit-Follow-up-Untersuchungen.

4.2.5 Risikokommunikation

Die fünfte Sitzung begann mit einer Videopräsentation von G. Gamhewage (WHO-Hauptbüro, Schweiz) zur Rolle der Krisenkommunikation als Schlüssel für eine effektive Krisenbewältigung und zu den Erfordernissen der Internationalen WHO-Gesundheitsvorschriften (International Health Regulations). Es folgte ein Vortrag von N. Takamura (Universität Nagasaki, Japan) zur Kommunikation mit der Öffentlichkeit über Strahlenrisiken. Anschließend berichtete C. Lei (Chinesisches Zentrum für die medizinische Versorgung bei Strahlenunfällen, China) über eine Studie zur Akzeptanz der Kernenergie bei Bewohnern in der näheren Umgebung von Kernkraftwerken.

4.2.6 Notfallvorsorge - Konzepte und Kooperationen

In der sechsten Sitzung standen Konzepte zur Stärkung der Notfallvorsorge auf Länder- und regionaler Ebene durch Kooperation und technische Unterstützung im Mittelpunkt. F. Gering (Bundesamt für Strahlenschutz, Deutschland) informierte über NERIS (European Platform on Preparedness for Nuclear and Radiological Emergency Response and Recovery), eine europäische Initiative zur radiologischen Notfallvorsorge und -bewältigung. Z. Carr (WHO-Hauptbüro, Schweiz) erläuterte die südostasiatische Rahmenplanung zur Umsetzung der Internationalen Gesundheitsvorschriften (International Health Regulations) bezüglich chemischer und radiologischer Notfallvorsorge und -bewältigung. Danach berichtete C. Miller (Amerikanische Gesundheitsbehörde, USA) über vorläufige Ergebnisse einer WHO-Arbeitsgruppe zur Entwicklung neuer Leitlinien zu öffentlichen Gesundheitsfragen bei Strahlennotfällen. A. Jaworska (Norwegische Strahlenschutzbehörde, Norwegen) sprach über neue, skandinavische Leitlinien zu kurz- und mittelfristigen Schutzmaßnahmen bei Strahlennotfällen. Einen Überblick über Tätigkeiten im Rahmen des nuklearen Notfallmanagements der Nuclear Energy Agency (NEA) vermittelte B. Okyar (OECD Atomenergiebehörde, Frankreich). Die Aufgaben von Medizinphysikern in der Strahlenunfallvorsorge und -bewältigung stellte F. Nüsslin (Technische Universität München, Deutschland) vor. M. Krottmayer (Internationale Vereinigung vom Roten Kreuz, Schweiz) informierte über das radiologische und nukleare Vorsorgeprogramm der Internationalen Vereinigung vom Roten Kreuz.

4.2.7 Schilddrüse und Strahlung

Beiträge zum Thema Strahlung und Schilddrüse wurden in der siebten Sitzung präsentiert.

N. Takamura (Universität Nagasaki, Japan) gab eine Einführung in das Thema und berichtete über Ergebnisse eines internationalen Workshops zu Strahlung und Schilddrüse in Tokyo, Japan. Zum Thema Schilddrüsenkrebs nach Tschernobyl stellte D. Bazyka (Forschungszentrum für Strahlenmedizin, Ukraine) Follow-up-Untersuchungen von Schilddrüsenkrebspatienten zwei Jahrzehnte nach Tschernobyl vor; V. Kashcheev (Strahlenmedizinisches Forschungszentrum, Russland) stellte Schilddrüsenkrebs in Zusammenhang mit Erfahrungen aus Tschernobyl dar und leitete Prognosen für Fukushima ab. Die folgenden vier Vorträge befassten sich mit der Iodblockade der Schilddrüse: C. Reiners (Universitätsklinikum Würzburg, Deutschland) stellte aktuelle Fragen und Antworten zur Iodblockade der Schilddrüse zur Diskussion. H. Zeeb (Universität Bremen, Deutschland) präsentierte Ergebnisse eines systematischen Literaturreviews und der Überarbeitung der WHO-Leitlinie zur Iodblockade aus dem Jahr 1999. Die abschließenden beiden Vorträge behandelten nationale Vorgehensweisen bei der Iodblockade: I. Turai (Frederic Joliot-Curie Nationales Forschungsinstitut für Strahlenbiologie und Strahlenhygiene, Ungarn) gab eine Übersicht über die ungarische Strategie der Iodblockade vor dem Hintergrund internationaler Empfehlungen und L. Prosser (Gesundheitswesen England, Großbritannien) berichtete über den aktuellen Stand der Empfehlungen in Großbritannien.

4.2.8 Strahlenbiologie, Biodosimetrie - Forschung und Entwicklung

In der achten Sitzung wurden europäische und nordamerikanische Konzepte zur Forschung und Entwicklung in der Strahlenbiologie und Biodosimetrie gegenübergestellt. U. Kulka (Bundesamt für Strahlenschutz, Deutschland) erläuterte die Integration von RENE (Realizing the European Network of Biodosimetry) in die europäische Strahlenunfallvorsorge und -forschung und A. Cucu (Nationales Institut für Öffentliche Gesundheit, Rumänien) präsentierte den rumänischen Teil des RENE-Projekts. C. Li (Strahlenschutzbehörde, Ka-

nadisches Gesundheitswesen, Kanada) sprach über das Vorgehen bei interner Kontamination nach einem Strahlenunfall und P. Prasanna (Nationales Krebsinstitut, USA) über biodosimetrische Forschungs- und Entwicklungsprojekte in den USA.

Anlässlich der Verleihung der IAR(International Association of Radiopathology)-Auszeichnung an A. Wiley (REAC/TS, USA) sprach der Preisträger im Rahmen der J. Jammet-Gedächtnisvorlesung über den „Einsatz der klinischen Entscheidungsleitlinie als Hilfsmittel für das medizinische Management von Inkorporationen bei einem Massenansturm von Strahlenunfallpatienten“.

4.2.9 Training, Übung

Thema der neunten Sitzung waren WHO-REMPAN-Aktivitäten zur Stärkung der Strahlenunfallvorsorge durch Trainingsmaßnahmen, Übungen, die Entwicklung technischer Hilfsmittel und durch Informationsbereitstellung. Trainingsmaßnahmen für medizinisches Fachpersonal in Japan nach dem Unfall in Fukushima präsentierte M. Akashi (Nationales Institut für Strahlenforschung, Japan) und L. Stenke (Universitätsklinikum Stockholm, Schweden) berichtete über Lehren aus dem Unfall in Fukushima aus schwedischer Perspektive. N. Gent (Gesundheitswesen England, Großbritannien) stellte die Kooperation von WHO und Public Health England (Gesundheitswesen England) zur Unterstützung beim Aufbau leistungsfähiger Bewältigungsmaßnahmen von CBRN (Chemischen, Biologischen, Radio-Nuklearen)-Gefahren im Mittleren Osten vor. Ein Resümee der ConvEx 3 (Convention Exercise) Übung „Bab al Maghreb“ in Marokko zog B. Boustani (Nationales Amt für Strahlenschutz, Marokko). Anschließend präsentierte A. Kumagai (Medizinische Universität Fukushima, Japan) das medizinische Ausbildungsprogramm im Strahlenunfallmanagement der Medizinischen Universität Fukushima. In drei Vorträgen zur Strahlenunfallvorsorge sprach zuerst D. Bazyka (Forschungszentrum für Strahlenmedizin, Ukraine) über Lehren aus Tschernobyl zur Verbesserung der Strahlenunfallvorsorge in der Ukraine. Danach stellte S.-S. Lee (Koreanisches Institut für radiologische und medizinische Wissenschaften, Südkorea) das südkoreanische System für Strahlenunfallvorsorge und -management dar und F. Fehringer (Institut für Strahlenschutz, Deutschland) berichtete über die Rolle der Regionalen Strahlenschutzzentren in der Strahlenunfallvorsorge in Deutschland.

4.2.10 Behandlungskonzepte

Die Vorträge der zehnten Sitzung befassten sich mit Behandlungskonzepten der akuten Strahlenexposition. In seinem Review gab V. Meineke (Institut für Radiobiologie der Bundeswehr, Deutschland) einen Überblick über neue Konzepte und Herausforderungen im medizinischen Strahlenunfallmanagement. R. Powles (Parkside Krebszentrum, Großbritannien) stellte Erfahrungen des Nuclear Accident Committee (NAC) der European Society for Blood and Marrow Transplantation (EBMT) nach dem Unfall in Fukushima dar. A. Bushmanov (Burnsyan Staatliches Medizin-Biophysik-Zentrum, Russland) berichtete über zwei Fälle einer lokalen Strahlenverletzung durch Röntgenstrahlen und über die kombinierte Behandlung durch Mikrochirurgie und Stammzelltherapie. Einen Überblick über Programme des US-Gesundheitsministeriums (Health and Human Services (HHS)) zur Biodosimetrie und zu medizinischen Gegenmaßnahmen gab M. Homer (US-Gesundheitsministerium, USA). M. Digiorgio (Nukleare Aufsichtsbehörde, Argentinien) stellte die Anwendung von humanen mesenchymalen Stammzellen von Leichen für die Transplantation anhand eines Fallberichts dar. S. Widodo (Nationale Atomenergie-Organisation von Indonesien) referierte über die Prävention von Unfällen in der Strahlentherapie. A. Akleyev (Forschungszentrum für Strahlenmedizin im Ural, Russland) sprach über Reaktionen von normalem humanem Gewebe auf Bestrahlung und S. Akeksanin (Russisches Nikiforov-Zentrum für Notfall- und Strahlenmedizin, Russland) stellte Möglichkeiten des russischen Nikiforov-Zentrums für Notfall- und Strahlenmedizin vor. S. Kim (Forschungszentrum für Strahlengesundheit der Koreanischen Gesellschaft für Wasser- und Atomkraft, Südkorea) erläuterte den Notfallplan ihrer Organisation zur medizinischen Behandlung bei Strahlenunfällen. Abschließend sprach D. Cesar (Medizinischer Dienst der „Eletronuclear“, Brasilien) über die Rolle der „Eletronuclear Medical Assistance Foundation“.

4.2.11 Zusammenfassung und Verabschiedung

In der elften Sitzung fassten die Vorsitzenden der jeweiligen Sitzungen in einer Kurzpräsentation die Sitzungsergebnisse zusammen. In der Abschlussdiskussion wurden Lücken, offene Fragen, Herausforderungen und Möglichkeiten sowie Prioritäten und künftige Ziele des WHO-REMPAN-Netzwerks angesprochen und die Veröffentlichung eines Tagungsbandes für 2015 angekündigt. C. Murith (Bundesamt für Gesundheit, Schweiz) lud als künftiger Gastgeber zur nächsten 15. WHO-REMPAN-Tagung in Genf im Jahr 2017 ein.

5. ERGEBNISSE

Im Verlauf der 14. WHO-REMPAN-Tagung wurden viele der oben dargestellten gegenwärtigen national und international geführten Diskussionen im Bereich der Strahlenunfallvorsorge und des -managements thematisiert, Lösungsansätze aufgewiesen und Antworten auf offene Fragen gegeben.

Mit der Durchführung der 14. WHO-REMPAN-Tagung

- wurden neue Möglichkeit der Kooperation und der fachlichen Unterstützung aufgezeigt, die zur Stärkung der Strahlenunfallvorsorge und des Managements führen (Beteiligung und verstärkte Einbindung von internationalen Organisationen (International Atomic Energy Agency (IAEA), Nuclear Energy Agency (NEA), International Federation of Red Cross (IFRC)), Fachgesellschaften (International Radiation Protection Association (IRPA), International Organisation of Medical Physics (IOMP)) und nichtstaatlichen Organisationen (ICRP, European Group of Blood and Marrow Transplantation (EBMT), International Association of Radiopathology (IAR), Radiation Injury Treatment Network (RITN), European Platform on preparedness for Nuclear and Radiological Emergency Response and Recovery (NERIS) und Realizing the European Network of Biodosimetry (RENEB)).
- wurde durch die Vorstellung erster Studienergebnisse, Erfahrungen und neuester Publikationen zum kerntechnischen Unfall in Fukushima zur Verbesserung nationaler und internationaler Notfallschutzprogramme beigetragen.
- wurde die Rolle der Risikokommunikation für das Strahlenunfallmanagement hervorgehoben und gestärkt.
- wurden anhand der Erkenntnisse aus Tschernobyl und Fukushima Wissenslücken und weiterer Forschungsbedarf zum strahleninduzierten Schilddrüsenkarzinom aufgewiesen.
- wurde anhand neuester Entwicklungen und Forschungen im Bereich der biologischen Dosimetrie auf die Bedeutung von Kompetenznetzwerken hingewiesen.
- wurde die Bedeutung von Fortbildungen, Trainingsprogrammen und Übungen sowie des internationalen Wissens- und Informationsaustauschs als Grundpfeiler einer erfolgreichen Strahlenunfallvorsorge und -bewältigung aufgezeigt.
- wurde über Fortschritte und Grenzen des gegenwärtigen Notfallschutzes am Beispiel neuer Behandlungsmöglichkeiten und -erfolge und der Vorstellung aktueller Strahlenunfälle und ihrer medizinischen Bewältigung informiert.

In der 9. Ausgabe des WHO-REMPAN e-NEWSLETTER im Juli 2014 erschien ein Tagungsbericht.

Überregional erschien u. a. im Deutschen Ärzteblatt (Ärzteblatt.de, Donnerstag, 15. Mai 2014) eine Pressemeldung „Kontroverse um Strahlenschäden nach Fukushima“.

Zudem wurde über die Tagung in einer Pressemeldung „Internationale Strahlenunfall-Experten trafen sich in Würzburg“ regional u. a. im Magazin „Klinikum und Wir“ des Universitätsklinikums Würzburg (Ausgabe 2, 2014) berichtet.

Die Veröffentlichung der Präsentationen in einem Tagungsband ist in Vorbereitung und soll in der Zeitschrift Radiation Protection Dosimetry ca. Mitte 2015 erscheinen.

6. UMSETZUNG DER ERGEBNISSE

In den „Rahmenempfehlungen für den Katastrophenschutz in der Umgebung kerntechnischer Anlagen“ (s. GMBI 1999, Nr. 28/29, S. 538 - 587) wird auf die „Ärztliche Betreuung und Versorgung“ eingegangen (s. Abschnitt D.12).

Demnach sind Voraussetzungen zu schaffen, um bei einem kerntechnischen Unfall diejenige ärztliche Kompetenz bzw. Institution gebündelt verfügbar zu machen, die notwendig ist, um Patienten nach einer außergewöhnlichen Strahlenexposition in der Bundesrepublik Deutschland rasch sachgerecht ärztlich betreuen zu können. In diesem Zusammenhang wird auch auf die Empfehlung der Strahlenschutzkommission zu „Maßnahmen zur Organisation und Optimierung der medizinischen Versorgung von Strahlenunfall-Patienten in der Bundesrepublik Deutschland“ verwiesen (Juli 2002).

Die Ergebnisse des Forschungsvorhabens tragen zum Schutz der Bevölkerung vor radiologischen Ereignissen und zur bestmöglichen Vorbereitung der organisatorischen und inhaltlichen Bewältigung von Notfallsituationen bei.

Themenbereich 07

Vorhaben mit allgemeiner Bedeutung für den Strahlenschutz

Subject area 07

Projects of general importance to radiation protection

Thema			
Überarbeitung von technischen Strahlenschutznormen aus dem Bereich des Normenausschusses Materialprüfung (NMP) - Los 1			
Subject			
<i>Revision of technical radiation protection standards from the area of the Materials Testing Standards Committee (NMP) - Batch 1</i>			
Kennzeichen	Beginn	Ende	Fördermittel
3611S20005	01.09.2011	31.08.2014	EUR 210.011,-
Forschungs- / Auftragnehmer			
DIN Deutsches Institut für Normung e. V., Berlin			
Projektleitung	Fachbetreuung BfS	verantwortlich für den Text	
V. Seibicke	Häusler/ AG-SG 2.6	M. Treige	

1. ZIELSETZUNG

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

2. EINZELZIELSETZUNG

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

- DIN¹⁾ 25415-1, Dekontamination von radioaktiv kontaminierten Oberflächen; Verfahren zur Prüfung und Bewertung der Dekontaminierbarkeit
- DIN 25466, Radionuklidabzüge - Regeln für die Auslegung und Prüfung
- Normen der Reihe DIN 25407, Abschirmwände gegen ionisierende Strahlung
- DIN 25430, Sicherheitskennzeichnung im Strahlenschutz
- Normen der Reihe DIN 25412, Laboreinrichtungen, Handschuhkästen
- Normen der Reihe DIN 25413, Klassifikation von Abschirmbetonen nach Elementanteilen
- DIN 25401-8, Begriffe der Kerntechnik - Teil 8: Strahlenschutz
- DIN 25401-9, Begriffe der Kerntechnik - Teil 9: Entsorgung.

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

3. METHODIK

Die zu prüfenden Normen werden entweder existierenden Arbeitsausschüssen des DIN Normenausschuss Materialprüfung (NMP) zugeordnet oder es werden neue Arbeitsausschüsse im NMP gegründet.

Die Mitarbeiter der Arbeitsausschüsse überprüfen unter der Leitung des DIN-Bearbeiters die Normtexte hinsichtlich Stand 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 4 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 DIN-Arbeitsausschuss eingereicht und als Norm veröffentlicht.

¹⁾ Deutsche Industrie Norm

Um die Mitarbeit von deutschen Experten in internationalen Normungsgremien (IEC¹, ISO²) und den entsprechenden Arbeitsausschüssen sicherzustellen, werden vom DIN e. V. die dazu erforderlichen Spiegelgremien eingerichtet, in denen die Dokumente der ISO/IEC verteilt, entsprechende Stellungnahmen erarbeitet und an ISO/IEC weitergeleitet werden. Seit Mitte 2012 nehmen deutsche Experten auch an den ISO-Sitzungen teil.

4. DURCHFÜHRUNG

Das Vorhaben wurde in folgenden Schritten durchgeführt:

- Die Normen wurden den folgenden Arbeitsausschüssen zugeordnet:
 - DIN 25415-1 NA 062-07-63 AA „Radionuklidlaboratorien“
 - DIN 25466 NA 062-07-63 AA „Radionuklidlaboratorien“
 - DIN 25407NA 062-07-62 AA „Strahlenschutzeinrichtungen“
 - DIN 25430NA 062-07-61 AA „Terminologie und Grundlagen“
 - DIN 25412NA 062-07-62 AA „Strahlenschutzeinrichtungen“
 - DIN 25413NA 062-07-34 AA „Abschirmungen“
 - DIN 25401-8, -9NA 062-07-61 AA „Terminologie und Grundlagen“.
- Die Arbeitsausschusssitzungen wurden durchgeführt (bis zu 4 Termine pro Jahr) und die vergebenen Aufgaben nachverfolgt. Je nach Beschluss wurden Vorlagen für die Überarbeitung erstellt und dann als Manuskript zum Norm-Entwurf verabschiedet. In der Geschäftsstelle erfolgte dann die Drucklegung der Texte und Veröffentlichung als Norm-Entwurf. Auf den Sitzungen der Arbeitsausschüsse wurden die internationalen Themen besprochen und in die Normüberarbeitung mit einbezogen.
- Nach Ablauf der Einspruchsfrist wurde die Einspruchsverhandlung durchgeführt. Nach Behandlung aller Einsprüche wurde eine Vorlage zur Norm erstellt und als Manuskript zum Druck als Norm verabschiedet. In der Geschäftsstelle erfolgte die Schlussbearbeitung und Drucklegung/Veröffentlichung als Norm.

5. ERGEBNISSE

5.1 DIN 25415-1 „DEKONTAMINATION VON RADIOAKTIV KONTAMINIERTEN OBERFLÄCHEN; VERFAHREN ZUR PRÜFUNG UND BEWERTUNG DER DEKONTAMINIERBARKEIT“

DIN 25415-1:1988-08 entsprach nicht mehr dem Stand der Technik und wurde überarbeitet. Da die Normenreihe keine weiteren Teile hat, wurde DIN 25415-1 in DIN 25415 umbenummert und der Titel dem Inhalt der Norm angepasst, um zu betonen, dass nicht ein Verfahren zur Dekontamination festgelegt wird, sondern ein Verfahren zur Prüfung der Dekontaminierbarkeit. Der Titel lautet nun: Radioaktiv kontaminierte Oberflächen - Verfahren zur Prüfung und Bewertung der Dekontaminierbarkeit.

Weitere wichtige Änderungen waren z. B.:

- die zu verwendenden Geräte wurden überprüft und erweitert
- ein Abschnitt über die Herstellung von Kontaminationslösungen durch Neutronenaktivierung wurde eingefügt
- die Kennzeichnung des Prüfkörpers durch Einkratzen einer Markierung auf der Rückseite jedes einzelnen Prüfkörpers wurde gestrichen.

Die Überarbeitung ist abgeschlossen. Die Norm ist mit Ausgabe November 2012 erschienen.

5.2 DIN 25466 „RADIONUKLIDABZÜGE - REGELN FÜR DIE AUSLEGUNG UND PRÜFUNG“

DIN 25466:1995-10 entsprach nicht mehr dem Stand der Technik und wurde überarbeitet. Wichtige Änderungen waren z. B.:

- typische Aufbauten wurden ergänzt

¹) International Electrotechnical Commission

²) International Organization for Standardization

- Filterklassen wurden aktualisiert
- Verweisungen für die Ausmessung wurden aktualisiert.

Die Überarbeitung ist abgeschlossen. Die Norm ist mit Ausgabe August 2012 erschienen.

5.3 NORMEN DER REIHE DIN 25407

5.3.1 DIN 25407-1 „Abschirmwände gegen ionisierende Strahlung - Teil 1: Bausteine“

DIN 25407-1:1993-04 wurde im Rahmen der Überarbeitung anderer Normen überprüft und überarbeitet. Die Norm ist mit Ausgabe 2011-06 erschienen. Die Änderung der StrlSchV und weitere Änderungen im Normenbestand des DIN und des KTA¹⁾-Regelwerks machten eine erneute Überprüfung notwendig. Diese wurde auf der Sitzung des NA²⁾ 062-07-62 AA³⁾ am 27. März 2012 durchgeführt. Die Norm wurde als Stand der Technik bestätigt.

5.3.2 DIN 25407-2 „Abschirmwände gegen ionisierende Strahlung - Teil 2: Spezielle Bauelemente für Abschirmwände aus Blei“

DIN 25407-2:1993-05 wurde im Rahmen der Überarbeitung anderer Normen überprüft und überarbeitet. Die Norm ist mit Ausgabe 2011-07 erschienen. Die Änderung der StrlSchV und weitere Änderungen im Normenbestand des DIN und des KTA-Regelwerks machten eine erneute Überprüfung notwendig. Diese wurde auf der Sitzung des NA 062-07-62 AA am 27. März 2012 durchgeführt. Die Norm wurde als Stand der Technik bestätigt.

5.3.3 DIN 25407-3 „Abschirmwände gegen ionisierende Strahlung - Teil 3: Errichtung von Heißen Zellen aus Blei“

DIN 25407-3 und das zugehörige Beiblatt wurden im Rahmen der Überarbeitung anderer Normen überprüft und überarbeitet. Die Überarbeitung ist abgeschlossen. Die wichtigsten Änderungen sind:

- die Norm wurde an die Überarbeitung von DIN 25407-1 und DIN 25407-2 angepasst
- die Filterung wurde geändert
- der Oberflächenschutz wurde angepasst
- Tabelle 2 wurde an die überarbeitete StrlSchV angepasst.

DIN 25407-3 ist mit Ausgabe November 2012 erschienen. Das zu den Normen der Reihe DIN 25407 gehörende Beiblatt DIN 25407 wurde ebenfalls überarbeitet und ist mit Ausgabe November 2012 erschienen.

5.4 DIN 25430 „SICHERHEITSKENNZEICHNUNG IM STRAHLENSCHUTZ“

DIN 25430:1991-02 entsprach nicht mehr dem Stand der Technik und wurde überarbeitet. Im Rahmen der Überarbeitung wurde DIN 25400 „Zeichen für ionisierende Strahlung“ in DIN 25430 integriert, um damit Doppelfestlegungen zum Zeichen für ionisierende Strahlung zu vermeiden. Die Überarbeitung ist abgeschlossen. Die wichtigsten Änderungen waren:

- der Inhalt der DIN 25400 "Zeichen für ionisierende Strahlung" wurde in DIN 25430 übernommen
- die Norm wurde an ISO 361 angepasst.

Die Norm ist mit Ausgabe Juli 2012 erschienen. DIN 25400:1991-02 ist damit zurückgezogen.

5.5 NORMEN DER REIHE DIN 25412 „LABOREINRICHTUNGEN - HANDSCHUHKÄSTEN“

Die Normen der Reihe DIN 25412 wurden überprüft und es wurde festgestellt, dass diese nicht mehr dem Stand der Technik entsprechen. Im Ausschuss wurde eine Arbeitsgruppe gebildet, die unter Einbeziehung der entsprechenden ISO-Norm ISO 10648-2 „Sicherheitsbehälter - Teil 2: Klassifizierung nach Leckdichte und damit verbundene Prüfmethode“ einen Vorschlag für die Überarbeitung erstellen sollte. Die Anfang 2013 gegründete Arbeitsgruppe zur Überarbeitung der DIN 25412-1 und -2 hat sich mehrmals getroffen und die wesentlichen Punkte für die Überarbeitung zusammengestellt. Auf der 12. Sitzung des NA 062-07-62 AA am 10.10.2013 wurde beschlossen beide Normen zu überarbeiten, wobei nicht nur ISO 10648-2 einfließen sollte sondern auch berücksichtigt werden musste, dass die überarbeiteten Normen dann auch für die neu entste-

¹⁾ kerntechnischer Ausschuss

²⁾ Normenausschuss

³⁾ Arbeitsausschuss

hende Norm zu Prozesszellen (DIN 25408, Anforderungen an Prozesszellen für den Umgang mit radioaktiven Stoffen) gelten soll. Des Weiteren wurde ein Beiblatt zu DIN 25412 erarbeitet, um Beispiele für Zusatzausrüstungen zu geben. Die ausgearbeiteten Dokumente wurden zur Kommentierung im Ausschuss zirkuliert und zum Entwurf verabschiedet. Die Entwürfe zu DIN 25412-1, DIN 25412 Beiblatt 1 und DIN 25412-2 sind als Entwurf (Ausgabe 2015-01) erschienen und werden im Lauf des Jahres 2015 als Normen veröffentlicht. Die wichtigsten Änderungen werden sein:

- der Anwendungsbereich wurde überarbeitet, Handschuhkasten wurde genauer definiert
- eine Abgrenzung von der Grundform zur anwendungsbezogenen Form wurde eingeführt
- die Materialauswahl für die Komponenten der Handschuhkästen in Abschnitt 5 wurde aktualisiert
- ein neuer Abschnitt 7 mit Dichtheitsanforderungen wurde eingeführt
- weitere mögliche Abmessungen für Grundausrüstungen wurden eingeführt
- ein neuer Abschnitt 11 mit einem Hinweis bezüglich Brandschutzmaßnahmen wurde eingeführt
- ein neuer Abschnitt 13 hinsichtlich Kennzeichnung und Dokumentation wurde aufgenommen
- ein Abschnitt 14 zu Prüfung und Instandhaltung wurde aufgenommen.

5.6 NORMEN DER REIHE DIN 25413 „KLASSIFIKATION VON ABSCHIRMBETONEN NACH ELEMENTANTEILEN“

Die Normen der Reihe DIN 25413 wurden überprüft und es wurde festgestellt, dass diese nicht mehr dem Stand der Technik entsprechen und überarbeitet werden müssen. Die Überarbeitung ist abgeschlossen. Die wichtigsten Änderungen waren:

- die bisher verwendeten Begriffe wurden an DIN EN 206-1 angepasst
- die Begriffe Rohdichte und Trockenrohddichte wurden eingeführt
- einige Werte in den Tabellen wurden geändert.

DIN 25413-1 und DIN 25413-2 sind mit Ausgabe April 2013 erschienen.

5.7 DIN 25401-8 „BEGRIFFE DER KERntechnik - TEIL 8: STRAHLENSCHUTZ“ UND DIN 25401-9 „BEGRIFFE DER KERntechnik - TEIL 9: ENTSORGUNG“

Bei der Überprüfung von DIN 25401-8 und DIN 25401-9 wurde festgestellt, dass die Begriffe nicht dem Stand der Technik entsprechen und auch an die internationale Entwicklung angepasst werden müssen. Die Begriffe wurden angepasst, veraltete Begriffe gestrichen und dabei das KTA-Regelwerk und die internationale Normung so weit wie möglich berücksichtigt. Da die Begriffssammlung zur Kerntechnik umfangreich ist - sie umfasst mit allen Teilen der DIN 25401 etwa 960 Begriffseintragungen (davon etwa 200 für die Teile 8 und 9) auf insgesamt etwa 150 Seiten -, wurde eine Veröffentlichung auf CD beschlossen, um eine bessere Anwendbarkeit zu ermöglichen. Ein entsprechender Antrag wurde von der Geschäftsleitung des DIN genehmigt. Auf Grund der Änderung des Regelwerks zur Erstellung von Begriffsnormen in Anpassung an ISO 10241-1 und einigen Änderungen in den im Text zitierten Grundlegendendokumenten mussten beide Manuskripte noch einmal aufwändig überarbeitet werden. Die CD wird mit Ausgabe Februar 2015 erscheinen.

6. UMSETZUNG DER ERGEBNISSE

Im Verlauf des Forschungsvorhabens 3611S20005 wurden mehrere für den Strahlenschutz bedeutsame Normen überarbeitet und nach Abstimmung der jeweiligen Entwürfe wieder veröffentlicht. Normen sind sowohl für Anwender wie auch für betroffene Behörden bei der Umsetzung des Strahlenschutzes in der Praxis der Genehmigung und Aufsicht von entscheidender Bedeutung. Durch das Forschungsvorhaben wird somit ein wesentlicher Beitrag zur Gewährleistung des Standes von Wissenschaft und Technik bei der Nutzung von Vorrichtungen, die den Anforderungen der StrlSchV bzw. RöV unterliegen, geleistet.

Bislang hat sich im Rahmen der überarbeiteten Normen noch keine Erkenntnis ergeben, die eine Anpassung der gesetzlichen Grundlagen erforderlich machen würde. Da noch nicht alle den Strahlenschutz betreffenden Normen überarbeitet werden konnten, wird die Thematik im Forschungsvorhaben 3614S70005 fortgeführt.

Thema			
Bestimmung von Nuklidvektoren und Verteilung von Masse und Aktivität als Funktion der Aerosolpartikeldurchmesser in der Fortluft bei im Rückbau befindlichen kerntechnischen Anlagen			
Subject			
<i>Determination of nuclide vectors and distribution of mass and activity as a function of the aerosol particle diameter in the exhaust air of nuclear facilities in decommissioning</i>			
Kennzeichen 3611S70018	Beginn 01.06.2012	Ende 31.05.2014	Fördermittel EUR 223.644,-
Forschungs- / Auftragnehmer TÜV SÜD Industrie Service GmbH, München			
Projektleitung Dr. R. Schütz	Fachbetreuung BfS Dr. C. Strobl / SW 1.4		verantwortlich für den Text Dr. R. Schütz

1. ZIELSETZUNG

Zur Bestimmung der Aktivitätsableitungen von kerntechnischen Anlagen werden der Kaminfortluft mit Hilfe von Probenentnahmeeinrichtungen repräsentative Teilluftströme entnommen und Sammel- bzw. Überwachungseinrichtungen zugeführt. In den Entnahmesonden und den Transportleitungen werden jedoch Aerosolpartikel, abhängig von ihrer Größe, teilweise abgeschieden. Damit gelangt derjenige Teil der Radionuklide, der an diese Aerosolpartikel gebunden ist, nicht zu den Sammel- und Messeinrichtungen. Um eine Unterschätzung der Ableitungswerte zu vermeiden, müssen deshalb entsprechende Korrekturfaktoren ermittelt und bei der Bilanzierung berücksichtigt werden. Zur Berechnung dieser Faktoren sind Kenntnisse über die Größenverteilung der Aerosolpartikel und partikelgrößenabhängige Abscheideverluste und Aktivitäten für einzelne Radionuklide erforderlich. Für den Normalbetrieb von kerntechnischen Anlagen wird dieser Sachverhalt durch wiederkehrende Prüfungen untersucht. Dahingegen sind bei Rückbaumaßnahmen deutliche Abweichungen sowohl in Hinblick auf Nuklidvektoren als auch auf die Verteilung der Aerosolpartikeldurchmesser gegenüber dem Normalbetrieb zu erwarten.

Das Ziel des Forschungsvorhabens war sowohl die Durchführung einer Literaturstudie als auch einer experimentellen Pilotstudie. Diese Pilotstudie sollte insbesondere die experimentelle Bestimmung der Größenverteilung und der nuklidbezogenen Aktivitätsverteilungsdichte von Aerosolpartikeln in der Gesamtfortluft sowie in Teilabluftsträngen von einer im Rückbau befindlichen kerntechnischen Anlage beinhalten. Von diesem Teil der Zielsetzung wurde in Bezug auf die zu beprobenden Luftstränge in Abstimmung mit dem BfS (Bundesamt für Strahlenschutz) im Verlauf des Vorhabens abgewichen, wie im Folgenden näher erläutert wird. Ein weiteres Ziel des Forschungsvorhabens war die rechnerische Ermittlung des Verlustfaktors für das verwendete Probenentnahmesystem der Fortluftüberwachung.

2. EINZELZIELSETZUNG

Die übergeordnete Zielsetzung des Vorhabens wurde durch die Bearbeitung der nachstehenden Einzelziele umgesetzt.

- Es fanden bei insgesamt fünf Kampagnen in einer im Rückbau befindlichen kerntechnischen Anlage sowohl direkte Messungen von Aerosolpartikeln als auch die Sammlung mit einem Impaktor statt. Auf Grund der geringen nachgewiesenen Partikelanzahlkonzentration während der ersten drei Kampagnen wurde in einem Gespräch mit dem BfS abgestimmt, auf die Messungen in der Gesamtfortluft zu verzichten, da ein Einfluss der bei den Zerlegetätigkeiten entstandenen Partikel auf die Partikelverteilung in der Fortluft nicht nachweisbar gewesen wäre. Stattdessen wurde vereinbart, zusätzliche Messungen in der Raumluft durchzuführen. Dieser Teil des Forschungsvorhabens wurde vom Fraunhofer-Institut für Toxikologie und Experimentelle Medizin (FhG-ITEM), Arbeitsgruppe Aerosoltechnologie, durchgeführt.
- Die gesammelten Partikel wurden chemisch (FhG-ITEM) und radiologisch analysiert und die gemessenen Nuklidaktivitäten wurden den Partikelgrößen zugeordnet.
- Ergänzend zu den Partikeluntersuchungen wurde der Verlustfaktor des in der Anlage verwendeten Probenentnahmesystems berechnet.

3. METHODIK

3.1 DIREKTE MESSUNG UND SAMMLUNG DER PARTIKEL

Die Bestimmung der Anzahl- bzw. Massenverteilung als Funktion des Aerosolpartikeldurchmessers wurde mit direkten und indirekten Methoden durchgeführt. Da wegen der vorhandenen Filterung (Einhausung mit Umluftbetrieb und lokale, temporäre Filterung sowie festinstallierte Filterung der Gesamtfortluft) keine sehr großen Partikel zu erwarten waren, wurde eine Messung von Partikeln bis zu einem aerodynamischen Äquivalentdurchmesser von ca. 100 µm durchgeführt. Die direkten, zeitaufgelösten Messungen erfolgten mit zwei optischen Partikelzählern: Ein Aerosolspektrometer (Grimm Technologies Inc., Airing, Model 1.109) wurde für Messungen von Partikeln zwischen 0,28 µm und 32 µm, aufgeteilt in 32 Größenklassen mit einer zeitlichen Auflösung von einer Minute und einem Sammelvolumenstrom von 1 l/min, verwendet. Ein Laseraerosolspektrometer (LASAIR 550, PMT, Heimsheim) diente der Erfassung von Partikeln mit Durchmessern größer als 3 µm. Dieses Gerät hatte einen höheren Sammelvolumenstrom von 28 l/min. Abgedeckt wurden die Größenklassen: 3 µm - 5 µm, 5 µm - 10 µm, 10 µm - 20 µm, 20 µm - 30 µm, 30 µm - 50 µm und 50 µm - 100 µm. Darüber hinaus wurden mit einem sechsstufiger Kaskadenimpaktor Partikel mit einem Volumenstrom von 19 m³/h, aufgeteilt in sechs aerodynamischen Größenklassen (< 0,4 µm, 0,4 µm - 1 µm, 1 µm - 2,5 µm, 2,5 µm - 10 µm, 10 µm - 30 µm, > 30 µm), gesammelt.

3.2 CHEMISCHE ANALYSE DER IMPAKTORFILTER

Die Bestimmung der freigesetzten Elemente, die auf den Impaktorfiltern gesammelt wurden, erfolgte unter Verwendung eines Quadrupol ICP-MS-Systems vom Typ X-Series II (Fa. Thermo Scientific). Das System arbeitet dabei unabhängig vom Analyten (Multielementbestimmung) und ist überwiegend matrixunabhängig, d. h. unabhängig vom Elementgehalt der Proben konnten identische Kalibrierfunktionen eingesetzt werden, was z. B. bei variabler Probenverdünnung von Vorteil ist. Zur Kompensation von apparativen Schwankungen der Signalintensität wurden jeweils 10 ng/ml Lutetium als interner Standard zu Proben, Standardlösungen und Verfahrensblindwerten addiert.

3.3 NUKLIDSPEZIFISCHE AKTIVITÄTSVERTEILUNG

Die Impaktor-Proben wurden im akkreditierten Messlabor der TÜV SÜD Industrie Service GmbH in München auf radioaktive Schwebstoffe untersucht. Es wurden zunächst gammaspektrometrische Messungen der je sechs Filterproben einer Kampagne auf einem nuklidspezifischen Messplatz mit einem Reinstgermanium-Detektor mit einer relativen Nachweiswahrscheinlichkeit von 30 % gemacht. Eine Nachweisgrenze für Cs-137 von 0,1 Bq/Probe wurde bei den Messungen angestrebt. Im Falle einer Aktivität bei der gammaspektrometrischen Messung über der Nachweisgrenze wurde nach einem abgestuften Vorgehen, wie mit dem BfS vereinbart, anschließend eine Gesamtalpha- und Gesamtbeta-Messung der entsprechenden Filterprobe durchgeführt. Diese Messung erfolgte über einen Zeitraum von einer Stunde auf einem 10fach-Schälchen-Messplatz (LB 770 der Fa. Berthold).

3.4 RECHNERISCHE BESTIMMUNG DER ROHRFAKTOREN

Die Verlustfaktoren für die zur Bilanzierung bzw. Emissionsüberwachung eingesetzten Probenentnahmesysteme unter Berücksichtigung der wesentlichen Abscheideverluste durch Sedimentation, Impaktion und Turbulenz wurden rechnerisch ermittelt. Dazu wurde das Berechnungsmodell gemäß DIN ISO 2889, Beiblatt 3, verwendet.

4. DURCHFÜHRUNG

Die Untersuchungen zur nuklidspezifischen Aktivitätsverteilung und der Elementverteilung wurden in einem im Rückbau befindlichen Kernkraftwerk durchgeführt. Es wurden insgesamt 5 Messkampagnen durchgeführt (Tabelle 1), an deren Ende die Filter bzw. Abscheidemedien des Impaktors jeweils ausgetauscht wurden.

Tabelle 1: Messkampagnen im Kraftwerk

Kampagne	Zeitraum	Probenahmeort	Tätigkeiten
1	22.10.–30.10.2013	Im Reaktorgebäude/Kontrollbereich aus der Abluft eines Filtermobils	Dekontamination von Bauteilen: Abwaschen, Absprühen
2	30.10.–19.11.2013		Zerlegearbeiten
3	19.11.–06.12.2013		
4	11.12.–20.12.2013	Direkt aus der Raumluft im Reaktorgebäude	
5	26.03.–06.04.2014	Über Schlauch direkt aus der Raumluft eines Zerlegeraums	Zerlegung gering kontaminierter Bauteile

Während der ersten drei Messkampagnen wurden Reinigungs- und Zerlegearbeiten beprobt, die auf Grund einer erhöhten Oberflächenkontamination der Bauteile innerhalb einer Einhausung stattfanden. Die Probenentnahme erfolgte isokinetisch über eine flexible Schlauchverbindung aus der Abluft des an die Einhausung angeschlossenen Filtermobils. Das Filtermobil war mit einem zweistufigen Filtersystem der Filterklasse F6 und H13 ausgestattet und die Penetration beträgt im ungünstigsten Partikelgrößenbereich $P = 5 \cdot 10^{-5}$.

Weil während der ersten drei Kampagnen eine geringe Partikelanzahl gesammelt wurde, wurde in einem Gespräch mit dem BfS abgestimmt, auf die Messungen in der Gesamtfortluft zu verzichten. Ein Hauptgrund hierfür war, dass ein Einfluss der bei den Zerlegetätigkeiten entstandenen Partikel auf die Partikelverteilung in der Fortluft nicht nachweisbar gewesen wäre. Stattdessen wurde vereinbart, zusätzliche Messungen in der Raumluft durchzuführen.

Bei der anschließenden vierten Messkampagne wurde Luft, die zu gewissen Zeiten mit Staub aus dem allgemeinen Rückbaugeschehen kontaminiert war, direkt aus dem Reaktorgebäude entnommen. Die Probenentnahme erfolgte über einen Ringspalt, der anstelle des Schlauchadapters auf das Ansaugrohr des Impaktors gesetzt wurde.

Bei der fünften Kampagne wurden Zerlegearbeiten von Komponenten mit geringer Oberflächenkontamination beprobt. Die Arbeiten fanden im Gebäudesumpf des Reaktorgebäudes statt. Eine Einhausung war nicht erforderlich. Die kontaminierte Luft wurde über die normale Gebäudeentlüftung abgesaugt. Die Beprobung erfolgte durch die Sammelgeräte im Dampferzeugervorraum oberhalb des Zerlegungsraumes über einen ca. 3 m langen Schlauch.

5. ERGEBNISSE

5.1 DIREKTE MESSUNGEN

Die Ergebnisse der Messungen hinter dem Filtermobil sind in Abbildung 1 beispielhaft für die zweite Kampagne dargestellt. Aufgetragen ist die Konzentration aller Partikel größer als $0,28 \mu\text{m}$, der unteren Erfassungsgrenze des Grimm-Partikelzählers. Die Anzahlkonzentration ist mit Werten von weniger als 10 Partikel pro Liter sehr gering. Die Anzahlkonzentration von Partikeln vergleichbarer Größe ist in der normalen Außenluft mehrere Größenordnungen höher.

Während der Zerlegearbeiten wurden in gewissen Zeiträumen erhöhte Konzentrationen gemessen. Eine Zuordnung der Konzentrationsspitzen zu durchgeführten Zerlegearbeiten konnte zumeist über einen direkten Zusammenhang gemacht werden. Die gemessenen Partikel beschränken sich auf den Bereich von Durchmessern kleiner 1 Mikrometer, wie es im Bildeinsatz in Abbildung 1 deutlich wird. Nach Abschluss der Zerlegearbeiten während Kampagne 4 wurde die Probenentnahme am Standort der Messgeräte bis Ende Dezember 2013 fortgesetzt. Es wurde folglich die „normale“ Luft im Dampferzeugervorraum im Reaktorgebäude beprobt. Grobstaubablagerungen auf den Oberflächen am Standort wiesen auf stauberzeugende „kalte“ Rückbauarbeiten während des Probenentnahmezeitraums hin.

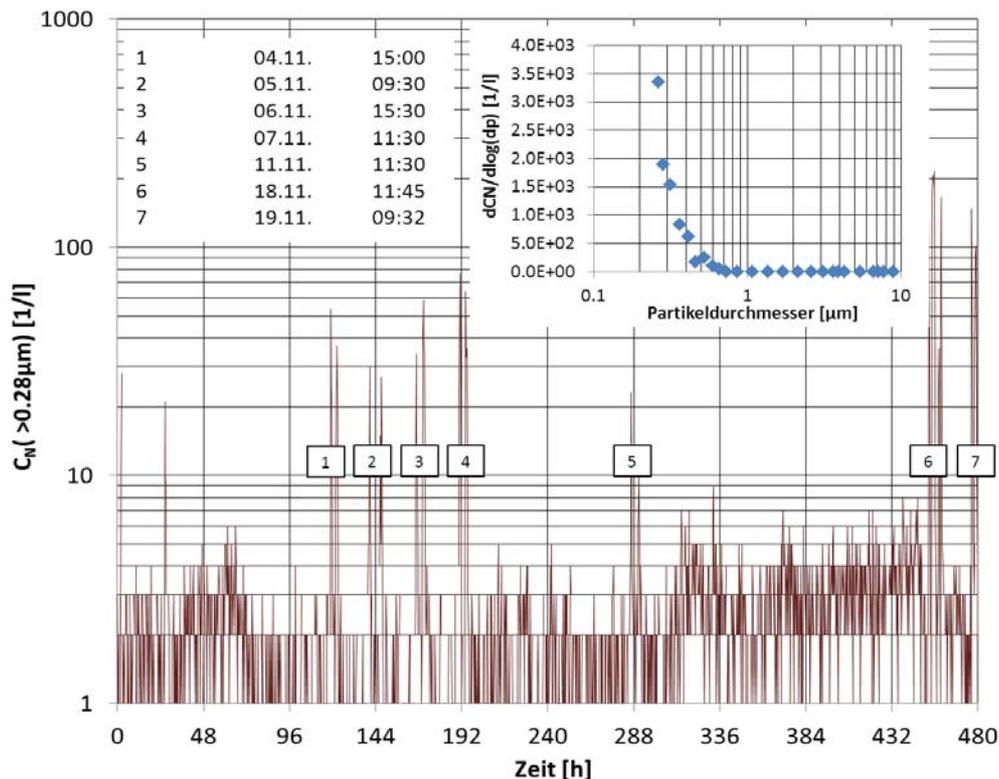


Abbildung 1: Partikelanzahlkonzentration C_N (in 1/l) und typische Größenverteilung für Partikel mit einem Durchmesser von größer als 0,28 μm während Kampagne 2

Die Anzahlkonzentration wird von den kleineren Partikeln dominiert. Eine weitere Analyse ergab, dass sich die zeitlichen Verläufe der Grobpartikelmodi und der Gesamtheit der Aerosolpartikel erheblich unterschieden. Die Spitzenwerte mit maximal ca. $100 \mu\text{g}/\text{m}^3$ der Massenkonzentration sind durch die größeren Partikeln bestimmt und vermutlich auf Stemm- und Bohrarbeiten an Beton zurückzuführen.

5.2 ANALYSE DER IMPAKTORFILTER

5.2.1 Chemische Analyse der Impaktorfilter

Auf den Probennahmefiltern der ersten drei Kampagnen konnte kein elementspezifischer Nachweis der Belegung geführt werden. Auf Grund der guten Filterwirkung des Filtermobils führte die Langzeitprobenentnahme trotz des hohen Luftprobenvolumens von bis zu 7600 m^3 zu keiner nennenswerten Akkumulation an Masse. Während Kampagnen 4 und 5 war die Massenbelegung deutlich höher. Die Probenluftvolumina betragen 4560 m^3 für Kampagne 4 und 5472 m^3 für Kampagne 5. Die Konzentrationsangaben in Abbildung 2 beziehen sich auf die reinen Elemente. Die Elemente Calcium, Eisen und Zink haben die höchsten Konzentrationen. Bis auf Blei und Barium, deren Nennung in Abbildung 2 für Kampagne 4 und Kampagne 5 vertauscht wurde, ist die Reihenfolge der Beiträge der Elemente für beide Messkampagnen gleich. Die Zerlegearbeiten in Kampagne 5 spiegeln sich in der chemischen Zusammensetzung der Aerosolproben nicht unmittelbar wider. In der relativen Zusammensetzung ist nur Beryllium (Be) während Kampagne 5 mit mehr als einem Faktor 2 gegenüber Kampagne 4 erhöht, während die relativen Beiträge der Elemente Barium (Ba), Rubidium (Rb), Cobalt (Co) und Natrium (Na) bei Kampagne 4 größer sind.

5.2.2 Bestimmung der nuklidspezifischen Aktivitätsverteilung

Die Analyse der Impaktorfilter aus den Kampagnen 1 bis 3 ergab, dass die Filterung der Abluft aus luftkontaminierten Bereichen dazu führte, dass keine Aktivität über der Nachweisgrenzen (für Cs-137 $0,1 \text{ Bq}/\text{Probe}$) gefunden wurde. Gemäß dem abgestuften Vorgehen wurden für diese Kampagnen keine Gesamtalpha- und Gesamtbeta-Messungen durchgeführt.

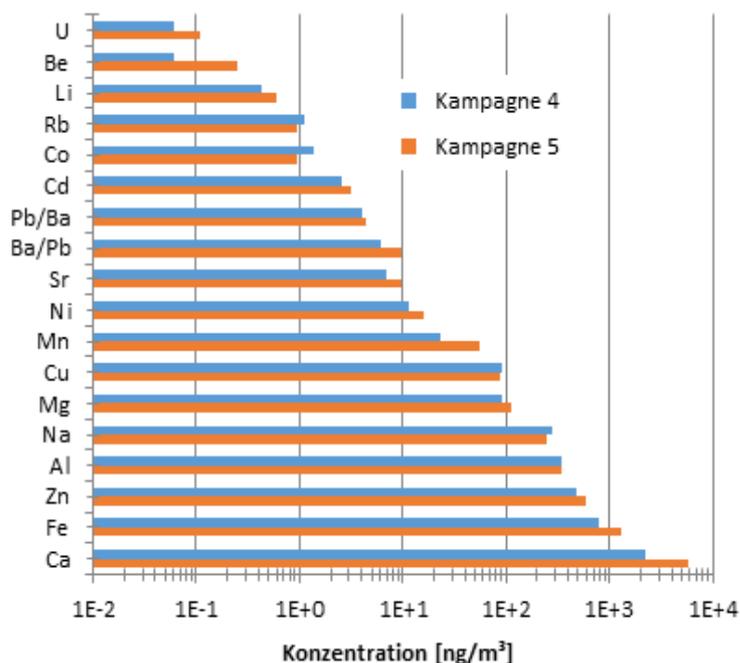


Abbildung 2: Massenkonzentration der quantitativ bestimmten Elemente mit den größten Beiträgen aller Impaktorfilter-Proben aus den Kampagnen 4 und 5. Die relativen Beiträge der Elemente Barium (Ba) und Blei (Pb) sind in ihrer Reihenfolge (Kampagne 4: Pb höher als Ba, mit linken Beschriftungen; Kampagne 5: Ba höher als Pb, mit rechten Beschriftungen)

Die gammaspektrometrische Analyse der Impaktorfilter aus Kampagne 5 ergab die in Tabelle 2 angegebenen Aktivitäten. Die gefundenen Nuklide waren K-40, Co-60, Cs-137 sowie auch auf der Hälfte der Proben Am-241. Gemäß dem abgestuften Vorgehen wurden auf Grund der gefundenen Aktivitäten von Gammastrahlern auch Gesamtalpha- und Gesamtbeta-Messungen durchgeführt. Es ergaben sich die in Tabelle 3 aufgeführten Alpha- und Betaaktivitäten hochgerechnet auf die Gesamtaktivität auf dem Filter und unter Berücksichtigung einer Selbstabsorption von 50 %. Als Ergebnis konnte eine vergleichbare Aktivitäts- und Massenverteilung der gesammelten Partikel festgestellt werden.

Tabelle 2: Gammaspektrometrisch gemessene Aktivitäten auf den Impaktorfiltern in Bq

Partikelgrößen in µm	< 0,4	0,4 – 1	1 – 2,5	2,5 – 10	10 – 30	> 30	Summe
K-40	8,0	16,6	17,2	84	23,2	22,0	171
Unsicherheit	0,7	1,1	1,1	5	1,4	1,3	10
Co-60	432	40,7	63	200	81	16,2	830
Unsicherheit	23	2,1	4	11	5	0,9	50
Cs-137	11,3	0,82	1,15	4,1	1,84	0,31	19,5
Unsicherheit	0,9	0,08	0,10	0,4	0,15	0,03	1,5
Am-241	1,18	< 0,06	< 0,06	0,74	0,20	< 0,04	2,1
Unsicherheit	0,22			0,14	0,05		0,4
Gesamtaktivität	453	58	81	289	106	38,6	1030
Unsicherheit	24	4	5	16	6	2,2	60

Tabelle 3: Gesamtalpha- und Gesamtbetaaktivitäten auf den Impaktorfiltern in Bq

Partikelgröße in μm	< 0,4	0,4 – 1	1 – 2,5	2,5 – 10	10 – 30	> 30	Summe
EG/NWG für Alpha	0,041 / 0,11	0,032 / 0,087					
EG/NWG für Beta	0,16 / 0,35	0,13 / 0,28					
Alpha	3,7	0,30	0,43	0,80	0,65	< 0,032	5,9
Unsicherheit	0,6	0,11	0,14	0,19	0,17		1,2
Beta	1070	102	189	410	180	15,6	1970
Unsicherheit	140	13	24	50	23	2,1	250

6. UMSETZUNG DER ERGEBNISSE

Die vorliegende Studie präsentiert erstmalig einen Datensatz zu veränderten Partikelgrößen- und Aktivitätsverteilungen während Rückbaumaßnahmen von kerntechnischen Anlagen im Vergleich zum Normalbetrieb. Die erzielten Ergebnisse und zukünftigen Projekte werden für die Erarbeitung von neuen Verordnungen bzw. Empfehlungen beim Rückbau kerntechnischer Anlagen benötigt.

Thema			
Radiologische Altlasten auf ehemaligen militärischen Liegenschaften - Erkundungen an ausgewählten Standorten			
Subject			
<i>Radiological residual wastes on former military properties - reconnaissances at selected locations</i>			
Kennzeichen	Beginn	Ende	Fördermittel
3612S70023	01.09.2012	28.02.2014	EUR 70.519,-
Forschungs- / Auftragnehmer			
INTERGEO Umwelttechnologie und Abfallwirtschaft GmbH, Radeberg			
Projektleitung	Fachbetreuung BfS	verantwortlich für den Text	
Dr. C. Franke	K. Wichterey / SW 1.2	Dr. H. Kahle	

1. ZIELSETZUNG

Ziel dieses Vorhabens war es, sechs ausgewählte ehemals militärisch genutzte Flächen, die sich im allgemeinen Grundvermögen des Bundes (AGV) befinden, hinsichtlich ihrer möglichen radioaktiven Kontaminationen zu erkunden. Ausgehend von einer historischen Erkundung über die frühere Nutzung und die verwendeten Ausrüstungen waren an exemplarisch zu untersuchenden Standorten mit bestehenden Verdachtsmomenten Erkundungen, Identifikationen und Auswahl der aus Strahlenschutzgründen potenziell relevanten Bereiche durchzuführen. Auf dieser Basis waren Begehungen der Gelände vorzubereiten und gezielte Beprobungen in Zusammenarbeit mit dem Bundesamt für Strahlenschutz durchzuführen.

2. EINZELZIELSETZUNG

2.1 STANDORTE

Zur Orientierung waren sechs über ganz Deutschland verteilte Standorte zu untersuchen:

- Lohmen (Sachsen): Lager und Aufbereitung für Isotope und radioaktive Stoffe, NVA¹⁾
- Zeithain (Sachsen): ehemaliges NVA-Übungsgelände für Pioniere (Panzer, Artillerie)
- Kummersdorf/Sperenberg (Brandenburg): Versuchsplatz 3. Reich, WGT (sowjetische Truppen), Garnison, Artillerie und Flugplatz
- Gräfenhainichen/Oranienbaum (Sachsen-Anhalt): WGT, Truppenübungsplatz
- Münsingen (Baden-Württemberg): NATO, französische Truppen, Panzereinheiten
- Gießen (Hessen): US-Streitkräfte, Luftabwehr

2.2 ARBEITSPAKETE

Die Untersuchungen wurden in folgende vier Arbeitspakete (AP) mit den jeweiligen standortbezogenen Unterpunkten (s. o.) gegliedert:

- Recherche zur Historie der ehemaligen Militärstandorte (AP 1)
- Vorbereitung der Begehungen/Beprobungen (AP 2)
- Durchführung der Begehungen/Beprobungen (AP 3)
- Abschlussbericht (AP 4)

¹⁾ Nationale Volksarmee

3. METHODIK

3.1 RECHERCHE ZUR HISTORIE DER EHEMALIGEN MILITÄRSTANDORTE (AP 1)

Die Bearbeitung des AP 1 erfolgte standortbezogen in folgenden Teilschritten:

- Ermittlung und Nachweis bestehender Quellen, Beurteilung ihrer Relevanz
- Erschließung und Auswertung relevanter Quellen und vorhandener Unterlagen
- Durchführung einer orientierenden Standortbegehung zur Sachstandsermittlung
- Prüfung des Gefahrenverdachts auf sachliche Richtigkeit
- Bewertung der Verdachtsbereiche/Teilflächen
- teilflächenbezogene Dokumentation der Ergebnisse in einem Gutachten in schriftlicher, zeichnerischer und ggf. graphischer Form unter Angabe der jeweiligen Quellen.

Ergänzt wurde dies durch eine allgemeine Recherche zum Thema „Radioaktive Strahlenquellen aus militärischer Ausrüstung“ mit Unterstützung des Bundesministeriums der Verteidigung (BMVg).

3.2 VORBEREITUNG DER BEGEHUNGEN/BEPROBUNGEN (AP 2)

AP 2 umfasste vor allem die Beschaffung von Basisdaten (Lagepläne, Ansprechpartner, Betretungsgenehmigungen, Zugangsmöglichkeiten, Ortskundige, Zugänglichkeit usw.), die Abstimmung mit bevollmächtigten Stellen zur Organisation des Zutrittes und die praktische Vorbereitung der Begehung (Arbeitsmaterialien, Ablaufplanung).

3.3 DURCHFÜHRUNG DER BEGEHUNGEN/BEPROBUNGEN (AP 3)

Die beim AP 2 vorbereiteten Begehungen wurden im AP 3 gemeinsam mit dem BfS an den sechs Standorten durchgeführt und dokumentiert (zeichnerisch, fotografisch).

3.4 ABSCHLUSSBERICHT (AP 4)

Bestandteil des AP 4 ist die Erstellung eines Abschlussberichtes, in dem sämtliche Ergebnisse und Erkenntnisse aus AP 1 - 3 zusammengeführt werden.

4. DURCHFÜHRUNG

4.1 RECHERCHE ZUR HISTORIE DER EHEMALIGEN MILITÄRSTANDORTE (AP 1)

Zu jedem Standort wurde eine Recherche der Historie und der resultierenden möglichen radioaktiven Kontaminationsquellen durchgeführt und jeweils in einem eigenständigen Bericht dokumentiert. Ausgangspunkt waren Daten aus dem zentralen Informationssystem Boden- und Grundwasserschutz (INSA-Datenbank) der Oberfinanzdirektion (OFD) Hannover. Aus einer Veröffentlichung des Landes Brandenburg zu möglichen radioaktiven Quellen in der militärischen Ausrüstung der WGT-Streitkräfte wurde versucht, ähnliche Erkenntnisse zu anderen Armeen zu erlangen. Nach Konsultation zuständiger Bundeswehrstellen wurden teilweise durch Analogieschlüsse Kenntnisse über die Ausrüstung westlicher Armeen gewonnen. Die Bearbeitung des AP 1 wurde parallel für alle sechs Standorte durchgeführt. Alle geeigneten und zugänglichen Quellen wurden kontaktiert bzw. eingesehen und ausgewertet. Je nach Grundstückscharakteristik und Aktenlage wurden zusätzlich Ortsbesichtigungen durchgeführt.

4.2 VORBEREITUNG DER BEGEHUNGEN/BEPROBUNGEN (AP 2)

Die im Ergebnis des AP 1 zur Beprobung ausgewählten Bereiche (maximal 15 pro Standort) wurden dokumentiert und die Begehungen im AP 2 administrativ vorbereitet.

4.3 DURCHFÜHRUNG DER BEGEHUNGEN/BEPROBUNGEN (AP 3)

Bei den Begehungen auf den sechs Standorten wurden die Verantwortlichen des BfS begleitet und eingewiesen. Es wurden Messungen der Ortsdosisleistung (ODL) in 1 m Höhe durchgeführt und an ausgewählten Stellen je zwei Bodenproben im Bereich 0-10 cm Tiefe entnommen (s. Tabelle 1).

Tabelle 1: Vor-Ort-Begehung und Probenahme

Standort	Datum	ODL-Messung	Probenahmen
Lohmen (Sachsen)	29.08.2013	3	Boden: 2 x (3 + 1)
Zeithain (Sachsen)	23.09.2013	6	Boden: 2 x (6 + 1)
Kummerdorf/ Sperenberg (Brandenburg)	06.11.2013	14	Boden: 2 x (11 + 1)
Gräfenhainichen/ Oranienbaum (Sachsen-Anhalt)	12.12.2013	6	Boden: 2 x (6 + 1)
Münsingen (Baden-Württemberg)	12.11.2013	15	Boden: 2 x (15 + 1)
Gießen (Hessen)	27.08.2013	19	Boden: 2 x (4 + 1)

Zusätzlich erfolgte die Entnahme einer „Nullprobe“ (in Tab. 1: als „+ 1“ gekennzeichnet) als Vergleichsprobe an einem vom Militär unbeeinflussten, potenziell unbelasteten Punkt.

4.4 AP 4 - ABSCHLUSSBERICHT

Mit dem Abschlussbericht vom 19.02.2014 wurde das Projekt planmäßig beendet. Er fasst aus der Bearbeitung der AP 1 - 3 gewonnene Erfahrungen, Erkenntnisse und allgemeine Hinweise zusammen, leitet Empfehlungen zur weiteren Vorgehensweise ab und gibt methodische Anleitung für weitere mögliche Untersuchungen auf ehemaligen Militärstandorten.

5. ERGEBNISSE

5.1 ALLGEMEINE ERGEBNISSE

5.1.1 Nuklide radiologischer Altlasten auf militärischen Liegenschaften

Auf Grund der vermuteten, teils auch nachgewiesenen Verwendungshäufigkeit radioaktiver Begleitstoffe und der Zeiträume seit ihrem Einsatz sind nur die langlebigen Nuklide Thorium-232, Uran-238 und Radium-226 als radiologische Altlasten auf ehemaligen militärischen Liegenschaften von Bedeutung.

5.1.2 Radiologische Verdachtsbereiche militärisch genutzter Standorte

Für folgende Bereiche ehemals militärisch genutzter Standorte besteht ein spezifischer Verdacht auf das Vorliegen radiologischer Altlasten/Bodenverunreinigungen:

- Schießbahnen (Panzer, Maschinenkanonen, Mörser, Raketen) und deren Zielgebiete: Uran- und Thorium-Verbindungen aus abbrennender Leuchtspur/Leuchtspurschlacke, Thorium aus Glühstrahlern, ggf. Radium-Nuklide aus pyrotechnischen Salzen, ggf. Anreicherung von Radium durch Beschuss von Hartzielen, die mit Radium-belegte Zifferblätter oder Armaturen enthielten
- Munitionsvernichtungs-, Spreng- und Brennplätze: U-, Ra- und Th-Verbindungen aus vernichteter Leuchtspurmuniton und der Verbrennung von Abfällen Radium-belegter Gerätschaften, untergeordnet weitere (langlebige) Nuklide aus Altgeräten
- Gefechtsstände: Thoriumoxid durch den Einsatz von Benzinvergaserlampen
- Gelände im Umfeld von Werkstätten zur Instandhaltung von Gefechtsfahrzeugen, Fernmeldetechnik usw.: Ra, untergeordnet auch U- und Th-Verbindungen (Ra aus demontierten Armaturen, Feinstaub aus der mechanischen Bearbeitung von Metallwerkstoffen mit radioaktiven Bestandteilen wie Th-Legierungen, teils Munition und Panzerungen mit Verwendung von abgereichertem Uran - depleted uranium (DU))
- Deponien/Schrottplätze/Vergrabungen und Kanalsysteme: Verdacht auf Ablagerung radioaktiver Abfälle aller Art (Verbrennungsrückstände, Schrott von Geräten/Armaturen/Werkstoffen mit radioaktiven Bestandteilen, medizinische Abfälle usw.), hauptsächlich Ra, untergeordnet weitere (langlebige) Nuklide aus Altgeräten möglich
- Rückbaubereiche von Gebäuden und Anlagen/ehemaligen Schutzräumen: Radium (Feinstaub ehemaliger Leuchtfarbenanstriche, z. T. überdeckt), untergeordnet weitere (langlebige) Nuklide aus Installationen oder neueren Beleuchtungselementen möglich
- ABC¹⁾-Übungsplätze: Kobalt- und/oder Cäsium-Verbindungen als Begleitnuklide von Cu-64 bzw. P-32 bei häufigem Einsatz radioaktiver Übungsstoffe (nur Ostdeutschland) möglich.

¹⁾ atomar, biologisch und chemisch

5.1.3 Allgemeines Gefährdungspotential

Insgesamt muss berücksichtigt werden, dass jeweils große Mengen entsprechender Strahlungsträger eingesetzt, zerstört oder verschossen werden mussten, um messbare Verunreinigungen hervorzurufen. Da davon im Allgemeinen nicht auszugehen ist, besteht insgesamt nur ein geringes Gefährdungspotential.

5.2 STANDORTBEZOGENE ERGEBNISSE UND HANDLUNGSBEDARF

Aus den Ergebnissen der durchgeführten historischen Recherchen (AP 1) ist kein akuter Handlungsbedarf für Maßnahmen zur Abwehr oder Beseitigung einer radiologischen Gefährdung für die gegenwärtig im Eigentum der Bundesrepublik Deutschland (AGV) befindlichen Flurstücke folgender ehemaliger Militärstandorte ableitbar:

- NVA-Übungsgelände Zeithain
- WGT-Standort Kummersdorf/Flugplatz Sperenberg
- Truppenübungsplatz Münsingen
- Standort der US-Streitkräfte zur Luftabwehr „Hohe Warte“ Gießen

Trotz deren geringer Relevanz induzieren die ermittelten Verdachtsmomente auch an diesen Standorten die Notwendigkeit der Durchführung einer orientierenden Erkundung radiologischer Altlasten.

5.2.1 Standort Lohmen (Sachsen)

Der Standort wurde seit den 1960er Jahren bis 1983 zur Zwischenlagerung und Konfektionierung leicht- bis mittelradioaktiver Abfälle in unterirdischen Stollen, jedoch nicht militärisch, genutzt. Ab 1984 wurde dort ein NVA-Munitionsdepot angesiedelt. Die noch zum AGV-Gelände gehörenden Stollen wurden zum Nutzungsende frei gemessen und verwahrt. Aus der militärischen Nutzung ist kein Handlungsbedarf zur Erkundung radiologischer Altlasten abzuleiten, so dass der ehemalige Militärstandort Lohmen eine Sonderstellung einnimmt. Für die zugänglichen Bereiche der im AGV befindlichen Flurstücke ergibt sich kein dringender Handlungsbedarf. Da die Stollen auf Grund ihrer dauerhaften Verwahrung nicht zugänglich sind und eine weitere Nutzung ausgeschlossen ist, sind möglicherweise vorhandene Restbelastungen in den Hohlräumen ebenfalls nicht gefährdungsrelevant. Eine Öffnung der verschlossenen Stollen für Messungen war unverhältnismäßig. Zur ODL-Messung und Probenahme wurden daher die unbefestigten Bodenbereiche in unmittelbarer Nähe der Mundlöcher der verwahrten Stollen ausgewählt:

- Mundloch Neuer Stollen/Luftschutzstollen (1 Probe + ODL-Messung)
- Mundloch Luftschutzstollen (1 Probe + ODL-Messung)
- Mundloch Lohmener Stollen (1 Probe + ODL-Messung)

5.2.2 Standort Zeithain (Sachsen)

Die im AGV befindlichen und von der NVA beübten Teile des ehemaligen Truppenübungsplatzes (TÜP) Zeithain wurden hauptsächlich als Truppenlager eines Pionierbataillons und als Taktikgelände für Panzer genutzt. Auf dem ABC-Übungsplatz wurde der Umgang mit Gasmasken geübt, jedoch ohne Dekontaminationsübungen mit radioaktiven Stoffen. Im Ergebnis der Recherche wurden Flächen mit Verdacht auf Schadstoffeinträge durch Vernichtung von Munition mit radioaktiven Stoffen, durch Munitions- und Abfallvergrabung oder durch die Beleuchtung mit Benzinvergaserlampen mit thorierten Glühstrümpfen ermittelt.

Zur Messung und Probenahme wurden entsprechende unbefestigte Bereiche ausgewählt:

- Flächen am Munitionsvernichtungsplatz Kleintrebnitz (2 Proben + ODL-Messungen)
- beräumte Abfallablagerung/Deponie Kleintrebnitz (1 Probe + ODL-Messung)
- vermuteter ABC-Übungsbereich/„Gasausbildung“ Kleintrebnitz (2 Proben + ODL-Messungen)
- devastierte Fläche des ehemaligen Übungsgeländes/ vermutete Abfall- und Munitionsvergrabung Gohlis (1 Probe + ODL-Messung)

5.2.3 Standort Kummersdorf/Sperenberg (Brandenburg)

Große Teile der ehemaligen Militärliegenschaft Gut Kummersdorf mit dem Flugplatz Sperenberg (zuletzt WGT-Standort 1945 - 1994) einschließlich der ehemaligen Heeresversuchsstelle Gottow, in der die deutsche Wehrmacht ab 1942 Versuche zur Urankernspaltung durchführen ließ, wurden bereits vom Land Brandenburg übernommen. Im AGV befinden sich noch chemisch kontaminierte Altlastenflächen. Ermittelte Flächen, für die auch ein Verdacht auf Schadstoffeinträge durch Vernichtung von Munition mit radioaktiven Stoffen,

durch Munitions- und Abfallvergrabung beim Truppenabzug oder durch den Umgang mit radioaktiven Bauteilen besteht, wurden untersucht. Ausgewählt wurden:

- Fläche an einem ehemaligen Schrottplatz (1 Probe + ODL-Messung)
- Lagerbereiche für Kraftfahrzeug-Technik im Umfeld der chemischen Reinigung (2 Proben + ODL-Messungen)
- die ehemalige Deponie (2 ODL-Messungen)
- ein Spreng- und Brandplatz mit verfüllten Sprengtrichtern (1 Probe + 2 ODL-Messungen)
- Flächen vor Werkstätten und Technikdepots, einem Laborgebäude, dem Feuerwehrdepot und Aschegruben (insgesamt 7 Proben + ODL-Messungen)

5.2.4 Standort Gräfenhainichen/Oranienbaum (Sachsen-Anhalt)

Der größte Teil des ehemaligen WGT-Truppenübungsplatzes ist jetzt Naturschutzgebiet im Besitz der Deutschen Bundesstiftung Umwelt (DBU). Im AGV verblieben nur drei kleine Flurstücke im ehemaligen Gleisbereich und ein Weg. Für diese Flächen gibt es nutzungsbedingt keine radiologischen Verdachtsmomente. Zum Negativ-Nachweis wurden jedoch Proben entnommen und ODL-Messungen durchgeführt (je 1 Probe und ODL-Messung pro Flurstück). Darüber hinaus wurden Bereiche der DBU-Liegenschaft zur Messung und Probenahme ausgewählt:

- Freifläche im Technikbereich (1 Probe + ODL-Messung)
- Schießplatz (1 Probe + ODL-Messung)
- Umfeld Sprengplatz (1 Probe + ODL-Messung)

5.2.5 Standort Münsingen (Baden-Württemberg)

Dies ist ein sehr ausgedehnter, seit 1895 bestehender und von 1945 - 1992 hauptsächlich von französischen Streitkräften genutzter Truppenübungsplatz, der von der Bundeswehr übernommen und 2005 geschlossen wurde. Randbereiche ohne Altlastenverdacht wurden bereits rekommunalisiert, das meiste Gelände verblieb im AGV. Das Sonderlager für radioaktive Stoffe soll sich hier befunden haben, auf dem jedoch nur die Lagerung konfektionierter Kernwaffen/Gefechtsköpfe erfolgte, so dass hieraus resultierende Bodenkontaminationen ausgeschlossen sind. Folgende radiologische Verdachtsbereiche wurden untersucht:

- zentrales Zielgebiet mehrerer Schießbahnen einschl. MILAN-Raketen-Zielgebiete und Hartziele (insgesamt 10 Proben + ODL-Messungen)
- langjährig genutzte Biwak-Plätze (3 Proben + ODL-Messungen)
- Altablagerungen und Vergrabungsbereiche (1 Probe + ODL-Messung)

5.2.6 Standort Gießen (Hessen)

Der Standort „Hohe Warte“ mit ehemaligen Patriot-Stellungen befindet sich bei Gießen und ist heute größtenteils Naturschutzgebiet. Das Areal wurde 1966 - 1990 durch die US-Streitkräfte als Luftabwehrstellung und zur Instandhaltung/Kontrolle von Raketen und Fahrzeugen genutzt. Vermutet wurden Leuchtfarben/Leuchtmittel mit radioaktiven Komponenten, der Umgang mit radioaktiven Bauteilen sowie deren unsachgemäße Ablagerung beim Truppenabzug. Zur Untersuchung wurden folgende Flächen ausgewählt:

- rückgebaute Gebäude von Wartungs-/Reparaturbereichen im ehemaligen BOC-Areal (Battalion and Operation Centre) (1 Probe + 2 ODL-Messungen)
- Abfallvergrabungen und eine Deponie (1 Probe + 10 ODL Messungen)
- das Umfeld der Abschussbasen/ehemalige Patriot-Raketenstellungen (1 Probe + 7 ODL-Messungen)

5.3 ERGEBNISSE RADIOLOGISCHER MESSUNGEN UND ANALYSEN

Eine Aus- und Bewertung der Mess- und Analysenergebnisse des BfS war nicht Gegenstand des Auftrages. Es wurde jedoch mitgeteilt, dass an keiner der untersuchten Bodenproben erhöhte Radioaktivität auf Grund der ehemaligen militärischen Nutzung nachgewiesen wurde. Die vor Ort vorgenommenen ODL-Messungen zeigten keine Auffälligkeiten. Damit wurde die allgemeine Einschätzung, dass an den betrachteten ehemaligen Militärstandorten keine radiologischen Verdachtsbereiche mit hoher Relevanz (belegter Gefahrenverdacht) auszuweisen sind, bestätigt. Der einzige auffällige Befund mit geringen Bodenkontaminationen (Cäsium-137, Americium-241, Kobalt-60) befand sich in Lohmen vor den verschlossenen Stollen, die ehemals zur Einlagerung leicht- bis mittelradioaktiver Abfälle genutzt wurden, jedoch nicht mit der späteren militärischen Nutzung im Zusammenhang stehen.

5.4 ZUSAMMENFASSENDER GEFÄHRDUNGSABSCHÄTZUNG

Auf den sechs ausgewählten Standorten bestand ein Verdacht auf Vorliegen radioaktiver Kontaminationen, der insbesondere auf folgenden potenziellen Verdachtsflächen mit entsprechender intensiver Nutzung im Zeitraum von 1950 - 2000 zu prüfen war:

- intensiv beübte, ausgewiesene MILAN-Zielgebiete auf Grund der nachweislichen Verwendung thoriumhaltiger Glühstrahler der MILAN-Raketen
- langjährig genutzte, unbefestigte Biwak-Plätze sowie Gefechtsstände, Stellungen und Beobachtungsstände aller Art, die nicht über einen Stromanschluss oder mobile Aggregate/Generatoren verfügten, auf Grund des nachweislichen Einsatzes von Benzinvergaserlampen mit thoriierten Glühstrümpfen zur lokalen Beleuchtung
- langjährig genutzte, unbefestigte Flächen, die für Dekontaminationsübungen verwendet wurden (ABC-Übungsplätze von NVA und WGT in Ostdeutschland), wegen des belegten Einsatzes radioaktiver Übungsmittel mit langlebigen Begleitisotopen.

Nach Durchführung der stichprobenartigen Messungen und Beprobungen konnte kein Beleg für einen solchen Verdacht gefunden werden.

5.5 METHODISCHE EMPFEHLUNGEN ZUR WEITEREN VORGEHENSWEISE

Die Recherchen und Begehungen an den sechs exemplarisch ausgewählten Standorten ergaben insgesamt ein uneinheitliches Bild, das die Erarbeitung einer allgemeingültigen methodischen Anleitung deutlich erschwert. Eine einheitliche Vorgehensweise für alle Militärstandorte ist weder unter administrativen noch fachlichen Gesichtspunkten abzuleiten. Folgende allgemeingültige Empfehlungen können jedoch gegeben werden:

5.5.1 Administrative Vorbereitung

Bei der Bearbeitung vergleichbarer Aufgabenstellungen sollte berücksichtigt werden:

- In verschiedenen Bundesländern oder Regionen bestehen sehr unterschiedliche administrative Rahmenbedingungen beim Umgang mit ehemaligen Militärliegenschaften.
- Zur Identifikation von Grundstücken im AGV wird der direkte Kontakt mit regional für die Liegenschaftsverwaltung zuständigen Stellen der BImA¹⁾ empfohlen (Sparte Bundesforst oder Facility Management), teils sind jedoch auch dort keine Ortskenntnisse vorhanden.
- Wichtige Bearbeitungsgrundlage für Recherchen sind topografische Übersichtskarten, Flurstücksnummern und Standortlagepläne.
- Für Aktenrecherchen müssen erhöhte personelle Kapazitäten eingeplant werden, da die archivierenden Behörden/Stellen nicht über solche verfügen.
- Auf Grund des unterschiedlichen Datenbestandes ist grundsätzlich eine Aktenrecherche in verschiedenen Archiven (auch in verschiedenen Stellen einer Behörde) erforderlich.
- Es muss mit anfallenden Verwaltungsgebühren in unterschiedlicher Höhe (auch zwischen behördlichen Stellen) gerechnet werden.
- Die Bearbeitung von Anfragen kann längere Zeiträume beanspruchen.
- Vor der Durchführung von Messungen/Probenahmen ist eine Erstbegehung zur Vorauswahl geeigneter Bereiche zweckmäßig, nach Möglichkeit in Begleitung eines Ortskundigen oder anhand von möglichst detaillierten Standortlageplänen; die Fähigkeit zur Orientierung im Gelände ist erforderlich.
- Mögliche Gefahrensituationen sind vorab zu analysieren (Geländezustand, gefährliche Stoffe/Altlasten) und entsprechende Arbeitsschutzmaßnahmen zu ergreifen.
- Haftungsfragen beim Flächenbetritt sind im Vorfeld behördlich und personell zu klären.

5.5.2 Fachliche Methodik

Die INSA-Datenbank ist als Ausgangspunkt für die Ermittlung radiologischer Verdachtsmomente auf ehemaligen Militärliegenschaften nicht geeignet. Eine bessere Grundlage ist die Auswertung vorhandener Standortunterlagen. Die Einholung von Informationen sollte relativ zeitnah nach Standortschließung erfolgen. Eine

¹⁾ Bundesanstalt für Immobilienaufgaben

Auswertung historischer Originalunterlagen der Armeen ist auf Grund der allgemeinen militärischen Geheimhaltung kaum zielführend, aufwändig und schwierig.

Direkte Schlussfolgerungen von den exemplarisch untersuchten Liegenschaften für andere Standorte sind nur bedingt möglich. Bei weiteren Untersuchungen sollte eine höchstmögliche Varianz der Kombination unterschiedlicher Standorttypen (Armeen - Nutzungsart) angestrebt werden. Zur ersten Abschätzung, ob an einem ehemaligen Militärstandort ein Verdacht auf radiologische Altlasten vorliegt oder auszuschließen ist, können die ermittelten Nutzungsbereiche mit den ausgewiesenen allgemeinen Verdachtsbereichen abgeglichen werden. Sichere Ergebnisse zum Ausschluss radiologischer Gefährdungen in einzelnen relevanten Bereichen sind jedoch nur anhand von Rastermessungen/-beprobungen möglich.

6. UMSETZUNG DER ERGEBNISSE

Die Ergebnisse der exemplarischen Untersuchungen zeigen, dass trotz gezielter Auswahl von Flächen mit Kontaminationsverdacht keine Situation mit radiologischen Gefährdungen vorgefunden wurde. Dies ist jedoch nicht mit Freimessungen zu vergleichen, da nur wenige Punkte überprüft werden konnten. Bereiche ohne Kampfmittelverdacht sollten vor einer intensiven Nachnutzung in Abhängigkeit von ihrer früheren militärischen Nutzung einer systematischen Untersuchung unterzogen werden. Die aus dem Vorhaben resultierenden allgemeinen Hinweise können nur in Zusammenarbeit mit dem Bundesministerium der Verteidigung (BMVg) verifiziert werden. Nach deren Auswertung empfiehlt das BfS, darüber zu entscheiden, ob sich weiterer Bedarf an vertiefenden Untersuchungen ehemaliger militärischer Bundesliegenschaften ableiten lässt. Nutzungseinschränkungen bestehen auf großen Flächenanteilen jedoch auch derzeit unabhängig von radiologischen Gründen wegen nicht beräumter Munition und anderweitigen Kampfmittelresten. Sollte diese entfernt werden, sind auch mögliche radioaktive Kontaminationen messtechnisch zu überprüfen.

Thema

Evaluation und Weiterentwicklung von Kommunikationsstrategien in neuen Medien für eine zielgruppengerechte und permanente Präsentation radiologischer Messwerte aus dem Ortsdosisleistungs-Messnetz in Deutschland

Subject

Evaluation and development of new media communication strategies for a target group oriented and permanent presentation of radiological measurements in the German dose rate monitoring network

Kennzeichen 3612S70024	Beginn 01.09.2012	Ende 31.03.2014	Fördermittel EUR 209.303,-
----------------------------------	-----------------------------	---------------------------	--------------------------------------

Forschungs- / Auftragnehmer

Stiftung Risiko-Dialog, St. Gallen (Schweiz)
mcm Institute, Universität St. Gallen (Schweiz)
Dialogik, Stuttgart

Projektleitung

M. Holenstein

Fachbetreuung BfS

Dr. M. Zähringer / SW 2

verantwortlich für den Text

Dr. R. Högg

1. ZIELSETZUNG

Das Bundesamt für Strahlenschutz (BfS) verfügt mit seinem System zur Messung der Ortsdosisleistung (ODL) über das dichteste permanente Messnetz für Radioaktivität in Deutschland. Seine Messwerte werden bereits heute im Internet (ODL-Info) der interessierten Öffentlichkeit zur Verfügung gestellt und ermöglichen ein kontinuierliches Monitoring. Darüber hinaus betreibt das BfS weitere Messsysteme im Bereich der Umweltradioaktivität und integriert weitere Messdaten amtlicher Messstellen des Bundes und der Länder im System IMIS.

Es ist der Wunsch des BfS, die vorhandenen Daten möglichst nutzbringend anbieten zu können. Nach den Ereignissen in Fukushima (Japan) ist auch das Interesse an den vom BfS zur Verfügung gestellten Daten stark angestiegen. Mit dem Aufkommen neuer Kommunikationsmittel wächst zudem das Bedürfnis der Öffentlichkeit nach "ungefilterter" Information. Gleichzeitig sind etwa ODL-Messdaten in ihrer Bedeutung für Laien nur schwierig zu interpretieren. Das BfS wollte vor diesem Hintergrund die Qualität seiner aktuellen Kommunikationsbemühungen bewerten und Verbesserungsvorschläge erarbeiten lassen.

Das Projekt (geleitet durch die Stiftung Risiko-Dialog, in Zusammenarbeit mit der Universität St. Gallen und Dialogik) verfolgte deshalb zwei Ziele: Es stellte in einem ersten Schritt die Frage, wie die gegenwärtige Praxis der Messwertpräsentation und deren Rezeption in der Bevölkerung zu bewerten ist. In einem zweiten Schritt wurden bestehende Ansätze und Formate weiterentwickelt, um die Ergebnisse der Radioaktivitätsmessnetze, insbesondere des ODL-Messnetzes des BfS, in der Öffentlichkeit optimal zu kommunizieren.

2. EINZELZIELSETZUNG

2.1 AKTUELLER STAND VON WISSENSCHAFT UND TECHNIK (AP 1)

Ziel von Arbeitspaket 1 (AP 1) war es, den aktuellen Stand von Wissenschaft und Technik für die Zwecke des Vorhabens aufzuarbeiten. Das AP bietet eine Übersicht über mit ODL-Info vergleichbare Angebote und deren Erfolgsfaktoren. Zudem wurde ein Bewertungsraster mit einer Aufstellung von Inhalts- und Qualitätsanforderungen erstellt, um das Informationsangebot des BfS im folgenden AP 2 konkret zu bewerten.

AP 1 beantwortete die folgenden Fragen:

- Welche - mit ODL-Info vergleichbaren - Angebote existieren?
- Welche Philosophien liegen diesen Angeboten in Bezug auf die Bereitstellung von Daten zu Grunde?
- Welche Faktoren beeinflussen eine erfolgreiche Kommunikation? (Hierfür wurde ein Bewertungsraster entwickelt)
- Welche Faktoren beeinflussen eine erfolgreiche Kommunikation? (Hierfür wurde ein Bewertungsraster entwickelt)

2.2 BEWERTUNG DES GEGENWÄRTIGEN INFORMATIONSMANGEL ANGEBOTES DER ODL-MESS-DATEN DES BFS (AP 2)

Die aktuellen Angebote des BfS zur Aufbereitung und Präsentation der ODL-Daten wurden untersucht, bewertet und mit anderen Angeboten verglichen. Die Beurteilung der Angebote erfolgte anhand eines in AP 1 erarbeiteten Bewertungsrasters. Neben den Angeboten des BfS und anderen offiziellen, staatlichen Informationsangeboten werden auch weitere, nicht-staatliche Angebote und „unkoordinierte“ Kommunikationskanäle/-mechanismen zu einem Vergleich herangezogen. AP 2 verfolgte folgende Ziele:

- Bewertung von ODL-Info
- Vergleich von ODL-Info mit weiteren ODL-Informationsangeboten
- Zusatznutzen „ergänzender“ Informationskanäle (soziale Medien, Twitter, Apps, etc.).

2.3 PRÄSENTATION DER ZWISCHENERGEBNISSE AUF EINEM WORKSHOP (AP 3)

AP 3 war ein gemeinsamer Workshop mit Vertretern/innen des Auftraggebers, in welchem die Resultate aus AP 1 und AP 2 diskutiert wurden. Die im Rahmen des Workshops erarbeiteten Ideen und das Feedback wurden summarisch protokolliert und flossen in die empirische Untersuchung (AP 4) mit ein. Sie wurden auch in den Empfehlungen (AP 5 und 6) berücksichtigt.

2.4 EMPIRISCHE ERMITTLUNG DER INFORMATIONSMANGELREZEPTION (AP 4)

AP 4 setzte sich zusammen aus einer quantitativen Onlinebefragung zur Identifikation unterschiedlicher Zielgruppen, ihrer Mediennutzung und ihrer Informationsbedürfnisse sowie einer qualitativen Befragung dieser Zielgruppen in Form von Fokusgruppen.

2.5 NEUE KOMMUNIKATIONSSTRATEGIE (AP 5) UND WEITERENTWICKLUNG INTERNETAUFTRIFFS (AP 6)

Ziel von AP 5 und AP 6 war es, von den in AP 1 und AP 2 durchgeführten Analysen sowie den in AP 4 gewonnenen empirischen Erkenntnissen über Nutzerbedürfnisse im Kontext der ODL-Kommunikation, Empfehlungen für neue Kommunikationsstrategien (AP 5) und für die Weiterentwicklung des ODL-Info-Internetauftreffs (AP 6) abzuleiten.

Gegenüber der ursprünglichen Offerte kam es in den Arbeitspaketen 5 und 6 in Absprache mit dem Auftraggeber zu kleinen Anpassungen. So wurden die beiden AP integriert bearbeitet und gleichzeitig um einen Workshop ergänzt, der am 3. Juni 2014 in Salzburg stattgefunden hat. An diesem Workshop haben über 20 Mitarbeitende des BfS aus verschiedenen Abteilungen teilgenommen. Gegenstand des Workshops war die Präsentation der bis und mit AP 4 erarbeiteten Resultate sowie deren anschließende Diskussion in Gruppen und im Plenum. Die Ergebnisse der Workshops flossen in die Ableitung von Empfehlungen ein.

3. METHODIK

Im Rahmen des Projekts wurden verschiedene Methoden angewendet. AP 1 basierte auf Literatur- und Onlinerecherchen sowie Experteninterviews. AP 2 nutzte zur Bewertung der unterschiedlichen Informationsangebote das in AP 1 erarbeitete Bewertungsraster. In AP 4 wurden sowohl qualitative, als auch quantitative Befragungen durchgeführt. Über den gesamten Projektverlauf hinweg fanden zudem interne Workshops der Projektteammitglieder sowie Workshops mit dem Auftraggeber statt, um erarbeitetes Wissen zu reflektieren und das weitere Vorgehen zu planen. Zur Qualitätssicherung in Form einer fortlaufenden Begleitung des Projekts standen dem Projektteam zudem erfahrene Experten/innen zur Verfügung (Advisory Board), mit denen wichtige Projektschritte reflektiert wurden.

4. DURCHFÜHRUNG

4.1 AKTUELLER STAND VON WISSENSCHAFT UND TECHNIK (AP 1)

Die Inhalte von AP 1 wurden einerseits durch Literatur- und Onlinerecherche erarbeitet, andererseits wurden Experteninterviews durchgeführt. Ziel der Experteninterviews war es, ein möglichst breites Wissen und Erfahrungen einzufangen, weitere Inputs zum Vorgehen zu erhalten, weitere Recherchepunkte zu erfahren und unterschiedliche Sichtweisen zu integrieren. Hierfür wurden Interviews mit Experten aus verschiedenen Wis-

sensgebieten geführt. Die Interviews wurden anhand eines Leitfadens geführt, der eine lose Struktur vorgibt. Damit wurde sichergestellt, dass zum einen keine Themengebiete im Verlaufe des Gesprächs übersehen wurden und zum anderen die Interviews untereinander vergleichbar blieben.

4.2 BEWERTUNG DES GEGENWÄRTIGEN INFORMATIONSANGEBOTES DER ODL-MESSDATEN DES BFS (AP 2)

Die Beurteilung der aktuellen Angebote des BfS erfolgte anhand des in AP 1 erarbeiteten Bewertungsrasters. Im Weiteren wurden Informationsangebote anderer Institutionen beurteilt, um diese mit den Angeboten des BfS unmittelbar vergleichbar zu machen.

Neben den Angeboten des BfS und anderen Informationsangeboten anderer Staaten wurden in einem dritten Schritt systematisch auch weitere, nicht-staatliche Angebote und „unkoordinierte“ Kommunikationskanäle/-mechanismen zu einem Vergleich herangezogen. Welche Fragen sind beispielsweise per Email oder Telefon beim BfS kurz nach dem Fukushima-Unglück eingetroffen? Welche Diskussionen fanden auf Webseiten/Diensten statt, die eine Beteiligung der Nutzer erlauben (z. B. Social Media Webseiten, Twitter, Onlineforen, ...)? etc.

4.3 PRÄSENTATION DER ZWISCHENERGEBNISSE AUF EINEM WORKSHOP (AP 3)

Die erarbeiteten Resultate wurden in einem Workshop durch die Auftragnehmer präsentiert und mit Vertretern/innen des BfS diskutiert. Die Durchführung des Workshops fand in Freiburg statt und erstreckte sich über zwei Tage.

4.4 EMPIRISCHE ERMITTLUNG DER INFORMATIONSREZEPTION (AP 4)

Für die quantitative Onlinebefragung stellte ein externer Dienstleister den Zugang zu einem für die deutsche Bevölkerung repräsentativen Panel bereit. Die Durchführung der Befragung erfolgte über die Onlineumfragesoftware Unipark und wurde von Mitarbeitenden der Universität St. Gallen durchgeführt. Für die daran anschließende qualitative Befragung (Fokusgruppen) wurden Teilnehmende akquiriert, welche den in der quantitativen Befragung eruierten Zielgruppen entsprachen. Die Teilnehmerakquise geschah ebenfalls durch einen Drittanbieter. Die Durchführung fand in Institutsgebäuden der Universität Stuttgart statt, und die einzelnen Fokusgruppen wurden durch Mitarbeiterinnen von Dialogik organisiert und moderiert.

4.5 NEUE KOMMUNIKATIONSSTRATEGIE (AP 5) UND WEITERENTWICKLUNG INTERNET-AUFTRITT (AP 6)

In AP 5 und AP 6 wurden die Resultate der vorangegangenen APs aufbereitet. Dem Abschlussbericht gingen zwei interne (innerhalb des Projektteams) sowie ein externer Workshop (zusammen mit dem Auftraggeber) voraus. Zunächst wurden intern relevante Diskussionsfragen für den externen Workshop erarbeitet. Diese beziehen sich auf die strategische Ausrichtung sowie die darauf basierende Weiterentwicklung von ODL-Info. Anschließend wurden die Fragen mit dem BfS abgesprochen und angepasst. Diese zentralen Fragen lagen schließlich dem gemeinsamen externen Workshop zu Grunde. Bei einem weiteren internen Workshop haben die Mitglieder des Projektteams basierend auf den Ergebnissen des vorgelagerten Workshops in Salzgitter Empfehlungen für eine Strategie sowie für die Weiterentwicklung der ODL-Kommunikation abgeleitet.

5. ERGEBNISSE

Die Resultate der Arbeitspakete 1, 2, 4 sowie 5 und 6 wurden in Berichten veröffentlicht. Diese Ergebnisse wurden bzw. werden zudem in Workshops mit dem Auftraggeber diskutiert. Zusätzlich wurden die einzelnen Berichte in einem integrierten Bericht zusammengefasst.

5.1 AKTUELLER STAND VON WISSENSCHAFT UND TECHNIK (AP 1)

Resultat von AP 1 ist einerseits ein Bewertungsraster (inkl. Bewertungsmethode), um ODL-Informationsangebote miteinander vergleichen zu können. Andererseits konnten in AP 1 auch unterschiedliche Kommunikationsphilosophien und -ansätze identifiziert werden.

5.2 BEWERTUNG DES GEGENWÄRTIGEN INFORMATIONSANGEBOTES DER ODL-MESSDATEN DES BFS (AP 2)

AP 2 bewertete unterschiedliche ODL-Informationsangebote und identifizierte Best Practice-Beispiele in verschiedenen Aspekten des Bewertungsrasters. Zudem wurden andere Kommunikationskanäle (Mobile Apps, Soziale Medien, etc.) untersucht und es konnte aufgezeigt werden, welchen Zusatznutzen diese für Nutzer/innen bieten. Außerdem konnten Fragen aus der Bevölkerung an das BfS anonymisiert ausgewertet werden.

5.3 PRÄSENTATION DER ZWISCHENERGEBNISSE AUF EINEM WORKSHOP (AP 3)

Die in AP 2 erarbeiteten Informationen wurden in Hypothesen integriert, welche im Rahmen des Workshops AP 3 mit dem Auftraggeber diskutiert wurden. Die Resultate des Workshops wurden in einem Protokoll festgehalten und bildeten die Grundlage für die empirischen Untersuchungen in AP 4 sowie Empfehlungen in AP 5 und 6.

5.4 EMPIRISCHE ERMITTLUNG DER INFORMATIONSREZEPTION (AP 4)

AP 4 zeigte auf, dass sich die Nutzer/innen von ODL-Info in unterschiedliche Zielgruppen unterteilen lassen, die teilweise unterschiedliche Bedürfnisse haben. Neben Grundlageninformationen für die Erarbeitung der Kommunikationsstrategien in AP 5 konnten zusätzlich „Quick Wins“ identifiziert werden, durch welche die ODL-Info Webseite durch relativ einfache Anpassungen spürbaren Mehrwert für Nutzer/innen bieten kann.

5.5 NEUE KOMMUNIKATIONSSTRATEGIE (AP 5) UND WEITERENTWICKLUNG INTERNET-AUFTRITT (AP 6)

Die erarbeiteten Resultate der AP 5 und AP 6 wurden in einem Bericht dem Auftraggeber zur Verfügung gestellt. Der Bericht gibt Empfehlungen zur Kommunikationsstrategie und weiteren Entwicklung des Webseiten-Konzepts wieder, die auf den Erkenntnissen der vorgelagerten AP 1 bis AP 4 basieren. Die Empfehlungen zur Strategie beinhalten Aussagen über die zentrale Botschaft von ODL-Info, deren Zielgruppen, zu vermittelnde Kommunikationsinhalte sowie über das Zusammenspiel von ODL-Info und der BfS-Hauptseite. Von der empfohlenen Strategie wurden schließlich konkrete Implikationen für die Weiterentwicklung des Webseitenkonzepts abgeleitet. Diese beinhalten Vorschläge für das Leitmotiv von ODL-Info sowie Anregungen zur inhaltlichen wie auch visuellen Gestaltung der Webseite.

6. UMSETZUNG DER ERGEBNISSE

Die Ergebnisse insbesondere der Befragung in AP 4 wurden als sog. „Quick Wins“ zur Erhöhung der Benutzerfreundlichkeit unmittelbar in den aktuellen Internetauftritt eingearbeitet. Die Identifizierung verschiedener Zielgruppen machte jedoch klar, dass das gegenwärtige Informationsangebot des BfS zur ODL nur eine sehr kleine Zielgruppe erreicht und nur von dieser verstanden wird. Ein weitergehendes Konzept erfordert ein klares Bekenntnis des BfS als Gesamtinstitution zum Informationsangebot „ODL-Info“ und eine konzeptionelle und gestalterische Integration in den Internetauftritt des BfS. Die Benutzer müssen über die Internetseite des BfS in das Informationsangebot ODL im Kontext des gesamten Informationsangebotes des BfS eingeführt werden. Für den Benutzer sollte alles „aus einer Hand“ wahrnehmbar sein. Dabei wird auch ein klares Kommunikationsziel zu definieren und eine klar verständliche Botschaft umzusetzen sein. Je nach Vorkenntnissen und Informationsbedürfnis (knappe klare Aussage für oberflächliche Nutzer, weitergehende Erklärungen für besorgte Bürger/innen, messtechnische Details für wissenschaftlich-technisch Interessierte) sind Informationen zielgruppenspezifisch zu vermitteln. Auch ein solcher „Informationstrichter“ muss konzeptionell in das Gesamtinformationsangebot des BfS eingebettet sein. Die gesamte Umsetzung der Erkenntnisse erfordert eine interdisziplinäre Zusammenarbeit zwischen dem Fachbereich SW und den für Internet und Öffentlichkeitsarbeit zuständigen Stellen im BfS.

Thema

Evaluierung des messbaren Nutzens für die Solarienbesucher durch die UV-Schutz-Verordnung, insbesondere die Unterweisung durch qualifiziertes Personal in Solarien

Subject

Evaluation of the measurable benefit for solarium users due to the UV protection regulations, in particular through instructions from qualified staff in solariums

Kennzeichen
3612S70031

Beginn
15.08.2012

Ende
14.07.2014

Fördermittel
EUR 140.206,-

Forschungs- / Auftragnehmer

infas Institut für angewandte Sozialwissenschaft GmbH (infas Institute for Applied Social Sciences), Bonn

Projektleitung
J. Belz

Fachbetreuung BfS
Dr. Baldermann / AG-SG 1.5

verantwortlich für den Text
J. Belz, B. Ermes

1. ZIELSETZUNG

Ziel der Untersuchung war es, den messbaren Nutzen für Solarienbesucher aus der durch die UV-Schutz-Verordnung (UVSV) vorgegebenen Beratung durch entsprechend qualifiziertes Personal zu evaluieren. Hierzu wurden Wissensstand und Verhalten von Solariennutzerinnen und -nutzern durch Vergleich zweier Befragungswellen auf Basis bevölkerungsrepräsentativer Stichproben in 2012 und 2014 untersucht.

2. EINZELZIELSETZUNG

Mit Hilfe der geplanten Befragungen sollte festgestellt werden, ob das ab November 2012 gesetzlich vorgeschriebene Angebot einer Beratung von Solariennutzerinnen und -nutzern zu einem verbesserten Verbraucherschutz durch Minimierung der Bestrahlungsrisiken führt, d. h. ob auf Grund der erfolgten Beratungen eine Verbesserung des Wissens und/oder eine Veränderung der Meinung und/oder des Verhaltens hinsichtlich UV-Bestrahlungen in Solarien erkennbar wird. Zur Feststellung des Ist-Zustandes erfolgte die erste Befragung 2012/2013 (W1). Die zweite Befragung wurde 2014 durchgeführt (W2). W1 hatte dabei das Ziel, Basisergebnisse über die Solariennutzung sowie über die damit verbundenen Kenntnisse und Einschätzungen der Nutzerinnen und Nutzer zu liefern. Das Ziel der Wiederholungsbefragung W2 war, Vergleichswerte zur ersten Befragungswelle zu erhalten - sowohl für die Gesamtstichprobe als auch für die Gruppe derer, die in den letzten 12 Monaten beraten wurden. Die Fokussierung auf diesen Zeitraum wurde gewählt, um diejenige Befragengruppe identifizieren und vergleichen zu können, deren Beratung mit Sicherheit nach Inkrafttreten des § 4 Absatz 1 der UVSV stattgefunden haben musste.

3. METHODIK

Es wurden 2012/2013 und 2014 jeweils eine computergestützte standardisierte telefonische Befragung aktueller Solariennutzer auf Basis voneinander unabhängiger repräsentativer Bevölkerungstichproben (Dual-Frame-Stichprobe plus Stichprobe über ein Online-Panel) durchgeführt. Die Befragungsergebnisse wurden anhand der ADM¹-Dual-Frame-Gewichtung für die Festnetz- sowie Mobilfunkstichprobe gewichtet. Zur Berücksichtigung möglicher Überlappungen der telefonischen und der Online-Stichprobe, und damit theoretisch möglichen doppelten Ziehungswahrscheinlichkeiten, wurden die Designgewichte anteilmäßig mit den Fallzahlen aus CATI² bzw. Online gewichtet (Konvexkombination der Dual-Frame-Stichprobe mit den Fällen aus dem Online-Panel). Die Datenaufbereitung und Gewichtung wurde mittels STATA 13 und frei verfügbaren Zusatzmodulen vorgenommen; die Tabellierung der Daten fand unter GESS 13 statt.

¹) Arbeitskreis Deutscher Markt- und Sozialforschungsinstitute

²) Computer Assisted Telephone Interview

4. DURCHFÜHRUNG

Zur Realisierung des ersten Messzeitpunkts (W1) wurden im Zeitraum von Ende September 2012 bis Ende Januar 2013 insgesamt n = 1500 Personen durch das infas-Telefonstudio gescreent und befragt. Der zweite Messzeitpunkt (W2; n = 1501) lag zwischen Anfang April bis Mitte Juni 2014. Grundgesamtheit der Studie war in beiden Erhebungswellen die in Deutschland lebende Wohnbevölkerung ab 18 Jahre, die im Laufe der letzten 24 Monate ein Solarium genutzt hatte und den erweiterten Screening-Kriterien entsprach. Der Ort der hauptsächlichlichen Nutzung bezog sich auf öffentlich zugängliche Solarien in Deutschland. Ausgeschlossen waren Personen, die hauptsächlich private Solarien nutzen oder die unter ärztlicher Betreuung UV-therapiert werden. Von der Befragung ausgeklammert waren außerdem Betreiber oder Beschäftigte von Sonnenstudios.

5. ERGEBNISSE

5.1 BEFRAGUNGSERGEBNISSE DER ERSTEN ERHEBUNGSWELLE (W1)

5.1.1 Eckdaten der Solariennutzung (W1)

84 % der befragten Solariennutzer hatten in W1 ein Solarium innerhalb des letzten Jahres genutzt; für 16 % hatte dies zuletzt vor etwa ein bis zwei Jahren stattgefunden. Dabei wurde das Solarium durchschnittlich etwa 12-mal im Jahr in Anspruch genommen, dies allerdings mit einer großen Bandbreite von nur vereinzelt Besuchen im Jahr bis hin zu mehr als 4 Besuchen im Monat. Über die Jahreszeiten betrachtet fand die Nutzung bevorzugt im Winter und Herbst statt. Für gut drei Viertel der Befragten konzentrierte sich die Solariennutzung auf Sonnenstudios; weitere 10 % nutzten Solarien überwiegend in Fitnessstudios und 8 % im Schwimmbad bzw. in der Sauna.

Zwei Drittel der Solariennutzer waren in W1 weiblich, ein Drittel männlich. Im Schnitt waren die Nutzer etwa 39 Jahre alt und damit 10 Jahre jünger als der vergleichbare Bevölkerungsschnitt. 42 % der Befragten zählten allein zur Altersgruppe bis 34 Jahre. Die Solariennutzer waren außerdem mit einem Anteil von 71 % überdurchschnittlich häufig berufstätig und verfügten über einen hohen formalen Bildungsstand. Frauen und Männer waren sich in ihren Nutzungsgewohnheiten hinsichtlich Frequenz und Dauer bemerkenswert ähnlich.

Motivation für einen Solariumbesuch war in erster Linie die Bräunung. Mit höherem Alter stieg die Bedeutung der weiteren, insgesamt jedoch seltener genannten Motive, z. B. sich besser zu fühlen, attraktiver und gesünder auszusehen oder Licht und Wärme zu genießen. Die Gruppe ab 65 Jahre nannte relativ häufig auch erhoffte gesundheitliche Effekte, z. B. auf Knochen, Schuppenflechte, Rheuma und depressive Verstimmungen.

5.1.2 Allgemeiner Wissensstand über mögliche Risiken der Solariennutzung (W1)

Die befragten Solariennutzer waren in W1 fast ausnahmslos (98 %) über den Einsatz von künstlicher UV-Strahlung informiert und über die Tatsache, dass dies mit möglichen Risiken verbunden ist. Im Einzelnen stellte Hautkrebs bzw. Melanom das bekannteste Risiko dar (von knapp 90 % aktiv benannt). Andere mögliche Risiken wie etwa die vorzeitige Hautalterung oder der Sonnenbrand waren mit deutlich absteigender Häufigkeit bekannt.

Hautalterung, Hautkrebs und Sonnenbrand waren die drei Aspekte, bezüglich derer das persönliche Risiko noch relativ am höchsten eingeschätzt wurde. Bei sämtlichen untersuchten Risiken lagen die Anteile hoher Risikoeinschätzungen jedoch deutlich unter 20 %. Gleichzeitig war der Anteil derer hoch, die überhaupt kein bzw. nur ein geringes Risiko sahen. Dementsprechend wurde auch das eigene Gesamtrisiko relativ niedrig angesetzt. Insgesamt deuten die Werte auf eine relative Sorglosigkeit in Bezug auf die untersuchten Einzelrisiken hin.

Ein verhältnismäßig hoher Anteil (52 %) derjenigen Befragten, denen mindestens ein Risiko bekannt war, fühlte sich sehr gut bis gut über mögliche Risiken der Solariennutzung informiert. Diese subjektiv besser informierten neigten insgesamt dazu, das persönliche Risiko der Solariennutzung etwas geringer einzustufen als Befragte, die sich subjektiv weniger gut informiert (24 %) fühlen. Unabhängig vom Informationsstand wurden die Massenmedien (Fernsehen, Radio und Zeitungen) am häufigsten als Informationsquellen über mögliche Risiken der Solariennutzung genannt. Mit einigem Abstand galt dies auch noch für das Internet. Spezifische Informationen am Ort der Solariennutzung wurden aus der Gruppe der subjektiv gut informierten deutlich häufiger als Informationsquelle angegeben als von der Gruppe mit subjektiv mittlerem bzw. niedrigem Informationsstand.

5.1.3 Beratungsgespräch

In W1 waren lediglich 46 % der Solariennutzer überhaupt einmal beraten worden. Auch unter den häufigen Solariennutzern mit zwei bis vier Besuchen pro Monat betrug der Anteil der Beratenen nur 50 bis 60 %. Unter allen Solariennutzern gaben 17 % an, dass im letzten Jahr ein Beratungsgespräch erfolgt war. Die bisherige Beratungshäufigkeit war als eher niedrig einzustufen. Das letzte Beratungsgespräch wurde insgesamt nur von gut der Hälfte der Befragten (55 %) als „sehr gut“ oder „gut“ wahrgenommen.

Dabei wurde die Kompetenz des Beratungspersonals relativ besser bewertet als der Informationsgehalt des Gesprächs. Allein ein Viertel der Befragten berichtete allerdings, in der Beratung keinerlei Dokumente erhalten zu haben. In fast jedem (zuletzt erfolgten) Beratungsgespräch wurden die konkrete Benutzung des Solariums und die UV-Schutzbrille erläutert (97 bzw. 92 %). Mit je etwa 75 bis 70 % wurden in absteigender Reihenfolge auch die Aspekte Kosmetika, Schutzhinweise, gesundheitliche Risiken, Notabschaltung oder Hauttypbestimmung besprochen. Ein Dosierungsplan wurde bei 6 von 10 Befragten im letzten Beratungsgespräch erstellt. Krankheiten oder Medikamente wurden nur in der Hälfte der Beratungsgespräche als mögliche Ausschlussgründe thematisiert.

5.1.4 Wünsche der Solariennutzer an eine mögliche Beratung

In W1 war die Grundhaltung gegenüber der Beratung zur Solariennutzung positiv geprägt. Fast drei Viertel der befragten Solariennutzer wünschten eine solche Beratung sehr (27 %) oder eher (43 %). Der Zuspruch fiel noch höher aus, wenn bereits die Erfahrung einer Beratung gemacht wurde. Der Anteil der Befürworter einer Beratung stieg darüber hinaus mit steigender Nutzungsfrequenz des Solariums; nur unter den extrem häufigen Nutzern (mehr als 48 Solarienbesuche pro Jahr) sank die Zustimmung.

Die inhaltlichen Erwartungen an ein gutes Beratungsgespräch enthielten eine klare Priorisierung. So sollten aus Sicht der Befragten die Risiken der Solariennutzung erläutert, ein Dosierungsplan erstellt sowie eine Hauttypbestimmung vorgenommen werden. Die offen genannten sonstigen Erwartungen ließen sich mit den Stichworten Sachlichkeit, Neutralität, Serviceorientierung und Kundenfreundlichkeit in der Beratung auf dem Weg zum persönlichen Bräunungsergebnis zusammenfassen.

5.2 ERGEBNISSE DER ZWEITEN ERHEBUNGSWELLE UND VERGLEICH ZUR ERSTEN ERHEBUNGSWELLE (W2 UND W1)

5.2.1 Vergleich der Stichproben zu beiden Erhebungswellen

Die Zusammensetzung der befragten Solariennutzer fällt im Hinblick auf Alter, Geschlecht, Erwerbsstatus und Bildungsabschluss zwischen den beiden Messzeitpunkten ähnlich aus. Die berichtete Nutzungsintensität fällt mit 11,7 Besuchen/Jahr jedoch etwas niedriger aus als zum ersten Messzeitpunkt (12,3 Besuche/Jahr).

Die Zusammensetzung jener Solariennutzer, die im Laufe der letzten 12 Monate beraten wurden, zeigt durchaus Unterschiede im Zeitvergleich: In W2 sind die kürzlich Beratenen im Schnitt fast ein Jahr jünger als in W1, der Anteil der Männer ist um fast 10 Prozentpunkte auf 39 % gestiegen und die Nutzungshäufigkeit des Solariums liegt mit 17,6 Besuchen im Jahr deutlich unter dem Wert von 24,2 Besuchen in W1.

5.2.2 Bekanntheit der UVSV (W2)

Von der UV-Schutz-Verordnung hat in W2 mit 44 % fast die Hälfte der Solariennutzer gehört. Unter diesen wiederum hat fast die Hälfte der Befragten entsprechende Informationen (unter anderem) direkt am Ort der Solariennutzung erhalten, sei es über das Personal, über Aushänge oder Flyer. Auf die Gesamtheit der Solariennutzer bezogen entspricht dies einem Prozentanteil von lediglich 21 %, die am Ort der Solariennutzung von dieser Regelung erfahren haben.

5.2.3 Charakteristika am Ort der Solariennutzung (W2)

Am Ort der Solariennutzung sind in W2 Aushänge und UV-Schutzbrillen für drei von vier Nutzern bereits die Regel, über schriftliche Informationen zur UV-Strahlung und speziell geschultes Personal berichten je etwa 4 von 10 Befragten. Dies gilt weitestgehend unabhängig vom Zeitpunkt der letzten Solariennutzung. Ein zeitlicher Zusammenhang ist allerdings bei Hinweisen des Personals auf die Schädlichkeit der UV-Strahlung zu verzeichnen (37 %, wenn die letzte Nutzung im Laufe der letzten 12 Monate erfolgte vs. 26 %, wenn die letzte Nutzung länger her war).

Solariennutzer mit Solarienbesuch im letzten Jahr nehmen am Ort ihrer Nutzung folgende Veränderungen wahr: Veränderungen der Geräte (35 %), Information und Beratung (14 %) und Veränderungen der Verfügbarkeit von UV-Schutzbrillen (7 %). Die offenen Angaben lassen darauf schließen, dass die Veränderungen überwiegend, aber nicht immer, in Richtung eines stärkeren Schutzes der Nutzer gehen.

5.2.4 Beratung (W2 und W1)

Mit 48 % lag in W2 der Anteil der Beratenen ähnlich hoch wie in W1 (46 %).

Die Zahl der bisher erhaltenen Beratungsgespräche scheint ebenfalls gegenüber W1 nicht gestiegen zu sein, sondern ist tendenziell eher etwas rückläufig. Wenn bereits eine Beratung erfolgte, hat das letzte Beratungsgespräch für 36 % der Beratenen im Laufe des letzten Jahres stattgefunden (in W1 für 39 %).

5.2.5 Inhalte der Beratung (W2 und W1)

Im Detail zeigen sich mit Ausnahme der jetzt etwas seltener erwähnten Schutzhinweise gegenüber W1 fast keine Unterschiede in den Themen des letzten Beratungsgesprächs (u. a. UV-Schutzbrille, gesundheitliche Risiken, Hauttypbestimmung, Dosierungsplan, Ausschlusskriterien). Auch über die eigentliche Beratung hinaus weisen die Nutzerinnen und Nutzer in W2 insgesamt einen sehr ähnlichen Informationsstand zu den genannten Beratungsinhalten auf wie in W1.

Im Vergleich der Substichproben der in den jeweils letzten 12 Monaten Beratenen wurden einige Aspekte in W2 sogar seltener thematisiert als in W1 (z. B. die Schutzhinweise, die Erläuterung der gesundheitlichen Risiken und die Abfrage von Krankheiten oder Medikamenten als Ausschlusskriterien).

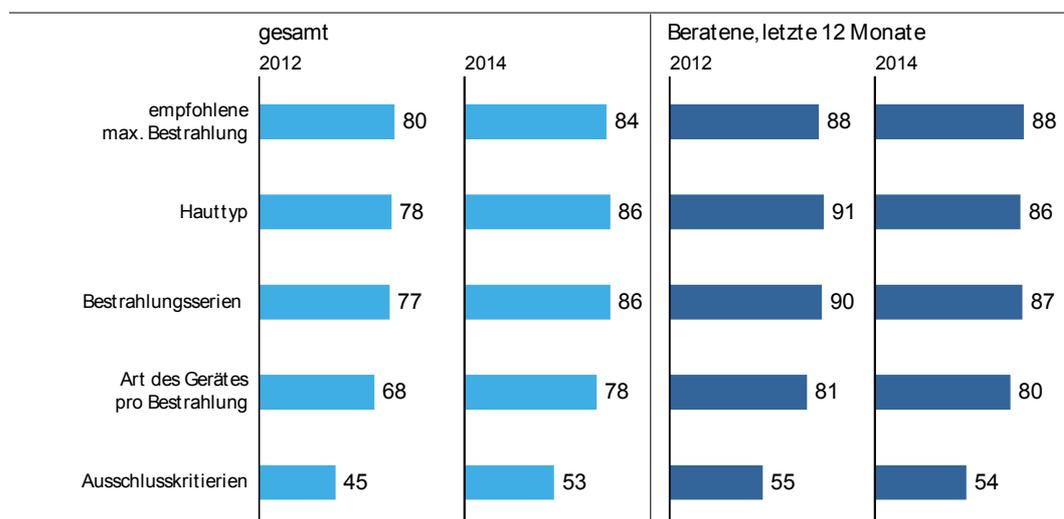
5.2.6 Schutzhinweise, Dosierungsplan (W2 und W1), Hauttypbestimmung (W2)

Wenn die Solariennutzer auf die Schutzhinweise hingewiesen wurden, hat mehr als die Hälfte der Befragten diese zumindest kurz zur Kenntnis genommen und ein knappes Viertel genau durchgelesen. Dies gilt gleichermaßen für beide Messzeitpunkte und auch unabhängig davon, ob die Beratung im Laufe der letzten 12 Monate oder bereits früher erfolgte. Die Bewertung der Schutzhinweise fällt in W2 sowohl insgesamt als auch unter den kürzlich Beratenen geringfügig positiver aus als in W1.

Ebenfalls um einige Prozentpunkte positiver bewertet als in W1 wird der Dosierungsplan (s. Abbildung 1). Dieser enthält laut der in W2 Befragten auch umfassendere Informationen: Von der empfohlenen maximalen Bestrahlung bis hin zu Ausschlusskriterien werden alle in W2 abgefragten Angaben im Dosierungsplan deutlich häufiger genannt. Dieser Effekt zeigt sich vor allen Dingen im Vergleich der Gesamtstichproben von W1 und W2.

Die im Laufe der letzten 12 Monate Beratenen berichten wiederum in beiden Erhebungswellen häufiger über die Nennung der abgefragten Angaben im Dosierungsplan als die Gesamtheit aller Beratenen.

Welche der folgenden Angaben enthielt der Dosierungsplan?



Angaben in Prozent; Mehrfachnennung möglich. Befragte, die in der letzten Beratung oder anderweitig einen Bräunungs- bzw. Dosierungsplan erhielten

Evaluation UV-Schutz-Verordnung – Bericht zur Erhebung 2014
in 2012 und 2014 jeweils n = 1.500 telefonisch befragte Solariumnutzer

Abbildung 1: Angaben über die Inhalte des zuletzt erhaltenen Dosierungsplans aus Sicht der befragten Solariumnutzer, die einen solchen Plan erhalten hatten, 2012 und 2014

Bei 48 % der in W2 Befragten wurde bereits eine Hauttypbestimmung durchgeführt (s. Abbildung 2). Diese fand überwiegend mittels einzelner, gezielter Fragen statt (52 % bei Ermittlung des Hauttyps in den letzten 12 Monaten vs. 56 % bei Ermittlung des Hauttyps vor mehr als 12 Monaten). Dabei ist ein umfassender Fragebogen mit etwa 10 Fragen im Laufe der letzten 12 Monate häufiger zum Einsatz gekommen (47 %) als in früheren Beratungen (41 %). Gleiches betrifft aber auch den jetzt häufigeren Einsatz eines Hautsensors (38 % bei Ermittlung des Hauttyps in den letzten 12 Monaten vs. 30 % bei Ermittlung des Hauttyps vor mehr als 12 Monaten), obwohl der Einsatz eines solchen Gerätes die Hauttypbestimmung mittels des erwähnten Fragebogens nicht ersetzt, wie explizit in der Bundesdrucksache 825/10 (S. 58) ausgeführt ist.

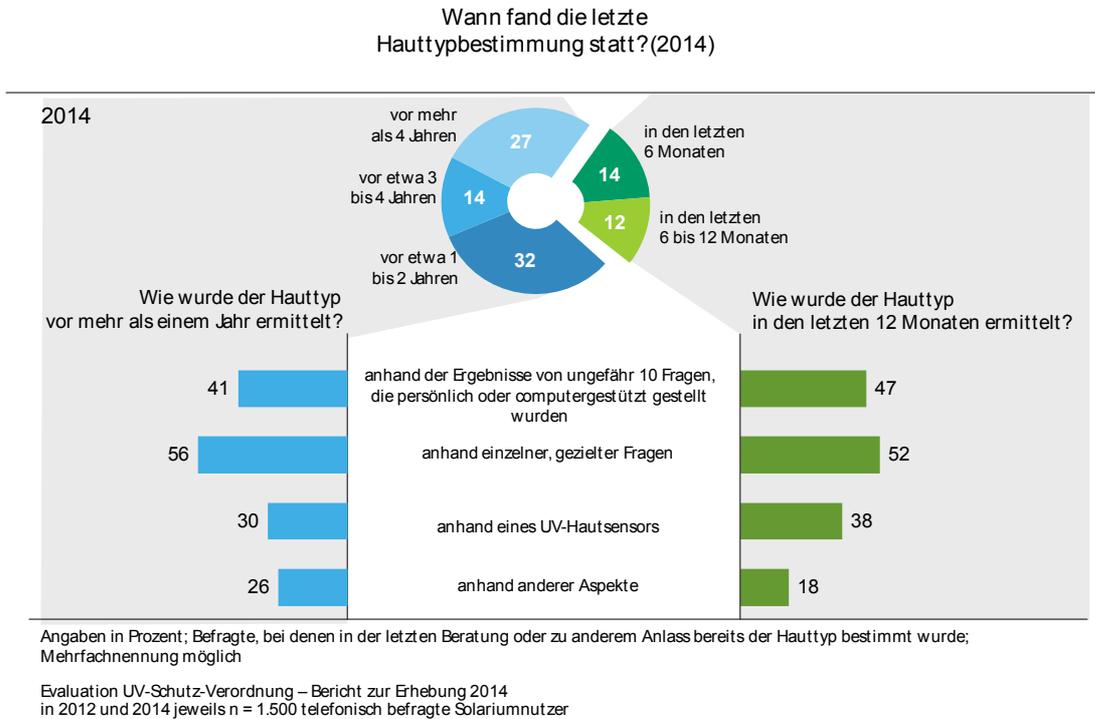


Abbildung 2: Zeitpunkt und Art der letzten Hauttypbestimmung aus Sicht der befragten Solariumnutzer, die eine Hauttypbestimmung erhalten hatten, 2014

Nachfragen zur Hauttypbestimmung wurden nur in W2 gestellt. Daher entfällt an dieser Stelle der Zeitvergleich.

5.2.7 Risikowahrnehmung (W2 und W1)

Das in W1 gefundene Bild der Bekanntheit von gesundheitlichen Risiken bestätigt sich auch in W2: Von Hautkrebs bis hin zu Schädigung des Erbguts sind alle untersuchten Risiken in ähnlichem Ausmaß bekannt wie in W1. Leichte Anstiege um jeweils 3 bis 4 Prozentpunkte sind bezüglich der hautrelevanten Aspekte Hautalterung, Sonnenbrand und allergische Hautreaktionen zu verzeichnen. Sonnenbrand ist zudem der Aspekt, der einen deutlichen Zuwachs an spontanen, ungestützten Nennungen als Risikofaktor verzeichnet (von 24 % in W1 auf 31 % in W2).

Das persönlich empfundene Risiko bezüglich der bekannten negativen Aspekte liegt in W2 auf ähnlichem Niveau wie in W1. Die in den letzten 12 Monaten Beratenen bewerten alle untersuchten Risiken im Schnitt geringer als die Gesamtstichproben der jeweiligen Messzeitpunkte. Bei beiden Erhebungswellen liegt die Risikowahrnehmung der im Laufe der letzten 12 Monate Beratenen untereinander im Vergleich wiederum auf stabilem Niveau, wobei lediglich die Aspekte Hautkrebs und Bindehautentzündung in W2 kritischer gesehen werden als in W1.

Das persönlich empfundene Gesamtrisiko der Solariennutzung liegt in W2 in Verteilung und Mittelwert nahezu identisch zu W1. Auch die gegenüber den in W2 gesamt Befragten geringere Risikowahrnehmung der im Laufe der letzten 12 Monate Beratenen ist im Zeitvergleich unverändert.

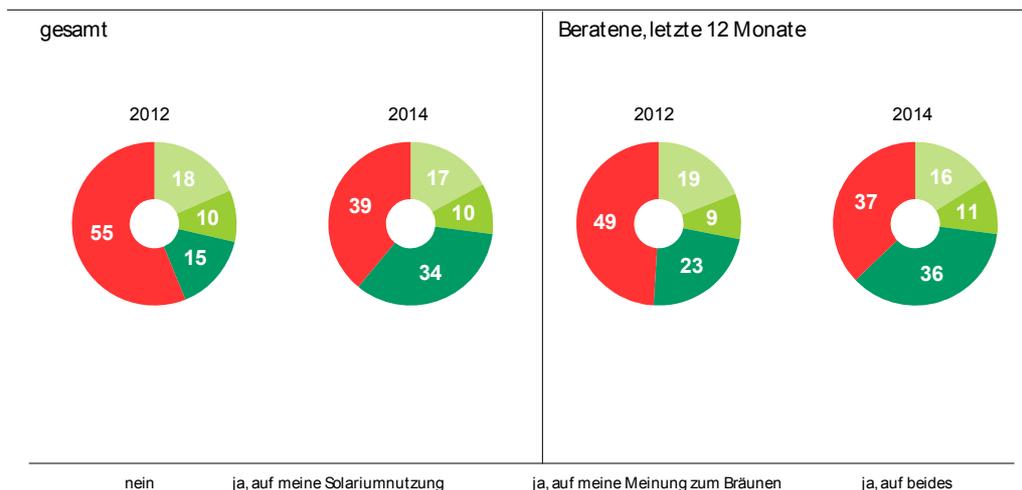
In W2 ist ein Anstieg der genutzten Informationsquellen am Ort der Solariennutzung gegenüber W1 zu verzeichnen bezüglich Aushängen bzw. Informationen am Ort der Nutzung (64 % vs. 53 %) und bezüglich Per-

sonal (47 % vs. 42 %). Dies gilt ebenfalls für die im Laufe der letzten 12 Monate Beratenen beider Erhebungswellen.

5.2.8 Effekte der Kenntnisse über Risiken (W2 und W1)

Ob die Kenntnisse über mögliche Risiken einen möglichen Einfluss auf die eigene Solariennutzung und/oder auf Einstellung und Meinung haben, bejahen in W2 insgesamt 61 % - in W1 lediglich 43 % (s. Abbildung 3).

Hatten Sie den Eindruck, dass Ihre Kenntnisse über mögliche Risiken irgendeinen Einfluss auf Ihre Solariumnutzung oder Ihre Meinung zum allgemeinen Bräunen hatten oder war das eher nicht der Fall?



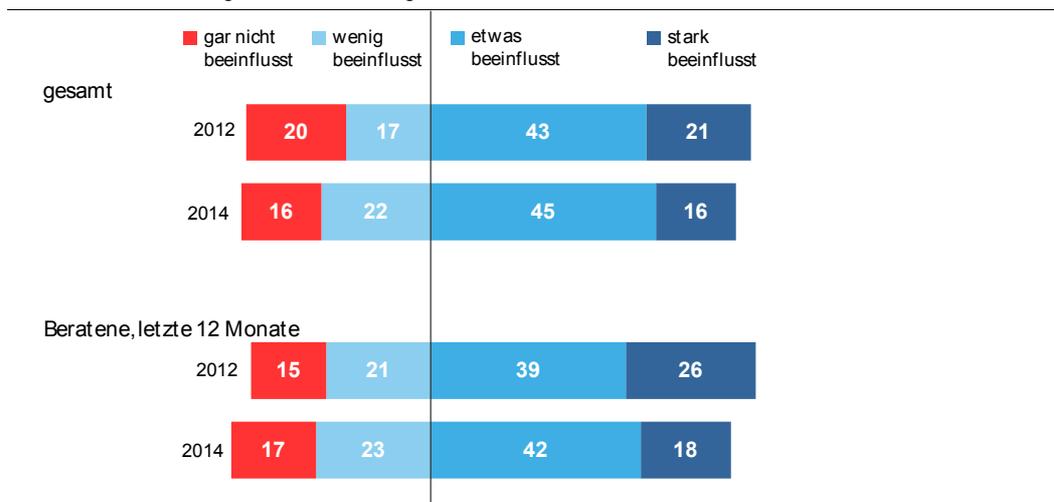
Angaben in Prozent; an 100%-Fehlende: weiß nicht/verweigert, Mehrfachnennung überführt in Einfachnennung

Abbildung 3: Einflüsse der eigenen Kenntnisse über mögliche Risiken der Solariumnutzung auf die Solariumnutzung und/oder die Meinung darüber aus Sicht der befragten Solariumnutzer, denen mindestens ein Risiko der Solariumnutzung bekannt war, 2012 und 2014

Die Befragten in W2 geben insgesamt mehr Veränderung Ihrer Solariennutzung bzw. Meinung zum allgemeinen Bräunen durch die Kenntnis möglicher Risiken an als in W1. Der stärkste Effekt der Kenntnisse geht in Richtung einer selteneren Solariennutzung (34 % in W2 gegenüber 27 % in W1). Insgesamt betrachtet weisen die Ergebnisse auf eine in W2 gestiegene Bereitschaft, Kenntnisse über mögliche Risiken in entsprechendes Verhalten oder in Einstellungen umzusetzen.

Der Beratung selbst wiederum wird von etwa 6 von 10 Befragten durchaus ein Effekt im Hinblick auf die geschilderten Veränderungen zugeschrieben. Dieses Ergebnis veränderte sich sowohl für die Gesamtheit als auch für die im Laufe der letzten 12 Monate Beratenen im Zeitvergleich zwischen W1 und W2 nicht gravierend. Für die Gesamtheit und die Beratenen in den letzten 12 Monaten konnte gegenüber der ersten Befragungswelle eine eher niedrigere Beeinflussung durch die Beratung beobachtet werden (s. Abbildung 4).

Welche Rolle hat die von Ihnen erhaltene Beratung im Hinblick auf die geschilderten Veränderungen gespielt?
Hat Sie die Beratung Ihrer Einschätzung nach...



Angaben in Prozent; Befragte, die schon einmal ein Beratungsgespräch geführt haben und deren Kenntnisse über mögliche Risiken Einfluss auf die Art und Weise der Solariennutzung oder auf die Meinung zum allgemeinen Bräunen gehabt haben.

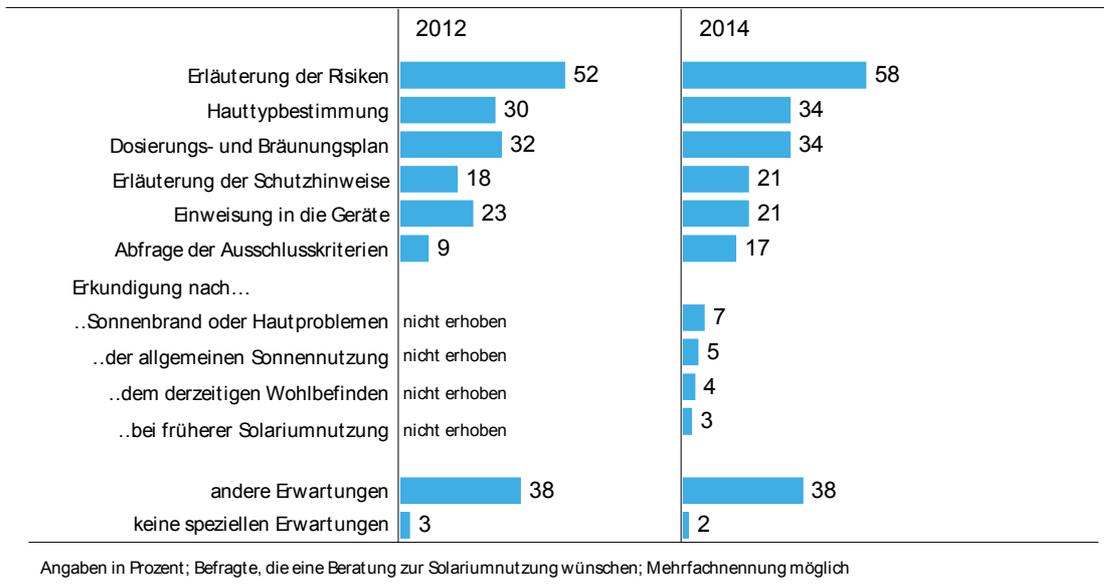
Evaluation UV-Schutz-Verordnung – Bericht zur Erhebung 2014
in 2012 und 2014 jeweils n = 1.500 telefonisch befragte Solariumnutzer

Abbildung 4: Einflussstärke der erhaltenen Beratung im Hinblick auf eine veränderte Solariumnutzung und/oder Meinung aus Sicht der befragten Solariumnutzer, die davon ausgehen, dass ihre Kenntnisse über mögliche Risiken ihr Verhalten und/oder ihre Meinung beeinflusst haben, 2012 und 2014

5.2.9 Bewertung der Beratung (W2 und W1)

Die Gesamtbewertung des Beratungsgesprächs weist sehr stabile Werte auf. Eine Entwicklung ins Positive zeichnet sich in W2 insbesondere bei der bisher noch eher kritisch beurteilten Qualität der erhaltenen Dokumente ab. Des Weiteren ist die Beratung grundsätzlich in beiden Erhebungswellen gewünscht, und zwar zu einem hohen Anteil auch „sehr gewünscht“. Unter den im Laufe der letzten 12 Monate Beratenen ist die ohnehin bereits hohe Präferenz für die Beratung in W2 nochmals gegenüber W1 deutlich gestiegen. Dabei streut die Vorstellung, wie häufig eine solche Beratung gewünscht ist, von der Beratung bei jeder Nutzung bis hin zu einem jährlichen Beratungsrhythmus. Bezüglich der Beratungsinhalte sind die gleichen Aspekte gewünscht wie in W1 (s. Abbildung 5).

Was wünschen Sie sich von einem guten Beratungsgespräch zur Solariumnutzung? Was sind Ihre Erwartungen?



Evaluation UV-Schutz-Verordnung – Bericht zur Erhebung 2014
in 2012 und 2014 jeweils n = 1.500 telefonisch befragte Solariumnutzer

Abbildung 5: Wünsche und Erwartungen an ein gutes Beratungsgespräch aus Sicht der befragten Solariumnutzer, 2012 und 2014

5.3 ZUSAMMENFASSUNG DER VERÄNDERUNGEN ZWISCHEN DEN MESSZEITPUNKTEN

Grundsätzlich zeichnet sich die Studie durch überwiegend konstante Ergebnisse im Vergleich der beiden Erhebungswellen aus. Viele Eckdaten der Solariennutzung haben sich zwischen den Erhebungswellen nicht maßgeblich verändert. Allerdings lassen sich im Detail doch einzelne Veränderungen und Trends identifizieren. Zwar beruhen diese jeweils nur auf graduellen Unterschieden von wenigen Prozentpunkten, sie geben jedoch in der vorgenommenen Gruppierung Aufschluss auf mögliche Entwicklungen.

5.3.1 Keine Veränderungen über die Zeit

Der Anteil der Beratenen liegt zu beiden Messzeitpunkten gleich hoch; ebenso die Anzahl der bisher erhaltenen Beratungen. Unverändert sind auch Zeitpunkt und Ort der letzten Beratung. Viele Inhalte der Beratung werden unverändert häufig thematisiert; auch die unabhängig von der Beratung erworbenen Kenntnisse sind nicht gestiegen. Entsprechend fällt auch die Gesamtzufriedenheit mit dem erhaltenen letzten Beratungsgespräch gleich aus wie in W1. Schutzhinweise werden in W2 nicht intensiver gelesen als in W1. Den Nutzern wurde zu gleichen Anteilen bereits einmal von der Nutzung abgeraten. In etwa gleich blieb auch die subjektive Einschätzung eines möglichen Effekts der Beratung auf die eigene Verhaltens- oder Meinungsänderung (vgl. Abbildung 4). Schließlich ist ebenfalls die Einschätzung des persönlichen Gesamtrisikos bezüglich der Solariennutzung sowie bezüglich der Einzelrisiken als unverändert zu betrachten.

5.3.2 Veränderungen, die sowohl die Gesamtstichprobe als auch die im Laufe der letzten 12 Monate Beratenen betreffen

Es gibt einen steigenden Männeranteil im Vergleich zur ersten Welle. Auf die Schutzhinweise werden die Befragten zwar etwas seltener in der Beratung oder anderweitig hingewiesen als in W1; Schutzhinweise und Dosierungsplan werden jedoch jetzt positiver bewertet. Die hautrelevanten Risiken der Solariennutzung (Sonnenbrand, Hautalterung, Allergie) sind den Befragten in W2 bekannter. Informationen am Ort der Solariennutzung durch Aushänge und Personal werden stärker wahrgenommen. Man setzt sich tendenziell etwas seltener über die Empfehlung hinweg, das Solarium aus bestimmten Gründen nicht zu nutzen. Schließlich wird öfter der subjektive Eindruck berichtet, dass sich die eigenen Kenntnisse über die Solariennutzung auf das persönliche Verhalten und/oder die diesbezüglichen Meinungen auswirken (vgl. Abbildung 3). Die Erwartungen

an ein Beratungsgespräch enthalten in W2 zu einem höheren Anteil die Abfrage der Ausschlusskriterien als in W1.

5.3.3 Veränderungen, die ausschließlich die im Laufe der letzten 12 Monate Beratenen betreffen

Die in den letzten 12 Monaten Beratenen in W2 sind im Schnitt etwas jünger und nutzen das Solarium im Schnitt etwas öfter als die vergleichbare Gruppe in W1. Sie haben zu einem geringeren Anteil den Eindruck, „sehr gut“ über mögliche Risiken der Solariennutzung informiert zu sein als in der ersten Erhebungswelle. Das persönliche Risiko bezüglich Hautkrebs und Bindehautentzündung wird nun höher eingeschätzt. Die Befragten sprechen sich auch grundsätzlich stärker für die Beratung aus als in der Vergangenheit (höherer Anteil „sehr gewünscht“). Insgesamt haben sich für die Gruppe der im Laufe der letzten 12 Monate Beratenen nur wenige Unterschiede zwischen den Messzeitpunkten herausstellen lassen, die nicht auch für die jeweiligen Gesamtstichproben gelten. Die Tatsache, dass von den meisten ermittelbaren Trends die Gesamtheit der Nutzer ebenfalls betroffen ist, spricht dafür, dass neben dem Beratungsgespräch auch andere Einflüsse wirksam sind.

5.4 HINWEISE ZUR ERGEBNISINTERPRETATION

Diese Studie wurde so angelegt, dass der Fokus auf der Untersuchung der Beratung als Einflussquelle auf die Solariennutzerinnen und -nutzer lag. Fragebogen und Auswertungen wurden entsprechend konzipiert. Entsprechend wurde nicht erfasst, welche personellen und technischen Gegebenheiten die Befragten an dem Ort ihrer Solariennutzung im Detail vorfinden, welche Regelungen der UVSV hinsichtlich des Betriebs, der Geräte und der Informationspflichten dort real umgesetzt werden, welche davon möglicherweise auch bereits vor Inkrafttreten der UVSV realisiert waren, ob die zuletzt erhaltene Beratung tatsächlich nach den Vorgaben der UVSV erfolgte, d. h. durch Fachpersonal, das an akkreditierten Schulungsstätten qualifiziert wurde, und welche Informationen an den Orten der Solariennutzung auch außerhalb von Beratungsgesprächen vermittelt werden. Außen vor blieben auch die möglichen Einflüsse der öffentlichen Berichterstattung und Diskussion zum Thema der Solariennutzung in den Massenmedien.

6. UMSETZUNG DER ERGEBNISSE

Die Ergebnisse lassen einen positiven Trend hin zu einem besser informierten Verhalten und damit hin zu einem verbesserten Verbraucherschutz seit Einführung der rechtlichen Regelungen für den Betrieb von Solarium erkennen. Somit bestätigen die Ergebnisse, dass das Ziel des Gesetzgebers, einen effektiven Strahlenschutz und damit einen effektiven Verbraucher- und Gesundheitsschutz für Solariennutzerinnen und -nutzer zu implementieren, mit der Einführung der UV-Schutz-Verordnung erreicht werden kann, zumal eine Beratung gewünscht bis sehr gewünscht wird. Die Ergebnisse lassen aber auch erkennen, dass eine Beratung vor Ort noch nicht den vom Gesetzgeber gewünschten Stellenwert einzunehmen scheint. In einem nächsten Schritt wäre darum die reale Umsetzung des Beratungsgebots vor Ort zu evaluieren.

Thema			
Machbarkeitsstudie zum Aufbau einer Geburtskohorte und zur Überprüfung genetischer Prädisposition bei kindlichen Leukämien - Folgebefragung			
Subject			
<i>Feasibility study for establishing a birth cohort and for testing genetic predisposition to childhood leukaemia - Follow-up</i>			
Kennzeichen	Beginn	Ende	Fördermittel
3613S70020	01.01.2014	30.06.2014	EUR 89.928,-
Forschungs- / Auftragnehmer			
Leibniz-Institut für Präventionsforschung und Epidemiologie - BIPS GmbH			
Projektleitung	Fachbetreuung BfS	verantwortlich für den Text	
Prof. Dr. H. Zeeb	Dr. A. Dehos / AG-SG	S.A. Ernst	

1. ZIELSETZUNG

Die wesentlichen Ziele dieser Machbarkeitsstudie innerhalb der Folgebefragung umfassen

- die Untersuchung der Bereitschaft der Teilnehmerinnen, postnatal an einer Folgebefragung innerhalb eines solchen Forschungsvorhaben teilzunehmen sowie
- die Entwicklung und Testung (Akzeptanz) einer alternativen Erhebungsmethode (webbasierte Befragung) innerhalb einer Geburtskohorte.

2. EINZELZIELSETZUNG

Insgesamt umfasste die Folgebefragung 4 Arbeitspakete (AP):

- Planung und Durchführung einer Follow-up-Befragung einschließlich der Klärung datenschutzrechtlicher und ethischer Fragen (AP 1)
- Erstellung der Erhebungsinstrumente (AP 2)
- Datenerhebung (AP 3)
- Datenanalyse und Erarbeitung von Empfehlungen für die Follow-up-Befragungen im Rahmen einer deutschen Geburtskohorte (AP 4)

3. METHODIK

Die Folgebefragung wurde in Bremen im Zeitraum Januar 2014 bis einschließlich September 2014 durchgeführt. Rekrutiert wurde über bereits bestehende Kontakte mit der kooperierenden Geburtsklinik sowie zwei weiteren Geburtshäusern im Stadtgebiet Bremen im Zeitraum Februar 2014 bis einschließlich August 2014.

AP 1 umfasste die Planung der Follow-up-Befragung einschließlich der Klärung datenschutzrechtlicher und ethischer Aspekte. Die im Rahmen der ursprünglichen Machbarkeitsstudie rekrutierten Mutter-Kind-Paare, die in der Einverständniserklärung zur Studienteilnahme angegeben haben, dass sie bereit sind, an der Geburtskohorte und auch an einer möglichen Folgebefragung teilzunehmen, bildeten den Grundstock für die Follow-up-Befragung.

Um aussagekräftige Ergebnisse für die Folgebefragung zu erzielen, wurden in Zusammenarbeit mit der kooperierenden Geburtsklinik sowie den Geburtshäusern weitere Mutter-Kind-Paare rekrutiert. Einschlusskriterien für die neu zu rekrutierenden Teilnehmerinnen der Folgestudie waren

- ein voraussichtlicher Geburtstermin innerhalb des Rekrutierungszeitraumes von Februar 2014 bis einschließlich August 2014 sowie
- ausreichende Sprachkenntnisse, um die Studieninhalte zu verstehen und die Fragebögen zu beantworten.

Die neu rekrutierten Teilnehmerinnen wurden innerhalb dieser Folgestudie zu zwei Zeitpunkten befragt: pränatale Baseline-Befragung im letzten Trimenon der Schwangerschaft und postnatale Follow-up-Befragung 8 Wochen nach Geburt.

Vor Beginn der Feldphase wurde das positive Votum der Ethikkommission der Ärztekammer Bremen eingeholt und ein Datenschutzkonzept erstellt.

In AP 2 „Erstellung der Erhebungsinstrumente“ wurden neben den Erhebungsinstrumenten aus der ursprünglichen Machbarkeitsstudie folgende Instrumente für die Folgebefragung entwickelt:

- Anschreiben und Informationsmaterial (per E-Mail & postalisch)
- Website
- Webbasierte Version des Baseline-Fragebogens aus der ursprünglichen Machbarkeitsstudie
- Follow-up Fragebogen: webbasierte Version sowie Papierversion (Pseudonym)
- Einverständniserklärung zur Kontaktaufnahme.

Die Folgebefragung der Mütter wurde primär mittels webbasierter Befragung durchgeführt. Alternativ wurde den Teilnehmerinnen der Fragebogen auch als Selbstausfüller zur Verfügung gestellt.

AP 3 „Datenerhebung“ beinhaltete die Kontaktierung und Folgebefragung von Studienteilnehmerinnen aus der ursprünglichen Machbarkeitsstudie sowie die Rekrutierung und Befragung vor und nach der Geburt der neu rekrutierten Studienteilnehmerinnen. Die Datenerhebung startete im Februar 2014 und wurde endgültig im September 2014 abgeschlossen.

AP 4 „Datenanalyse und Erarbeitung von Empfehlungen für die Follow-up-Befragungen im Rahmen einer deutschen Geburtskohorte“ ist das zusammenführende Arbeitspaket. AP 4 wurde gemeinsam von den an der Machbarkeitsstudie beteiligten Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftlern, den Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern aus dem Feldarbeitsteam sowie weiteren Beteiligten unter Federführung des Projektleiters erarbeitet. Folgende Aspekte wurden bei der Erstellung von Empfehlungen berücksichtigt:

- datenschutzrechtliche und ethische Fragen
- zeitlicher und finanzieller Aufwand für eine Follow-up-Befragung (z .B. Kosten für Personal, Porto und Druck)
- Möglichkeiten zur Steigerung der Akzeptanz der Folgebefragung
- Empfehlungen zu den Angaben aus den ersten Vorsorgeuntersuchungen der Kinder, die für die Fragestellung der Geburtskohorte relevant sind und demnach bei der/den anfänglichen Anpassung/en des Fragebogens erfasst werden sollten
- Bewertung und ggf. Anpassung des Fragebogens
- Empfehlungen hinsichtlich der Frage, welche Befragungsmethode für die Follow-up-Befragung zu bevorzugen ist.

4. DURCHFÜHRUNG

Die Fachgruppe Feldarbeit bei BIPS kontaktierte per E-Mail oder per Post zunächst die Mütter aus der ursprünglichen Machbarkeitsstudie und informierte sie über die Folgebefragung. Die Anschreiben enthielten einen Weblink und einen individuellen Zugangsschlüssel, über welchen sie an der Folgebefragung teilnehmen konnten. Alternativ auf Wunsch konnten die Studienteilnehmerinnen postalisch an der Befragung (Selbstausfüller) teilnehmen.

Die Rekrutierung von neuen Studienteilnehmerinnen erfolgte zum einen über die bereits bestehende Kooperation mit der Geburtsklinik (St. Joseph Stift) aus der ursprünglichen Machbarkeitsstudie und zum anderen mit Geburtshäusern in Bremen. Hierfür wurden Kontakte zum Klinikpersonal und Hebammen wieder aufgenommen und intensiviert, um die Ansprache von potenziellen Studienteilnehmerinnen vorzubereiten. Im Rahmen von Angeboten für Schwangere wie Kreißsaalbegehungen, Hebammensprechstunden, Geburtsvorbereitungskurse wurden werdende Mütter durch Projektmitarbeiterinnen angesprochen. Bei Zustimmung zur Kontaktaufnahme und Angabe einer E-Mailadresse erhielten die Frauen ihr Anschreiben mit dem Weblink und dem individuellen Zugangsschlüssel per E-Mail, über welchen sie an der webbasierten Befragung teilnehmen konnten. Falls keine E-Mail-Adresse vorlag, wurde die Einladung mit dem Weblink und dem Zugangsschlüssel per Post verschickt.

Um zu testen, ob eine Aufwandsentschädigung die Teilnahmebereitschaft erhöht, wurde die Response mit und ohne Incentive getestet. Für jede vollständig ausgefüllte Befragung gab es ein Incentive von 10 €. Dazu wurde 50 % der Frauen ein Incentive bei vollständiger Teilnahme vorher angeboten. Die anderen 50 % erhielten nach Abschluss der Erhebung ebenfalls (jedoch ohne Vorankündigung) die monetäre Aufwandsentschädigung. Hierbei wurde eine pragmatische Vorgehensweise gewählt. So wurde das Incentive nur potenziellen Studienteilnehmerinnen vorher angekündigt, wenn sie in ungeraden Wochen angesprochen wurden. Eine eindeutige Identifizierung wurde durch die Vergabe von unterschiedlichen Studienteilnehmerinnennummern (IDs) sichergestellt.

5. ERGEBNISSE

5.1 CHARAKTERISTIK DER STUDIENPOPULATION

Insgesamt haben 111 Teilnehmerinnen an der Baseline-Befragung teilgenommen, 48 Mutter-Kind-Paare aus der ursprünglichen Machbarkeitsstudie und weitere 63 Mutter-Kind-Paare, die zwischen Januar und August 2014 in die Studie eingeschlossen wurden. 94 Teilnehmerinnen waren ebenso bereit an der Befragung nach der Geburt teilzunehmen. Die teilnehmenden Frauen waren im Median 33 Jahre alt (Altersbereich 30-36 Jahre). Die Befragung nach Geburt fand bei den Teilnehmerinnen der ursprünglichen Machbarkeitsstudie im Median 1,4 Jahre (1,3-1,7 Jahre) nach Geburt der Kinder statt. Die Kinder der neu rekrutierten Teilnehmerinnen waren zum Zeitpunkt der Folgebefragung im Median 1,8 Monate (1,5-2,4 Monate) alt.

5.2 RESPONSE DER BASELINE- UND FOLLOW-UP-BEFragung UND NUTZUNG DER WEBBASIERTEN ERHEBUNGSINSTRUMENTE

Insgesamt wurden 42 von 48 Frauen aus der ursprünglichen Machbarkeitsstudie im Rahmen der Folgebefragung kontaktiert und gebeten, an einer weiteren Befragung teilzunehmen. Für 34 der 42 potenziellen Studienteilnehmerinnen aus der bestehenden Kohorte war eine E-Mail-Adresse in den Kontaktdaten vermerkt. Acht der potenziellen Studienteilnehmerinnen wurden per Post kontaktiert.

Im Rahmen der Folgebefragung wurden 120 werdende Mütter angesprochen, von denen sich 63 werdende Mütter für eine Studienteilnahme bereit erklärten. Insgesamt beträgt die geschätzte Response für die Baseline-Befragung für die bestehende Kohorte sowie die neu rekrutierten Studienteilnehmerinnen 34,7 % (111/320). Die webbasierte Erhebungsmethode wurde innerhalb der Baseline Befragung ausschließlich für die neu rekrutierten Studienteilnehmerinnen angeboten. 98,4 % (62/63) der neu rekrutierten Studienteilnehmerinnen nutzten die webbasierte Erhebungsmethode. Nur eine Studienteilnehmerin äußerte den Wunsch, postalisch an der Befragung teilzunehmen.

An der Folgebefragung (Follow-up) nahmen 38 der 42 kontaktierten Studienteilnehmerinnen der bestehenden Kohorte sowie 56 der 63 neu rekrutierten Studienteilnehmerinnen teil. Dies entspricht einer Response von 84,7 % (94/111). Innerhalb des Follow-ups nutzten 88,1 % der Studienteilnehmerinnen (bestehende Kohorte sowie neu rekrutierte Teilnehmerinnen) die webbasierte Erhebungsmethode. Mit 98,2 % (55/56) nutzten die neu rekrutierten Studienteilnehmerinnen häufiger die webbasierte Erhebungsmethode.

5.3 INCENTIVIERUNG

50 % der Teilnehmerinnen wurde das Incentive vorher angeboten, die anderen 50 % erhielten nach Abschluss der Erhebung ebenfalls die monetäre Aufwandsentschädigung ohne Ankündigung. Insgesamt wurde 36 Frauen das Incentive angeboten und 35 Frauen erfuhren von der Aufwandsentschädigung erst nach der Teilnahme. 86,1 % der Frauen (31 von 36 Frauen), die im Vorfeld über das Incentive informiert wurden, nahmen an der Befragung teil. Zum Vergleich nahmen 77,1 % (27 von 35), die nichts von dem monetären Dankeschön wussten, an der Befragung teil.

Die Teilnahmebereitschaft für die webbasierten Befragungen war demnach bei initialem Einsatz von Incentives um 12 % höher, wobei keine Kontrolle sonstiger Unterschiede der Gruppen vorliegt und dieser Unterschied daher vorsichtig zu interpretieren ist. In dieser Studie wurde Geld als Incentive gewählt, da 10 € als ein angemessenes und attraktives Incentive für die Zielgruppe eingeschätzt wurde und die Teilnehmerinnen im Vorfeld nicht bekannt waren, um über ein passendes Incentive zu entscheiden.

5.4 EMPFEHLUNGEN FÜR DIE FOLLOW-UP-BEFragung IM RAHMEN EINER DEUTSCHEN GEBURTSKOHORTE

5.4.1 Datenschutzrechtliche und ethische Fragen

Ergebnisse der ursprünglichen Machbarkeitsstudie ergaben folgende generelle Punkte, die besonderer Beachtung bedürfen:

- Möglichst wenige Stellen bei der Datenhaltung einbeziehen
- Kohorten-/Forschungsansatz muss gut begründet sein
- Frühzeitige Trennung von personenidentifizierenden Daten und Befragungs-/Analysedaten/Bioproben (siehe auch umfassende Begründung Abschlussbericht der ursprünglichen Machbarkeitsstudie)

Insbesondere muss die wissenschaftliche Notwendigkeit ausreichend begründet werden, dies hat sich auch in Bezug auf die Folgebefragung gezeigt.

Da ein umfassender positiv begutachteter Ethikantrag bereits aus der ursprünglichen Kohorte vorlag, konnte mit relativ wenig Aufwand ein Ergänzungsantrag zum ursprünglichen Ethikantrag gestellt werden. Die Ethikkommission der Ärztekammer Bremen hatte keine Einwände gegen die Fortführung des Projektes. Der Ergänzungsantrag erhielt ein positives Votum.

Eine Besonderheit bei der Folgebefragung war, dass primär webbasierte Erhebungsinstrumente bei der Befragung genutzt wurden. Wichtig sind in diesem Zusammenhang möglichst hohe Sicherheitsstandards bei der elektronischen Datenerhebung und -übermittlung. Sind diese erfüllt, können datenschutzrechtliche Bedenken weitestgehend ausgeschlossen werden.

5.4.2 Zeitlicher und finanzieller Aufwand für eine Follow-up-Befragung

Die Ergebnisse des Projektes zeigen, dass im Vergleich zu postalischen Erhebungen Ressourcen frei werden, die aber in die Anfertigung von webbasierten Erhebungsmaterialien investiert wurden. So konnten Druck- und Portokosten für den Versand der Fragebögen eingespart werden, jedoch sind Personalkosten für die Programmierung der webbasierten Befragung entstanden. Die Erfahrungen aus der ursprünglichen Machbarkeitsstudie haben gezeigt, dass der Erfolg der Rekrutierung unter anderem von der direkten und persönlichen Ansprache durch Projektmitarbeiterinnen und Projektmitarbeiter erfolgsversprechender ist. Diese Empfehlungen wurden in der Folgestudie berücksichtigt, wodurch zusätzlich höhere Personalkosten bei der Rekrutierung angefallen sind. Darüber hinaus müssen Maßnahmen zur Erhöhung der Teilnahmebereitschaft bedacht werden, z. B. Aufwandsentschädigung in Form von Geld.

Zusammenfassend ist festzustellen, dass besonders am Anfang zum Aufbau einer Geburtskohorte höhere Kosten anfallen und sich deshalb nicht klar herausstellen lässt, ob und welche Kosten eingespart werden. Sobald die Kohorte aufgebaut ist und die Erhebungsmethoden vorhanden sind, können sicherlich Daten mit geringem Aufwand und kostengünstig erhoben und Kosten langfristig eingespart werden.

5.4.3 Möglichkeiten zur Steigerung der Akzeptanz der Folgebefragung

Zur Erhöhung der Teilnahmebereitschaft an der Studie und Akzeptanz der Studienteilnehmerinnen gibt es verschiedene Möglichkeiten. In diesem Projekt wurden Incentives eingesetzt, es wurde eine Website erstellt, ein Flyer entwickelt, eine Hotline eingerichtet, neuartige webbasierte Befragungsmethoden eingesetzt und die Befragungsdauer so gering wie möglich gehalten.

Eine wesentliche Maßnahme zur Erhöhung der Teilnahmebereitschaft sind Incentives in Form von Geschenken oder kleinen Geldbeträgen. In dieser Studie konnte die Bereitschaft, an der Studie teilzunehmen, durch einen Beitrag von 10 € um 12 % gesteigert werden. Es ist wichtig, vorab genau zu überlegen, welches Incentive am geeignetsten und attraktiv für die Zielgruppe ist. Falls hier Unsicherheit besteht, sind aus unserer Sicht angemessene Geldbeträge die beste Lösung.

Neben der Hotline, die von morgens bis abends besetzt war, um potenziellen Teilnehmerinnen Fragen zur Studie und Teilnahme zu beantworten, wurde auch das Internet genutzt und eine Website eingerichtet, die ebenfalls ausführlich über die Studie informierte.

Bei der Ansprache von potenziellen Studienteilnehmern war der Flyer sehr hilfreich. Alle wichtigen Informationen zur Studie, die das Studienpersonal bei der Ansprache vermittelte, waren ebenfalls auf dem Flyer enthalten und zusätzlich verschiedene Kontaktmöglichkeiten zum Institut und zum Studienpersonal aufgeführt.

Die webbasierten Befragungen, die in diesem Projekt genutzt wurden, weisen einige Vorteile gegenüber Papierfragebögen auf. Die Teilnehmerinnen hatten die Möglichkeit, selbst zu entscheiden, wann und wo sie an

der Umfrage teilnehmen. Weiterhin konnten sie die Umfragen unterbrechen und sich erneut einloggen, um die Befragung zu beenden. Die Antworten wurden nicht durch die Anwesenheit vom Studienpersonal bzw. Interviewer beeinflusst. Die webbasierte Befragung ist aber auch mit Vorteilen für das Studienpersonal verbunden. Da die Antworten der Teilnehmer direkt in die Datenbank eingingen, entfiel die Eingabe von Fragebögen durch das Studienpersonal. Weiterhin wurde bei der Erstellung darauf geachtet, dass die Befragung nicht zu viel Zeit der Teilnehmerinnen in Anspruch nimmt. Die webbasierte Folgebefragung war kürzer als die Baseline-Befragung mit einer durchschnittlichen Bearbeitungsdauer von 30 Minuten. Je zeitaufwändiger eine Befragung ist, desto höher ist das Risiko, dass die Teilnehmer die Befragung frühzeitig beenden oder die Antworten ungenau werden.

Eine weitere Möglichkeit, die aber auf Grund der kurzen Laufzeit des Projektes nicht getestet wurde, ist die Nutzung von Sekundärdaten, um z. B. vorliegende Daten zur Krankengeschichte und Medikamenteneinnahme oder zum beruflichen Werdegang von Krankenversicherungen und Rentenversicherung zu nutzen. Durch die Nutzung dieser Daten können Fragen eingespart werden und dadurch die Dauer der Befragung gering gehalten werden. Ebenso sollte mit Hilfe von Öffentlichkeitsarbeit (z. B. Zeitungsartikel, Broschüren zur Auslage bei Fachärzten) Aufmerksamkeit auf die Studie gelenkt werden, da dadurch die Rekrutierung von Teilnehmerinnen erleichtert werden kann.

5.4.4 Empfehlungen zu den Angaben aus den ersten Vorsorgeuntersuchungen der Kinder, die für die Fragestellung der Geburtskohorte relevant sind und demnach bei der/den anfänglichen Anpassung/en des Fragebogens erfasst werden sollten

Für die Follow-up-Befragung im Rahmen dieser Machbarkeitsstudie gab es keinen einheitlichen Befragungszeitpunkt, da sich die Kinder aus der bestehenden Kohorte sowie aus der neu rekrutierten Kohorte in unterschiedlichen Entwicklungsphasen befanden (siehe auch 2.1.2). Ein einheitlicher Erhebungszeitpunkt (z. B. zur U4) der Follow-up-Befragung wäre für eine langfristig angelegte Geburtskohortenstudie wünschenswert und könnte an die Kindervorsorgeuntersuchungen/ U-Untersuchungen angebunden werden. Für diese Folgebefragung war dies jedoch nicht möglich und es wurde ein anderes Vorgehen gewählt. In der Follow-up-Erhebung wurden die Frauen gebeten, Daten aus dem Untersuchungsheft ihrer Kinder zu übertragen.

Aktuell wird in Bielefeld die vom BMBF geförderte prospektive, sozialepidemiologische Geburtskohorte (BaBi-Studie) durchgeführt. Die BaBi-Studie plant, neben der Durchführung von persönlichen computergestützten Interviews (CAPIs) auch routinemäßig erhobene Daten (z. B. Impfungen, körperliche Entwicklung) während der Schwangerschaft und Kindheit (Mutterpass, U-Hefte) sowie Sekundärdatenquellen (statistische Angaben zu Stadtteilmerkmalen etc.) zu verschiedenen Outcomes zu nutzen (Spallek et al. 2012).

Für eine mögliche bundesweite Geburtskohorte erscheint es sinnvoll, wichtige Angaben, die routinemäßig während der Schwangerschaft und der Kindheit erhoben werden (Mutterpass, U-Hefte) zu nutzen. Diese könnten von den Studienteilnehmerinnen übertragen werden oder bei einem der Untersuchungszeitpunkte in den Studienzentren erhoben werden.

5.4.5 Bewertung und ggf. Anpassung des Fragebogens

Ergebnisse der ursprünglichen Machbarkeitsstudie auf Basis der Akzeptanzfragebögen ergaben, dass die Fragen einfach verständlich und die Fragebögen nicht zu lang sein sollten. In dieser Folgebefragung wurde der Fragebogen dahingehend angepasst, dass Teile gekürzt wurden (z. B. Angaben zur Ernährung), so dass der zeitliche Aufwand für die Studienteilnehmerinnen je Befragungszeitpunkt begrenzt werden konnte. Für eine größere Geburtskohorte wäre zu empfehlen, einzelne Module des Fragebogens auszugliedern (z. B. Angaben zur Ernährung), um diese Angaben zu einem weiteren Zeitpunkt umfassender erheben zu können. Die Studienteilnehmerinnen könnten selbst entscheiden, wann das zusätzliche Modul beantwortet werden soll. Eine modulare Aufgliederung der Themen zu den unterschiedlichen Befragungszeitpunkten bietet außerdem die Möglichkeit, neue Themen zu ergänzen. Um die Befragungszeitpunkte insgesamt nicht zu überfrachten und die Mütter nicht zu überfordern bzw. den zeitlichen Aufwand zu begrenzen wäre außerdem zu empfehlen, die vorgeburtliche Befragung auf 2-3 Fragebögen/Befragungen aufzuteilen. Jedoch dürfen die Abstände zwischen den Befragungen nicht zu eng gewählt werden und die Anzahl der Befragungen nicht zu groß sein. Dies fand z. B. auch in der britischen ALSPAC¹⁾-Studie Anwendung.

Im Rahmen der Follow-up-Erhebung wurden daher die Themen begrenzt, so dass ein nicht zu hoher Zeitaufwand für die postnatale Befragung investiert werden musste. Hinweistexte an den entsprechenden Stellen im Fragebogen, als Hilfestellung zum Ausfüllen (z. B. bei der Übertragung von Daten aus dem Mutterpass oder den U-Untersuchungsheften) sollten unbedingt berücksichtigt werden (siehe auch 2.1.2).

¹⁾ Avon Longitudinal Study of Parents and Children

5.4.6 Empfehlungen hinsichtlich der Frage, welche Befragungsmethode für die Follow-up-Befragung zu bevorzugen ist

Die Befragung der Frauen innerhalb dieser Machbarkeitsstudie wurde mittels webbasierter Befragung durchgeführt. Insgesamt hat sich eine sehr hohe Akzeptanz bei den Studienteilnehmerinnen hinsichtlich der webbasierten Erhebungsmethode gezeigt, ein entsprechendes Vorgehen für eine Hauptstudie erscheint daher empfehlenswert.

Im Hinblick auf eine groß angelegte Geburtskohorte könnten Websites sowie soziale Netzwerke schon bei der Rekrutierung der werdenden Mütter eingesetzt werden wie z. B. in der NINFEA-Studie in Italien (Richiardi et al. 2007). Websites und soziale Netzwerke können genutzt werden, um Informationen bereit zu stellen. Mit relativ kleinem Aufwand können so Informationen verbreitet werden und die Studienteilnehmerinnen über aktuelle Ergebnisse und den Verlauf der Studie informiert werden. Zum anderen können sie gleichzeitig, wie in dieser Machbarkeitsstudie auch, als Registrierungstool (Einverständnis zur Kontaktaufnahme) genutzt werden. Ein weiterer Schritt im Kontext einer größeren Geburtskohorte wäre die Entwicklung von Tools für Tablet PCs und Smartphones. Dies würde den Studienteilnehmerinnen die Möglichkeit bieten, zeitunabhängig Daten über ein solches Tool einzugeben bzw. an Befragungen teilzunehmen. Ein solches mobiles Tool wäre außerdem überall verfügbar. Allerdings sind hierfür besondere Anforderungen an sichere Datenspeicherung und -transfer von mobilen Endgeräten auf Studienserver via Internet zu beachten. Dies wurde im Rahmen der jetzigen Studie nicht geprüft bzw. bearbeitet.

In diesem Kontext bieten Face-to-face Interviews den Vorteil des persönlichen Kontaktes und der entstehenden Bindung zwischen Teilnehmerinnen und Studienpersonal, was wiederum einen Einfluss auf die Follow-up-Response hat. Sie können den Kontakt zu den Teilnehmerinnen intensivieren, Vertrauen schaffen und den Frauen die Möglichkeit geben, Fragen zu stellen. In der ursprünglichen Machbarkeitsstudie konnte gezeigt werden, dass persönlicher Kontakt mit Projektmitarbeiterinnen, insbesondere bei der Rekrutierung, die effektivste Strategie darstellte, um werdende Mütter in die Studie einzubinden. Gleichzeitig zeigt diese Machbarkeitsstudie, dass eine hohe Akzeptanz hinsichtlich webbasierter Erhebungsmethoden besteht. Für eine größere Geburtskohorte wäre es ratsam, verschiedene Möglichkeiten anzubieten, um verschiedene Zielgruppen zu erreichen und insgesamt die Response zu steigern. Außerdem sollten in jedem Fall in regelmäßigen Abständen Untersuchungszeitpunkte bzw. Befragungszeitpunkte mit persönlichem Kontakt zu Projektmitarbeiterinnen eingeplant werden, um die Studienteilnehmerinnen weiterhin an die Studie zu binden.

5.5 FAZIT

Insgesamt kann davon ausgegangen werden, dass webbasierte Erhebungsmethoden langfristig gesehen kostengünstiger sind. Zu Beginn einer Studie stellt sich dies allerdings nicht so klar dar. Für die computerverstärkte Probandin sind sie außerdem bequem. Wenn die Übertragung der Daten hohen Sicherheitsstandards genügt, können datenschutzrechtliche Bedenken weitestgehend ausgeschlossen werden.

Insgesamt sollte sich bei der Wahl der Erhebungsmethoden möglichst nicht auf eine Variante beschränkt werden, sondern Alternativen angeboten werden. So können verschiedene Bevölkerungsgruppen erreicht werden. Neuere Informations- und Kommunikationsmedien (z. B. webbasierte Erhebungsmethoden) sprechen bestimmte Bevölkerungsgruppen besonders an. Es sollte aber auch nicht außer Acht gelassen werden, dass ein persönlicher Kontakt mit Projektmitarbeiterinnen die Bindung an die Studie stärkt. Aus unserer Sicht sollten webbasierte Erhebungsmethoden unbedingt angewandt werden, der persönliche Kontakt zwischen Projektmitarbeiterinnen und Studienteilnehmerinnen sollte in regelmäßigen Abständen ebenfalls gepflegt werden.

Auch die Ergebnisse dieser zweiten Machbarkeitsstudie machen deutlich, dass die Etablierung einer bundesweiten nationalen Geburtskohorte in Deutschland machbar und von hohem wissenschaftlichem und gesellschaftlichem Interesse ist. Die Bereitschaft, an einer Folgebefragung innerhalb eines solchen Forschungsvorhabens teilzunehmen, war unter den Studienteilnehmerinnen dieser Machbarkeitsstudie sehr hoch. Das Gleiche gilt für die Akzeptanz der entwickelten webbasierten Erhebungsmethode.

6. UMSETZUNG DER ERGEBNISSE

Die Etablierung einer Geburtskohorte ist ein wesentlicher Bestandteil des geplanten Forschungsprogramms zur Erforschung der Ursachen für Leukämie im Kindesalter. Die erste Machbarkeitsstudie hatte gezeigt, dass eine Geburtskohorte mit Sammlung und Asservierung von Nabelschnurblut in Deutschland durchführbar ist. Eine Geburtskohorte ist aber nicht denkbar ohne Folgebefragungen. Da die Machbarkeit der Folgebefragungen im Rahmen der ersten Machbarkeitsstudie aus verschiedenen Gründen nicht getestet werden konnte,

wurde eine zweite Machbarkeitsstudie durchgeführt mit dem Ziel, Empfehlungen für die Folgebefragungen im Rahmen einer Geburtskohorte zu erarbeiten. Es zeigte sich, dass die Bereitschaft zur Teilnahme an der Folgebefragung bei den Müttern, die zur Teilnahme an der Studie insgesamt bereit waren, relativ hoch war. Wenn ein hoher Datenschutz- und Sicherheitsstandard eingehalten wird, können solche webbasierten Befragungen wahrscheinlich eine hohe Akzeptanz zur Teilnahme an der Folgebefragung sicherstellen. Im Rahmen der Geburtskohorte lassen sich damit im Vergleich zur postalischen Befragung vermutlich Kosten einsparen. Persönliche Kontakte sollten aber trotzdem gelegentlich eingesetzt werden, um die Teilnehmerinnen an die Studie zu binden.

Eine deutschlandweite umweltepidemiologische Geburtskohorte wird nach wie vor für dringend erforderlich gehalten, nicht nur für die Erforschung der Ursachen für Leukämie im Kindesalter. Die Ergebnisse dieser Machbarkeitsstudie leisten einen wichtigen Beitrag für die Planung einer solchen Kohorte, nicht zuletzt auch unter finanziellen Aspekten.

Themenbereich 08
Nichtionisierende Strahlung

Subject area 08
Non-ionising radiation

Thema			
Erweiterungsstudie zu multinationaler Fall-Kontroll-Studie zu Hirntumoren durch Radiofrequenzstrahlung bei Kindern und jungen Erwachsenen (MOBI-Kids)			
Subject			
<i>Extension study to a multinational case-control study of brain cancer from exposure to radiofrequency fields in childhood and adolescence (MOBI-KIDS)</i>			
Kennzeichen	Beginn	Ende	Fördermittel
3609S30010	01.07.2009	30.06.2014	EUR 133.920,-
Forschungs- / Auftragnehmer			
Klinikum der Universität München (LMU), Institut für Arbeits-, Sozial- und Umweltmedizin			
Projektleitung	Fachbetreuung BfS	verantwortlich für den Text	
Prof. Dr. K. Radon	Dr. A. Tschense, Dr. M. Schnelzer / AG-SG 1.3	Dr. T. Weinmann, V. Kießling, Prof. Dr. K. Radon	

1. ZIELSETZUNG

Gehirntumore sind nach den Leukämien die zweithäufigste Krebserkrankung bei Kindern. Bisher besteht jedoch wenig Kenntnis über mögliche Risikofaktoren für die Entstehung dieser Krankheit. In der Diskussion stehen bislang Umweltfaktoren (z. B. Exposition gegenüber Chemikalien, ionisierende Strahlung), Gehirntumore in der Familiengeschichte oder Exposition gegenüber elektromagnetischen Feldern (z. B. durch die Nutzung von Mobiltelefonen). Ein möglicher Einfluss elektromagnetischer Felder auf die Entstehung von Gehirntumoren bei jungen Menschen war bisher noch nicht untersucht worden.

Ziel der durch die Europäische Union sowie durch nationale Geldgeber wie das Bundesamt für Strahlenschutz geförderten internationalen Fall-Kontroll-Studie MOBI-KIDS war es daher, mögliche Effekte verschiedener potenzieller Risikofaktoren aus der Umwelt auf die Entstehung von Tumoren des zentralen Nervensystems bei Kindern, Jugendlichen und jungen Erwachsenen zu untersuchen.

2. EINZELZIELSETZUNG

Ziel der hier beschriebenen Erweiterungsstudie war die Erhöhung der Aussagekraft der MOBI-Kids-Studie. Hierzu wurden Kontrollen aus der Bevölkerung als Ergänzung zu den Krankenhauskontrollen, die in der EU-Studie verwendet werden, für die Studie rekrutiert. Außerdem wurde bei einer Teilstichprobe der Studienteilnehmer die Exposition gegenüber elektromagnetischen Feldern des Mobilfunks mit Hilfe von Personendosimetern gemessen, um die im Fragebogen der Hauptstudie selbstberichtete Mobilfunknutzung der Probanden zu validieren.

3. METHODIK

Bei der MOBI-Kids-Studie handelt es sich um eine multizentrische Fall-Kontroll-Studie, die weltweit in 16 Ländern durchgeführt und vom Institut CREAL (Barcelona, Spanien) koordiniert wird. Die Feldphase begann Ende 2010 und endet im Frühjahr 2015. Der Studienablauf erfolgt nach einem gemeinsam von allen beteiligten Zentren entwickelten Studienprotokoll. Gemäß dieses Protokolls werden als Fälle Kinder, Jugendliche und junge Erwachsene im Alter von 10 bis 24 Jahren, bei denen während des Studienzeitraums ein primärer Hirntumor diagnostiziert wurde, gemeinsam mit ihren Erziehungsberechtigten zur Teilnahme an einem persönlichen Interview eingeladen. Pro Fall werden zwei Krankenhauskontrollen in die Studie eingeschlossen, die auf Grund einer vermuteten Appendizitis operiert wurden. Die Kontrollen werden nach Alter, Geschlecht und Wohnort individuell zu den Fällen gematcht.

Im Rahmen der hier beschriebenen Erweiterungsstudie wurden in Deutschland im Zeitraum zwischen Oktober 2010 und Juni 2014 zusätzlich pro Fall mindestens zwei Kontrollen aus der Bevölkerung, die ihren Hauptwohnsitz in der Herkunftsgemeinde des Falls haben, nach dem Zufallsprinzip ausgewählt und ebenfalls in die Studie eingeschlossen. Alle Probanden (Fälle, Krankenhaus- und Populationskontrollen) aus dem Studienzentrum München und Umgebung wurden neben der Teilnahme am Interview zusätzlich zur Teilnahme an der Expositions-messung mittels Personendosimetern eingeladen, die im Rahmen der hier beschriebenen Erweiterungsstudie durchgeführt wurde.

4. DURCHFÜHRUNG

4.1 REKRUTIERUNG DER STUDIENTEILNEHMER

Die Rekrutierung der Gehirntumorpatienten und Krankenhauskontrollen geschieht bundesweit über kooperierende Kliniken, die auf die Behandlung von Gehirntumoren spezialisiert sind. Patienten, welche die Kriterien zur Studienteilnahme erfüllen, bekommen von ihrem behandelnden Arzt eine Informationsmappe über die Studie ausgehändigt. Diese Mappe enthält ein Aufklärungsschreiben, eine Einverständniserklärung, einen Kurzfragebogen für Patienten, die nicht an der eigentlichen Studie teilnehmen möchten, sowie ein Rücksendekuvert. Die Patienten werden gebeten, die ausgefüllte Einverständniserklärung sowie ggf. den Kurzfragebogen an das Institut für Arbeits-, Sozial- und Umweltmedizin am Klinikum der Universität München zurückzusenden. Diejenigen Patienten, die sich zur Studienteilnahme bereit erklären, werden anschließend von den Interviewern aus der Studienregion kontaktiert und interviewt. Dabei wird der Studienfragebogen im Rahmen eines persönlichen Interviews ausgefüllt. Dieser erfasst die Exposition der Probanden gegenüber verschiedenen Umweltfaktoren, unter anderem der Nutzung von Mobiltelefonen.

Die Krankenhauskontrollen werden nach Geschlecht, Geburtsdatum (maximal +/- 18 Monate), Behandlungszeitraum (maximal +/- vier Monate) und Wohnortgröße (<35000, 35000-100 000, >100000 Einwohner) mit den Fällen gematcht.

Als Populationskontrollen wurden im Zeitraum von Oktober 2010 bis Juni 2014 nach Geburtsjahr, Geschlecht und Wohnort zu den Fällen gematchte Kinder, Jugendliche und junge Erwachsene rekrutiert. Hierzu wurde zunächst bei den für die Herkunftsgemeinden der Fälle zuständigen Einwohnermeldeämtern um die Ziehung einer Zufallsstichprobe von zehn Personen aus dem Geburtsjahrgang der Fälle gebeten. Nach der zufälligen Ziehung durch die Einwohnermeldeämter wurden die potenziellen Probanden postalisch vom Institut für Arbeits-, Sozial- und Umweltmedizin angeschrieben und gemeinsam mit ihren Erziehungsberechtigten zur Studienteilnahme eingeladen. Familien, die nicht auf das Einladungsschreiben reagierten, erhielten nach 14 Tagen ein erstes Erinnerungsschreiben. Wenn auch nach diesem Schreiben keine Antwort vorlag, wurde nach weiteren 14 Tagen ein zweites Erinnerungsschreiben versandt.

Diejenigen, die sich zur Studienteilnahme bereit erklärten, wurden anschließend von den Interviewern aus der entsprechenden Studienregion kontaktiert und gemeinsam mit ihren Erziehungsberechtigten interviewt.

4.2 DURCHFÜHRUNG DER DOSIMETERMESSUNGEN

Die Expositionsmessungen erfolgten bei jedem Teilnehmer über einen Zeitraum von 24 Stunden mit dem Personendosimeter ESM-140 der Firma Maschek. Das Dosimeter misst die Frequenzen der Mobilfunk- und DECT-Telefone sowie deren Basisstationen und die WLAN-Frequenz. Die einzelnen Mobilfunkbereiche wurden getrennt erfasst durch Bandpässe im D-Netz (GSM 900), E-Netz (GSM 1800) und UMTS-Band. Die Exposition wurde über den Messzeitraum von 24 Stunden einmal pro Sekunde erfasst (86400 Einzelmesswerte pro Tag). Die Verteilung der Exposition wurde in Form eines Tagesprofils ermittelt.

4.3 STATISTISCHE ANALYSE

4.3.1 Deskriptive Statistiken

Deskriptive Analysen beschreiben die Probanden, die an der Dosimetermessung teilgenommen haben, sowie die Populationskontrollen hinsichtlich soziodemographischer Charakteristika wie Alter, Geschlecht und Wohnort. Für kontinuierliche Variablen wurden arithmetische Mittelwerte (AM) und Standardabweichungen (SD), für kategoriale Variablen wurden absolute Zahlen (N) und Prozentwerte (%) berechnet.

4.3.2 Selbstberichtete Mobilfunknutzung der Populationskontrollen

In Bezug auf die im Fragebogen berichtete Mobilfunknutzung der Populationskontrollen wurde der prozentuale Anteil der Probanden errechnet, die jemals regelmäßige Handynutzer waren (definiert als Tätigkeit von mindestens einem Anruf pro Woche über einen Zeitraum von drei Monaten oder länger). Zusätzlich wurde die von den Probanden berichtete kumulative Anzahl und Dauer der Telefonate während ihrer bisherigen Lebensdauer berechnet (jeweils mittels Mittelwerten und Standardabweichungen). Ebenso wurde die aktuell von den Probanden berichtete Nutzung bestimmt. Hierzu wurde die durchschnittliche Anzahl und Dauer an Telefonaten während der letzten drei Monate vor dem Interview errechnet. Sämtliche Analysen erfolgten zunächst für die gesamte Stichprobe und anschließend stratifiziert nach Geschlecht und Größe des Wohnorts (<35000, 35000-100000, >100000 Einwohner). Da sich die Testwerte im Kolgorow-Smirnow-Test als nicht normalverteilt erwiesen, wurden für Vergleiche zwischen den Strata nicht-parametrische Testverfahren angewendet.

Für Unterschiede hinsichtlich der dichotomen Variablen Geschlecht wurde der Mann-Whitney-U-Test als nicht-parametrisches Pendant zum t-Test verwendet, für die dreistufigen Variablen Wohnort und Altersgruppe der Jonkheere-Terpstra-Test. Dieser Test untersucht im Rahmen einer Varianzanalyse, ob ein Trend in Bezug auf die Unterschiede zwischen den Gruppen vorliegt.

4.3.3 Vergleich der gemessenen mit der selbst berichteten Exposition

Um das Maß der Übereinstimmung der von den Probanden im Interview selbst berichteten Mobiltelefonnutzung mit der mittels Dosimetermessungen erfassten objektiven Exposition zu evaluieren, sollte die Übereinstimmung zwischen der selbst berichteten aktuellen Nutzungsdauer und -häufigkeit und der gemessenen Nutzung errechnet werden. Da jedoch unter den Probanden, die an der Dosimetermessung teilgenommen haben, zu wenige regelmäßige Handynutzer waren, um sinnvolle statistische Vergleiche hinsichtlich der Anzahl und Dauer der Telefonate durchführen zu können, konnte nur analysiert werden, ob sich die gemessene Exposition derjenigen, die sich als regelmäßige Nutzer einschätzten, von der Exposition der nicht-regelmäßigen Nutzer unterschied. Hierzu wurden die Mittelwerte des prozentualen Anteils der Messwerte unter der Bestimmungsgrenze sowie des prozentualen Anteils der gemessenen Exposition am ICNIRP-Grenzwert zwischen den beiden Gruppen verglichen.

5. ERGEBNISSE

Insgesamt wurden 109 Einwohnermeldeämter mit der Bitte um eine Ziehung einer Zufallsstichprobe angeschrieben und 1018 Populationskontrollen zur Studienteilnahme eingeladen. Von diesen konnten 229 Probanden (22 %) interviewt werden. Zur Teilnahme an der Dosimeterstudie wurden 54 junge Menschen aus dem Raum München eingeladen, von denen 24 (44 %) an der Messung teilnahmen.

5.1 SELBSTBERICHTETE MOBILFUNKNUTZUNG DER POPULATIONSKONTROLLEN

223 der 229 Populationskontrollen (97 %) gaben an, jemals ein Mobiltelefon benutzt zu haben. Von diesen berichteten 181 Teilnehmer (81 %), jemals regelmäßig ein Handy genutzt zu haben. Von 171 regelmäßigen Handynutzern waren die Daten aus dem persönlichen Interview vollständig und konnten in die weiteren Analysen eingeschlossen werden.

Die regelmäßigen Handynutzer waren zum Zeitpunkt des Interviews im Mittel 17 Jahre alt (Minimum: 10 Jahre, Maximum: 25 Jahre). Von diesen waren 96 Personen weiblich (56,1 %) und 75 männlich (43,9 %). Die meisten Teilnehmer (63,7 %) wohnten in einer Kleinstadt, während 41 Probanden (24,0 %) in Großstädten und lediglich 21 Teilnehmer (12,3 %) in Städten mittlerer Größe lebten (Tabelle 1).

Tabelle 1: Charakteristika der Studienteilnehmer

	Teilnehmer Messung (N=24)	Populationskontrollen (N=171)
Alter: Mittelwert (SD^a)	14,7 Jahre (3,0)	16,9 Jahre (3,4)
Geschlecht		
Männlich	11 (45,8 %)	75 (43,9 %)
Weiblich	13 (54,2 %)	96 (56,1 %)
Wohnort		
Kleinstadt	18 (75,0 %)	109 (63,7 %)
Mittlere Stadt	0 (0,0 %)	21 (12,3 %)
Großstadt	6 (25,0 %)	41 (24,0 %)

a. Standardabweichung

5.1.1 Kumulative Mobilfunknutzung über die Lebenszeit hinweg

Über die bisherige Lebenszeit hinweg berichteten die 171 regelmäßigen Handynutzer im Mittel 2509 getätigte Anrufe sowie eine Gesamtanrufzeit von 314 Stunden (Tabelle 2). Stratifiziert nach Geschlecht berichteten die weiblichen Teilnehmer mit durchschnittlich 2547 Anrufen und einer mittleren Anrufzeit von 386 Stunden eine etwas höhere Nutzung als die männlichen Probanden, bei denen sich 2461 Anrufe auf 220 telefonierte Stunden aufteilten. Die durchschnittliche Dauer pro Anruf liegt somit bei den Mädchen und jungen Frauen mit 7,3

Minuten pro Anruf (SD: 10,2) etwas höher als bei den männlichen Studienteilnehmern (Mittelwert: 5,0 Minuten pro Anruf; SD: 5,2).

Aufgeteilt nach Wohnort berichteten die Teilnehmer aus mittelgroßen Städten die höchste mittlere Anzahl an bisherigen Telefonaten (Mittelwert: 3439) sowie mit durchschnittlich 449 Stunden (SD: 831, Min: 7, Max: 3540) die höchste kumulative Anrufdauer.

Nach Altersstratifizierung war ein deutlicher Anstieg der Nutzung zwischen den Altersgruppen zu sehen. So berichteten die 10-13-Jährigen im Mittel 652 Anrufe und 66 telefonierte Stunden, die 14-17-Jährigen 1963 Anrufe und 293 Stunden, und die 18-24-Jährigen 4727 Anrufe und 614 Stunden. Die Auswertung zeigte in Bezug auf den Anstieg der Nutzung zwischen den einzelnen Altersgruppen einen deutlichen Hinweis auf einen statistisch signifikanten Effekt ($p_{\text{Jonkheere-Terpstra-Test}} < 0,0001$).

Tabelle 2: Kumulative Mobiltelefonnutzung der Populationskontrollen (Gesamtzahl- und Dauer der bisherigen Telefonate)

	Anzahl der Telefonate AM (SD)	Dauer in Stunden AM (SD)
Alle Probanden (N=171)	2509 (4225)	314 (783)
Stratifiziert nach Geschlecht		
Männliche Probanden (N=75)	2461 (3404)	220 (554)
Weibliche Probanden (N=96)	2547 (4786)	386 (919)
<i>p-Wert*</i>	0,963	0,427
Stratifiziert nach Wohnort		
Kleinstadt (N=109)	2197 (4270)	256 (690)
Mittlere Stadt (N=21)	3439 (3428)	449 (831)
Großstadt (N=41)	2862 (4459)	398 (973)
<i>p-Wert**</i>	0,215	0,171
Stratifiziert nach Altersgruppe		
10-13 Jahre (N=32)	652 (1052)	66 (174)
14-17 Jahre (N=90)	1963 (2954)	239 (528)
18-24 Jahre (N=49)	4727 (6199)	614 (1220)
<i>p-Wert**</i>	<0,001	<0,001

AM: Arithmetisches Mittel; SD: Standardabweichung

* ermittelt durch Mann-Whitney-U-Test

** ermittelt durch Jonkheere-Terpstra-Test

5.1.2 Aktuelle Mobilfunknutzung

Hinsichtlich ihrer aktuellen Nutzung, also der Nutzung in den letzten drei Monaten vor dem Interview, telefonierten die Teilnehmer laut Eigenangaben durchschnittlich 6,3 Stunden pro Monat. Die durchschnittliche Anzahl der Anrufe betrug 48,0 Telefonate pro Monat (Tabelle 3). Wie bei der kumulativen bisherigen Nutzung lag die mittlere aktuelle Nutzungsdauer bei den weiblichen Probanden mit 8,1 Stunden pro Monat höher als bei den männlichen Teilnehmern, die pro Monat im Mittel 4,1 Stunden telefonierten. Hinsichtlich der durchschnittlichen Anzahl an Anrufen pro Monat berichteten die männlichen Probanden jedoch eine leicht höhere Zahl (Mittelwert: 50,2) als die Mädchen und jungen Frauen (Mittelwert: 46,3). Auch dies bedeutet, dass die weiblichen Studienteilnehmer pro Anruf etwas länger telefonierten (Mittelwert: 8,9 Minuten pro Anruf) als die jungen Männer (Mittelwert: 6,3 Minuten pro Anruf).

Stratifiziert nach Wohnort war sowohl hinsichtlich der Anzahl als auch der Dauer der Anrufe ein linearer Anstieg von den Kleinstadt- zu den Großstadt-Bewohnern zu erkennen, der jedoch nicht das Niveau statistischer Signifikanz erreichte. Deutlicher waren die Unterschiede zwischen den einzelnen Altersgruppen, so dass auch hier ein klarer Anstieg mit dem Alter zu erkennen war (Tabelle 3).

Tabelle 3: Aktuelle Mobiltelefonnutzung der Populationskontrollen (Anzahl und Dauer der Telefonate pro Monat)

	Anzahl der Telefonate AM (SD)	Dauer in Stunden AM (SD)
Alle Probanden (N=171)	48,0 (74,4)	6,3 (13,1)
Stratifiziert nach Geschlecht		
Männliche Probanden (N=75)	50,2 (89,4)	4,1 (8,9)
Weibliche Probanden (N=96)	46,3 (60,6)	8,1 (15,4)
<i>p-Wert*</i>	0,328	0,261
Stratifiziert nach Wohnort		
Kleinstadt (N=109)	41,0 (63,7)	5,6 (12,5)
Mittlere Stadt (N=21)	56,3 (53,0)	7,3 (14,0)
Großstadt (N=41)	62,7 (103,8)	7,8 (14,1)
<i>p-Wert**</i>	0,123	0,112
Stratifiziert nach Altersgruppe		
10-13 Jahre (N=32)	21,2 (32,7)	1,7 (3,5)
14-17 Jahre (N=90)	48,7 (85,5)	7,1 (14,8)
18-24 Jahre (N=49)	64,3 (67,8)	8,0 (13,1)
<i>p-Wert**</i>	<0,001	<0,001

AM: Arithmetisches Mittel; SD: Standardabweichung * ermittelt durch Mann-Whitney-U-Test

** ermittelt durch Jonkheere-Terpstra-Test

5.2 AUSWERTUNG DER DOSIMETERMESSUNGEN

An den Dosimetermessungen nahmen vier Fälle, neun Krankenhauskontrollen und elf Populationskontrollen aus der Hauptstudie teil.

Bezüglich des Geschlechts waren 13 Probanden weiblich (54,2 %). Die Probanden waren zum Zeitpunkt der Studienteilnahme im Mittel 14,7 Jahre alt (Minimum: 11,2 Jahre; Maximum: 21,9 Jahre). 19 Probanden (79 %) lebten im Münchner Umland und fünf (21 %) im Stadtgebiet. Die meisten Teilnehmer (75 %) lebten in einem Ort mit einer Einwohnerzahl von unter 35000 (Tabelle 1).

5.2.1 Gemessene Exposition

Insgesamt lagen 96,8 % der während der Wachphase der Probanden gemessenen Werte unter der Bestimmungsgrenze von 0,05 V/m. Dementsprechend lag die mittlere Exposition während der Wachphase bei allen 24 Teilnehmern weit unterhalb des ICNIRP-Grenzwerts. Im Mittel schöpften die Probanden während der Messung 0,20 % des Grenzwerts aus, wobei das Minimum bei 0,13 % und das Maximum bei 0,53 % lag. Weder hinsichtlich des Geschlechts noch des Wohnortes zeigten sich deutliche Unterschiede zwischen den Gruppen.

5.2.2 Vergleich der gemessenen mit der selbstberichteten Exposition

Von den 24 Teilnehmern an der Dosimetermessung gaben 23 (95,8 %) an, jemals ein Mobiltelefon genutzt zu haben. Davon berichteten elf Probanden (47,8 %), jemals regelmäßig ein Mobiltelefon genutzt zu haben. Bei den regelmäßigen Nutzern lag der Prozentsatz der Messwerte unter der Bestimmungsgrenze mit 94,7 % statistisch signifikant niedriger als bei den Probanden, die keine regelmäßige Handynutzung berichteten (98,5 %; $p_{\text{Mann-Whitney-U-Test}} < 0,0001$). Entsprechend war auch der mittlere prozentuale Anteil der Exposition am Grenzwert bei den regelmäßigen Handynutzern statistisch signifikant höher als bei den nicht-regelmäßigen Nutzern.

6. UMSETZUNG DER ERGEBNISSE

Es ist dringend notwendig, vorhandene Unsicherheiten in der Risikoabschätzung für die Nutzung von Mobiltelefonen bei Kindern und Jugendlichen zu reduzieren. Die Feldarbeit der von der EU geförderten multinationalen MOBI-KIDS-Hauptstudie, die das Risiko von Hirntumoren infolge der Nutzung von Mobiltelefonen bei Kindern und Jugendlichen untersucht, endete zum Jahresende 2014. Das vorliegende Vorhaben erhöht die statistische Aussagekraft der in Kürze vorliegenden Ergebnisse der deutschen Fall-Kontroll-Studie und liefert damit wichtige Voraussetzungen für die Ausarbeitung zukünftiger Vorsorgemaßnahmen.

Thema Tumorpromotion durch hochfrequente elektromagnetische Felder in Kombination mit kanzerogenen Substanzen - synergistische Wirkungen			
Subject <i>Tumor promotion by radiofrequency electromagnetic fields in combination with carcinogenic substances - synergistic effects</i>			
Kennzeichen 3611S30017	Beginn 03.11.2011	Ende 30.10.2014	Fördermittel EUR 457.511,-
Forschungs- / Auftragnehmer Jacobs University Bremen gGmbH, Bremen			
Projektleitung Prof. Dr. A. Lerchl	Fachbetreuung BfS Dr. M. Asmuß / AG-SG 1.5	verantwortlich für den Text Prof. Dr. A. Lerchl	

1. ZIELSETZUNG

Die Studie von Tillmann et al. (2010) erbrachte Hinweise auf tumorpromovierende Effekte durch elektromagnetische Felder (UMTS, Leistungsflussdichte $4,8 \text{ W/m}^2$, entspricht einer spezifischen Absorptionsrate (SAR) von ca. $0,4 \text{ W/kg}$) bei weiblichen Mäusen, die in utero mit dem Karzinogen ENU (Ethyl-Nitrosourea) behandelt wurden. Obwohl diese Effekte auf Tumoren der Leber durch eine Infektion mit Helicobacter mitverursacht sein können, sind die deutlich tumorpromovierenden Effekte bei den Lungentumoren nicht durch eine Infektion zu erklären. Daher sollte im vorliegenden Projekt die Studie unter weitestgehend gleichen Bedingungen wiederholt werden, wobei drei Leistungsflussdichten getestet wurden. Weiterhin wurden pro Gruppe 96 Mäuse (gegenüber 60 in der Studie von Tillmann et al.) eingesetzt, wodurch sich die statistische Belastbarkeit der Ergebnisse erhöht. Die dosimetrischen Berechnungen durch den technischen Kooperationspartner (Universität Wuppertal) basieren auf Mäusen verschiedener Gewichte und Positionen in den Käfigen, wodurch eine verlässliche Ermittlung der resultierenden SAR-Werte ermöglicht wird.

2. EINZELZIELSETZUNG

2.1 LITERATURSTUDIE

Zu Beginn des Projektes wurde eine bewertende Literaturübersicht über die in dieser Studie bearbeitete Thematik vorgelegt.

2.2 EXPOSITION/DOSIMETRIE

Die Inbetriebnahme der Expositionsanlage, die numerischen Berechnungen zur Analyse der Feldverteilungen in der Expositionsanlage, die Evaluierung hinsichtlich der SAR-Verteilung in den Tieren sowie die technische Betreuung des Projekts erfolgte durch den technischen Partner BU Wuppertal.

2.3 BIOLOGISCHES SYSTEM, ENDPUNKTE

Die Untersuchungen erfolgten wie in der Pilotstudie von Tillmann et al. an weiblichen B6C3F1-Mäusen (weibliche Nachkommen aus C57BL/6N (weiblichen) und C3H/HeN (männlichen) Elterntieren).

Die Gewichtszunahme der Muttertiere, die Anzahl der Nachkommen, die Infantizidrate sowie die mittleren Körpergewichte der Nachkommen sowie die Überlebensdauer wurden erfasst. Der Schwerpunkt der Untersuchungen lag auf dem Auftreten von Tumoren in relevanten Organen.

3. METHODIK

3.1 EXPOSITION/DOSIMETRIE

Die Exposition der Tiere erfolgte verblindet nach UMTS-Standard für 24 Stunden pro Tag, beginnend vor der Geburt (in utero) bis zu dem Zeitpunkt, zu dem 75 % der mit ENU behandelten Tiere gestorben waren. Die

Leistungsflussdichten betragen 0 (Scheinexposition), 0,43, 4,3 und 22 W/m² (dies entspricht SAR-Werten von 0, 0,04, 0,4 und 2 W/kg, bezogen auf 20 g schwere Mäuse). Für das Projekt konnte eine Expositionsanlage benutzt werden, die bereits in einem vorherigen Versuch verwendet wurde. Der Zusammenhang zwischen den einzustellenden Feldstärken und den vorgegebenen SAR-Werten in den Tieren wurde vom technischen Partner BU Wuppertal durch Berechnungen mit dem Simulationstool CST Studio Suite auf der Basis von Voxelmodellen von Labornagern ermittelt. SAR-Variationen auf Grund von Tierbewegungen sowie unterschiedlichen im Verlauf des Projekts auftretenden Konfigurationen (Muttertier mit Jungen, adulte Tiere) wurden ebenfalls modelliert.

3.2 BIOLOGISCHES SYSTEM, ENDPUNKTE

Das Projekt wurde wie geplant und termingerecht durchgeführt. Im Gegensatz zur ursprünglichen Planung und anders als in der Publikation von Tillmann et al. dargestellt, wurden alle Tiere (also auch die nicht mit ENU behandelten Mäuse) zu dem Zeitpunkt getötet, als 75 % der mit ENU behandelten Tiere verstorben waren. Dies hat den entscheidenden Vorteil, dass altersbedingte Erkrankungen und Todesursachen vermieden werden, die den Vergleich der Gruppen erschweren würden.

3.3 HISTOLOGISCHE UNTERSUCHUNGEN

Die schmerzfrei getöteten Tiere wurden einer pathologischen Untersuchung unterzogen. Alle makroskopisch sichtbaren Auffälligkeiten wurden dokumentiert. Die Organe Gehirn, Lunge, Milz, Leber, Nieren und mesenterische Lymphknoten wurden fixiert (10 % Formalin). Die Lunge wurde durch intratracheale Infusion vorfixiert, bevor sie in dem Fixans endfixiert wurde. Nach dem Einbetten wurden Schnitte (4 µm) angefertigt, gefärbt (Hämatoxylin/Eosin) und mikroskopisch untersucht. Die mikroskopische Untersuchung wurde durch elektronische Bildaufnahmen dokumentiert (Carl Zeiss AxioVision). Die Klassifikation der Tumoren erfolgte nach internationalem Standard/Nomenklatur (WHO/IARC 2001). Positive Befunde wurden für jedes Organ exemplarisch ausgewählt und einer Zweitbegutachtung am Institut für Pathologie in Oldenburg unterzogen. Die Befunde wurden ohne Ausnahme bestätigt.

3.4 STATISTIK

Die parametrischen Körpergewichtsdaten wurden mittels Shapiro-Wilks-Test auf Normalverteilung geprüft und anschließend mittels Varianzanalyse ANOVA statistisch analysiert. Mittels Kaplan-Meier-Methode und anschließendem log-Rank-Test wurden die Überlebensdaten analysiert. Die Häufigkeiten der pathologischen Befunde wurden mittels des einseitigen Fisher-Exakt-Tests verglichen. Zusätzlich wurden Bayes'sche Verfahren angewandt. Unterschiede mit einem Signifikanzniveau von $p < 0,05$ wurden als statistisch signifikant angesehen.

4. DURCHFÜHRUNG

Männliche (C3H/HeN; n=32) und weibliche (C57Bl/6N; n=256) F0-Tiere wurden im Alter von 10 Wochen am Abend verpaart. Die Auswahl der trächtigen Weibchen erfolgte anhand ihres Gewichtes am Tag 14 p.c. Den trächtigen Weibchen wurde ENU (40 mg/kg) intraperitoneal injiziert, die übrigen schmerzfrei getötet. Dieses Verfahren stellte sicher, dass genügend weibliche Nachkommen geboren wurden. Eine Woche nach Geburt wurde das Geschlecht der Nachkommen bestimmt und 3 Weibchen bei den Muttertieren belassen. Die männlichen Jungtiere wurden zu diesem Zeitpunkt schmerzfrei getötet. Die Muttertiere wurden am 21. Lebenstag der Jungtiere aus den Käfigen entfernt. Die Anzahl der Käfige mit jeweils drei Weibchen betrug 32 (n=96 Weibchen pro Expositionsstärke).

Käfigkontrollen: Männliche und 32 weibliche Mäuse der o. a. Stämme wurden verpaart und in normalen Käfigen gehalten. Eine Woche nach Geburt wurde das Geschlecht der Nachkommen bestimmt und 3 Weibchen bei den Muttertieren belassen. Die männlichen Jungtiere wurden zu diesem Zeitpunkt schmerzfrei getötet. Damit ergibt sich eine Zahl von 96 Weibchen als Käfigkontrollen.

5. ERGEBNISSE

Der Versuch ist abgeschlossen und ausgewertet. Es hat sich gezeigt, dass die Befunde der Pilotstudie (Tillmann et al., 2010) im Wesentlichen bestätigt werden konnten. Darüber hinaus wurden signifikant höhere Lymphomraten bei den exponierten Tieren festgestellt. Eine klare Dosis-Wirkungs-Beziehung ist allerdings nicht

zu erkennen. Anders als bei Tillmann et al. (2010) waren in unseren Tieren keine Infektionen mit *Helicobacter* ssp. festzustellen. Dieser Befund schließt mögliche Störfaktoren durch Infektionen aus.

5.1 ÜBERLEBENSFUNKTION

Die Überlebensraten der Tiere in den mit ENU behandelten Mäusen waren statistisch nicht verschieden (Tabelle 1 und Abbildung 1).

Tabelle 1: Lebenswoche, in der die ENU-positiven Mäuse das 75 %-Mortalitätskriterium erreicht haben, sowie die mittlere Überlebenszeit (Wochen) nach Kaplan-Meier-Analyse

Gruppe	Abbruchkriterium erreicht	Mittlere Überlebenszeit (Mean ± SEM)
0 W/kg (sham)	71. Woche	64,2 ± 1,04
0,04 W/kg	69. Woche	58,1 ± 1,73
0,4 W/kg	69. Woche	63,6 ± 0,81
2 W/kg	68. Woche	62,9 ± 0,84

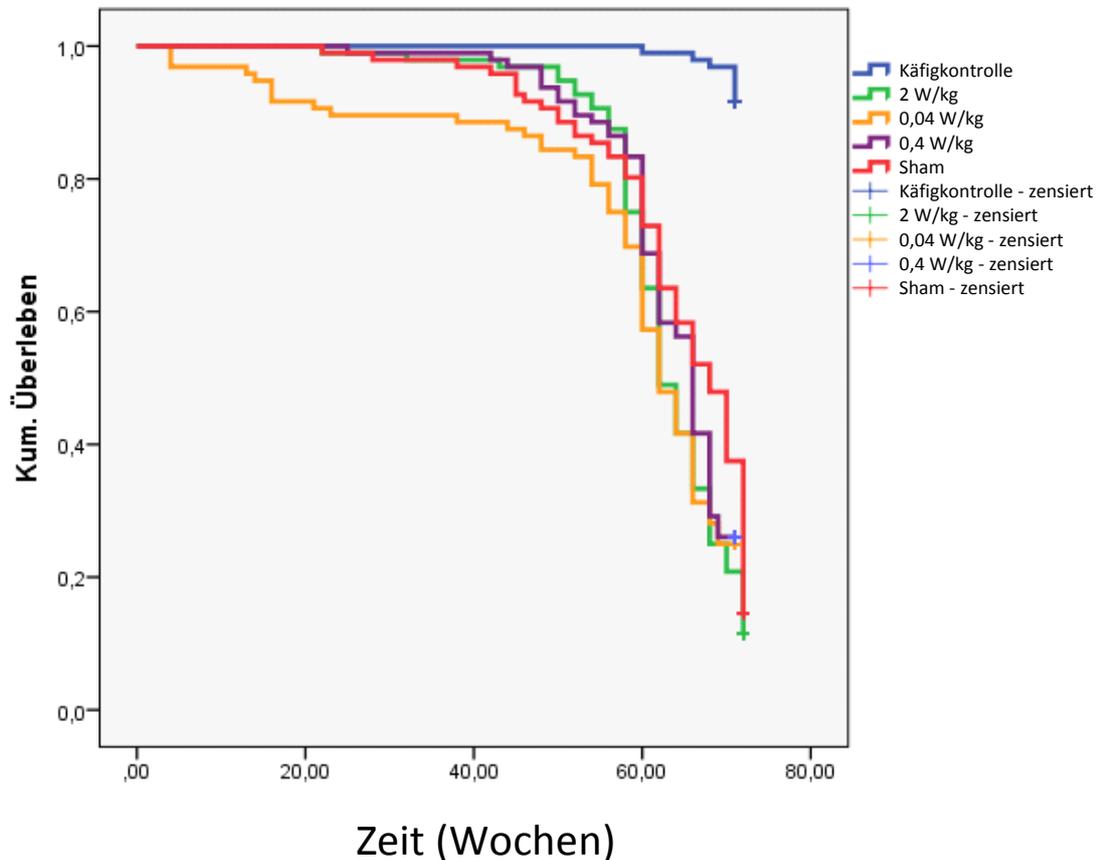


Abbildung 1: Überlebensfunktionen der schein-exponierten und exponierten Gruppen sowie der Käfigkontrolle. „Zensiert“ bedeutet, dass die Tiere der entsprechenden Gruppe zu diesem Zeitpunkt getötet wurden

5.2 TUMORRATEN

Die Tumorraten sind in den Abbildungen 2 - 5 und in den Tabellen 2 und 3 zusammengefasst. Es wurden sowohl in den Lungen als auch in den Lebern der exponierten Tiere zum Teil deutlich erhöhte Tumorraten gefunden. Bei den Lungen-Adenomen waren mehr multiple Tumore bei den exponierten Mäusen vorhanden.

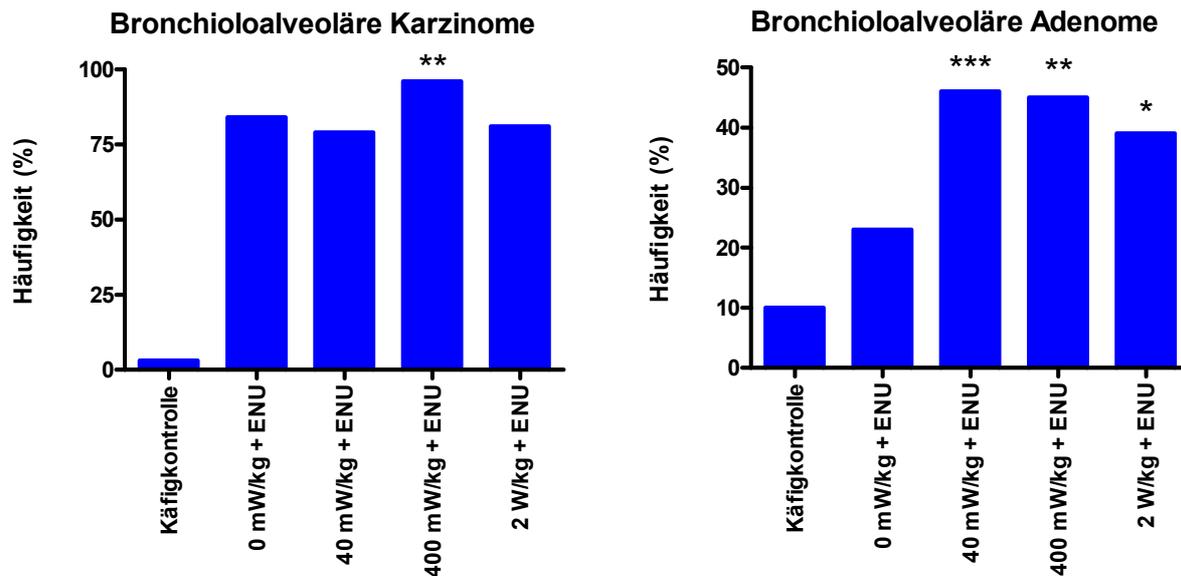


Abbildung 2: Prozentuale Häufigkeiten von Neoplasien in der Lunge in allen Gruppen: Bronchioloalveoläre Karzinome (linke Seite) und Bronchioloalveoläre Adenome (rechte Seite). * $p < 0,05$; ** $p < 0,01$; *** $p < 0,001$ vs. 0 W/kg + ENU

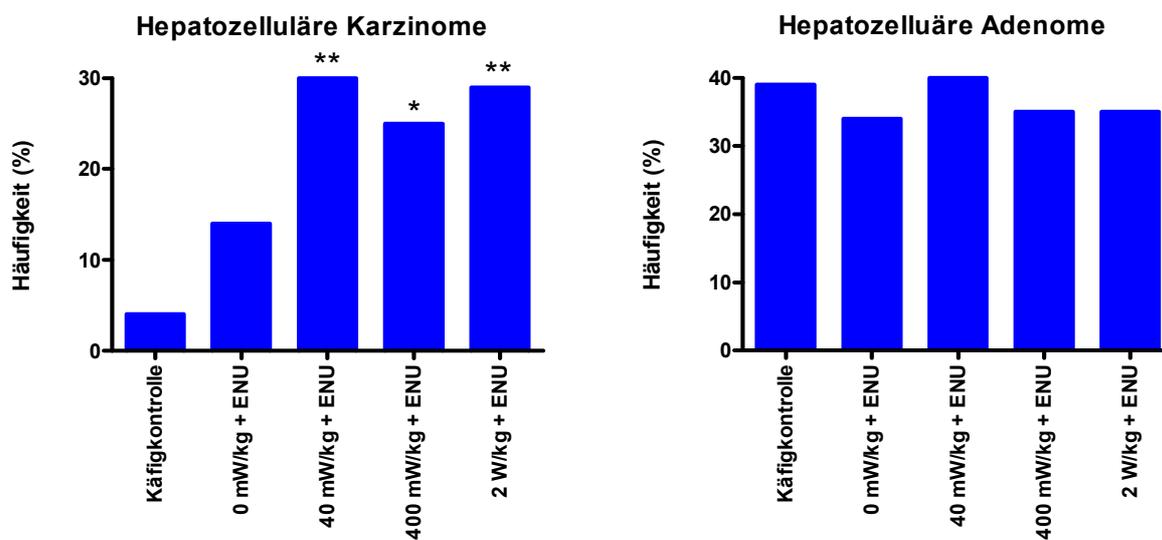


Abbildung 3: Prozentuale Häufigkeiten von Neoplasien in der Leber in allen Gruppen: Hepatozelluläre Karzinome (linke Seite) und hepatozelluläre Adenome (rechte Seite). * $p < 0,05$; ** $p < 0,01$ vs. 0 W/kg + ENU

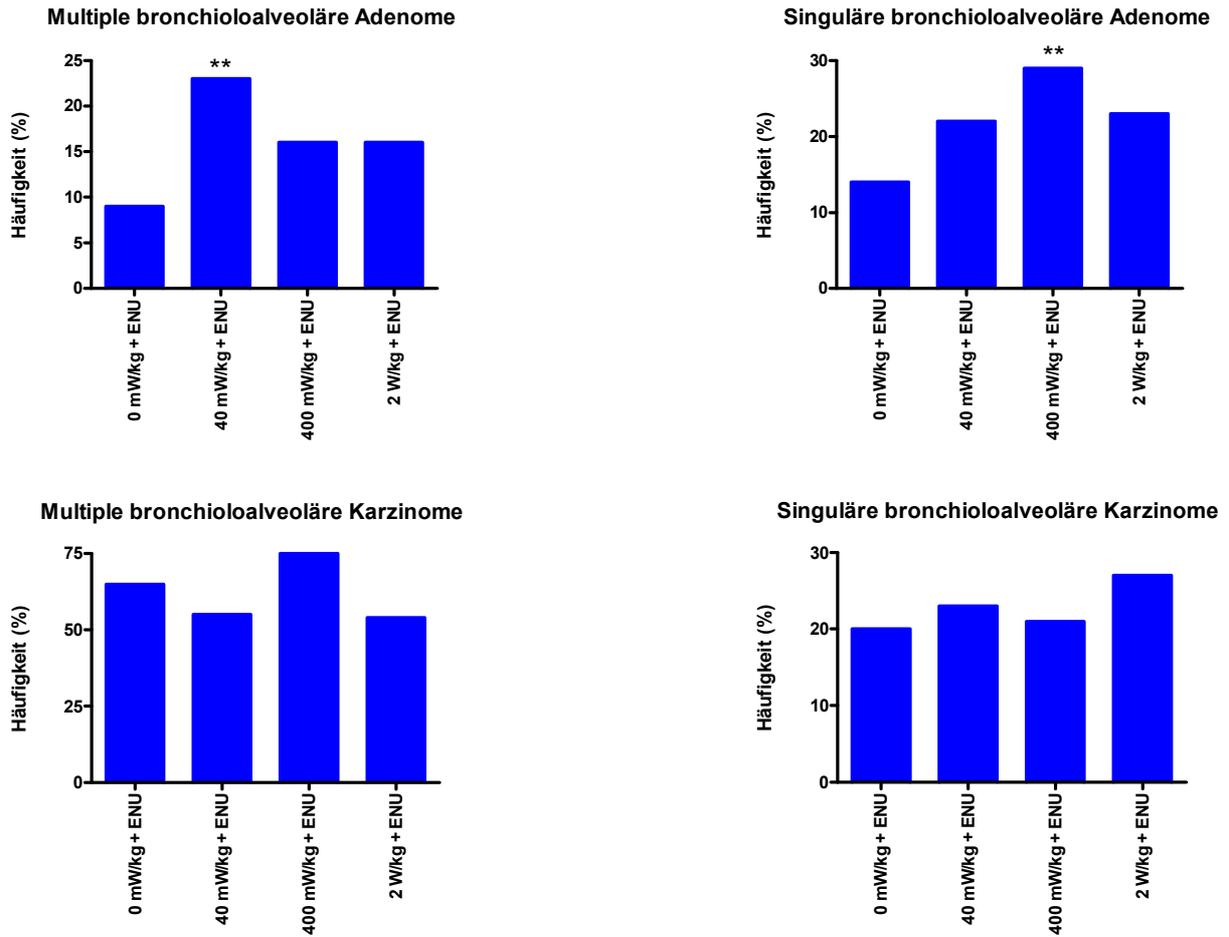


Abbildung 4: Prozentuale Häufigkeiten von singulären und multiplen Tumoren in der Lunge in den mit ENU behandelten Gruppen. ** p < 0,01 vs. 0 mW/kg + ENU

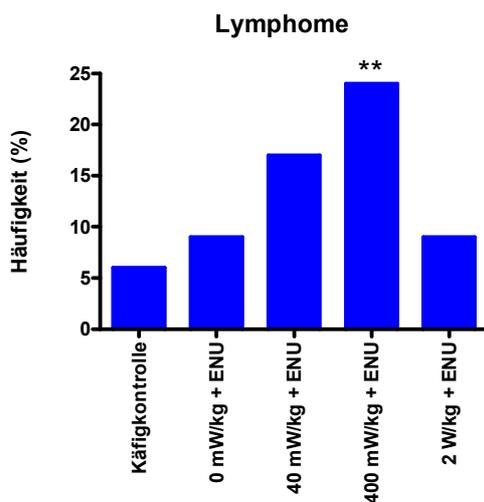


Abbildung 5: Prozentuale Häufigkeiten von Lymphomen in allen Gruppen. ** p < 0.01 vs. 0 mW/kg + ENU

Tabelle 2: Häufigkeit von Neoplasien in den untersuchten Organen der Käfigkontrolle, sham und exponierten Gruppen

Läsionen	Cage Control	0 W/kg (sham)	0,04 W/kg	0,4 W/kg	2 W/kg
Gehirn	[96]	[96]	[92]	[96]	[96]
gemischtes Gliom [M]	0 (0%)	0 (0%)	0 (0%)	1 (1%)	0 (0%)
Oligodendrogliom [M]	0 (0%)	1 (1%)	0 (0%)	1 (1%)	1 (1%)
Oligodendrogliom [B]	0 (0%)	1 (1%)	0 (0%)	0 (0%)	0 (0%)
Astrocytom [B]	0 (0%)	1 (1%)	0 (0%)	0 (0%)	0 (0%)
Meningiom [B]	0 (0%)	1 (1%)	0 (0%)	2 (2%)	0 (0%)
Lunge	[96]	[96]	[94]	[96]	[95]
Bronchioloalveoläres Karzinom (Ta) [M]	3 (3%)	81 (84%)	74 (79%)	92 (96%)**	77 (81%)
Bronchioloalveoläres Adenom (Ta) [B]	10 (10%)	22 (23%)	43 (46%)***	43 (45%)**	37 (39%)*
Bronchioloalveoläre Hyperplasie	3 (3%)	7 (7%)	7 (7%)	9 (9%)	3 (3%)
Leber	[96]	[96]	[93]	[96]	[95]
Hepatozelluläres Karzinom (Ta) [M]	4 (4%)	13 (14%)	28 (30%)**	24 (25%)*	28 (29%)**
Hepatozelluläres Adenom (Ta) [B]	37 (39%)	33 (34%)	37 (40%)	34 (35%)	33 (35%)
Hepatoblastom (Ta) [M]	0 (0%)	3 (3%)	3 (3%)	1 (1%)	1 (1%)
Hemangiosarkom (Ta) [M]	0 (0%)	2 (2%)	3 (3%)	3 (3%)	3 (3%)
Hemangiome (Ta) [B]	3 (3%)	4 (4%)	1 (1%)	2 (2%)	2 (2%)
Focus/Foci	9 (9%)	14 (15%)	15 (16%)	18 (19%)	14 (15%)
Gallengang-Hyperplasie	0 (0%)	2 (2%)	0 (0%)	1 (1%)	0 (0%)
Niere	[96]	[96]	[91]	[96]	[96]
Nierenzellkarzinom [M]	0 (0%)	2 (2%)	3 (3%)	7 (7%)	5 (5%)
Nierenadenom [B]	2 (2%)	3 (3%)	2 (2%)	5 (5%)	2 (2%)
Hyperplasie	0 (0%)	5 (5%)	3 (3%)	5 (5%)	0 (0%)
Milz	[96]	[96]	[93]	[96]	[96]
Hemangiosarkom [M]	2 (2%)	3 (3%)	1 (1%)	0 (0%)	0 (0%)
Hemangiome [B]	0 (0%)	1 (1%)	1 (1%)	2 (2%)	1 (1%)
Hyperplasie	1 (1%)	7 (7%)	8 (8%)	8 (8%)	5 (5%)
Hematop./Lymphat. Gewebe	[96]	[96]	[93]	[96]	[96]
Lymphom [M]	6 (6%)	9 (9%)	16 (17%)	23 (24%)**	9 (9%)
Histiocytisches Sarkom [M]	0 (0%)	4 (4%)	2 (2%)	1 (1%)	2 (2%)

Zahlen in eckigen Klammern geben die Anzahl histologisch untersuchter Organe pro Gruppe (n=96) an.

[B] Benigne Neoplasie / [M] Maligne Neoplasie. (Ta): nicht-invasiv.

* p < 0,5 ** p < 0,01 vs. sham

Tabelle 3: Anzahl von Neoplasien in den Organen Lunge und Leber der ENU-positiven Gruppen, aufgeschlüsselt nach singulären und multiplen Tumoren

Läsionen	0 W/kg (sham)	0,04 W/kg	0,4 W/kg	2 W/kg
Lunge	[96]	[94]	[96]	[95]
Multipl. Bronchioloalveoläres Karzinom [M]	62 (65%)	52 (55%)	72 (75%)	51 (54%)
Singuläres Bronchioloalveoläres Karzinom [M]	19 (20%)	22 (23%)	20 (21%)	26 (27%)
Multipl. Bronchioloalveoläres Adenom (Ta) [B]	9 (9%)	22 (23%)**	15 (16%)	15 (16%)
Singuläres Bronchioloalveoläres Adenom (Ta) [B]	13 (14%)	21 (22%)	28 (29%)**	22 (23%)
Leber	[96]	[93]	[96]	[95]
Multipl. Hepatoblastom [M]	0 (0%)	0 (0%)	0 (0%)	0 (0%)
Singuläres Hepatoblastom [M]	3 (3%)	3 (3%)	1 (1%)	1 (1%)
Multipl. Hepatozelluläres Karzinom [M]	5 (5%)	10 (11%)	6 (6%)	6 (6%)
Singuläres Hepatozelluläres Karzinom [M]	8 (8%)	18 (19%)*	18 (19%)*	22 (23%)**
Multipl. Hepatozelluläres Adenom [B]	10 (10%)	15 (16%)	13 (14%)	11 (12%)
Singuläres Hepatozelluläres Adenom [B]	23 (24%)	22 (24%)	21 (22%)	22 (23%)

Zahlen in eckigen Klammern geben die Anzahl histologisch untersuchter Organe pro Gruppe (n=96) an.

[B] Benigne Neoplasie / [M] Maligne Neoplasie

* p < 0,05; ** p < 0,01 vs. sham

6. UMSETZUNG DER ERGEBNISSE

Die Ergebnisse der Studie zeigen im untersuchten Tiermodell tumorfördernde Wirkungen hochfrequenter elektromagnetischer Felder bereits bei niedrigen SAR-Werten. Bei kleinen Tieren wie Mäusen werden die inneren Organe allerdings stärker von der Strahlung erreicht als beim Menschen. Eine organspezifische Dosimetrie war nicht Teil der Studie, sollte aber folgen. Zudem sollten mögliche Unterschiede zwischen normalem und Tumorgewebe z. B. im Hinblick auf die Energieaufnahme und -abgabe sowie mögliche Auswirkungen auf den Metabolismus untersucht werden. Da die UMTS-Exposition bereits vor der Injektion des Tumor-Initiators ENU begann, wäre auch eine verstärkte Aufnahme der Chemikalie in den Muttertieren oder in den Föten denkbar. Auch diese Möglichkeit wäre zu prüfen. Um beurteilen zu können, ob und inwieweit die im Tiermodell beobachteten Effekte für den Menschen relevant sind, muss der den Effekten zu Grunde liegende Wirkmechanismus weiter abgeklärt werden. Die Ergebnisse der Studie können nicht unmittelbar zur Ableitung von Grenzwerten für den Menschen herangezogen werden, sie stützen jedoch die Vorsorgeempfehlungen des BfS zur Vermeidung unnötiger HF-Expositionen. Die Ergebnisse sollen in einem Fachjournal veröffentlicht werden, um in die internationale Diskussion und Risikobewertung hochfrequenter elektromagnetischer Felder einfließen zu können.

Thema Einfluss hochfrequenter elektromagnetischer Felder auf Gehirnaktivität, Schlaf und kognitive Leistungsfähigkeit älterer Personen beiderlei Geschlechter - Pilotstudie		
Subject <i>Effect of high frequency electromagnetic fields on brain activity, sleep and cognitive performance in elderly women and men - pilot study</i>		
Forschungs- / Auftragnehmer Kompetenzzentrum Schlafmedizin, Charité - Universitätsmedizin Berlin, Campus Benjamin Franklin, Berlin		
Projektleitung Prof. Dr. H. Danker-Hopfe	Fachbetreuung BfS PD Dr. B. Pophof	verantwortlich für den Text Prof. Dr. H. Danker-Hopfe, Dr. H. Dorn

1. ZIELSETZUNG

Zur Vorbereitung eines Forschungsvorhabens zum Einfluss elektromagnetischer Felder nach GSM- und TETRA-Standard auf die Gehirnaktivität im Wachzustand und im Schlaf sowie die kognitive Leistungsfähigkeit älterer Personen war in diesem Pilotprojekt eine Expositionsanlage zu entwickeln, der aktuelle Stand des Wissens zum Thema aufzubereiten und ein Ethikvotum einzuholen.

2. EINZELZIELSETZUNG

2.1 AUFARBEITUNG DES RELEVANTEN STANDES VON WISSENSCHAFT UND TECHNIK

Anknüpfend an Literaturübersichten, die im Rahmen von zuvor bewilligten Forschungsvorhaben erstellt wurden, sollte der Stand von Wissenschaft und Technik aktualisiert werden. Dazu sollte eine bewertende Literaturrecherche zu möglichen Einflüssen elektromagnetischer Felder von Mobilfunk-Endgeräten auf Gehirnaktivität, Schlaf und Kognition durchgeführt werden, wobei alters- und geschlechtsspezifische Variationen besonders beachtet werden sollten. Die Ergebnisse der Literaturrecherche waren in einem eigenständigen Bericht zu dokumentieren.

2.2 ETHIKVOTUM

Zu Beginn der Pilotstudie war die Zustimmung der zuständigen Ethikkommission für eine Studie an 20 Frauen und 20 Männern im Alter von über 60 Jahren unter den Einfluss von GSM (2W/kg) und TETRA (6W/kg) einzuholen.

2.3 EXPOSITION UND DOSIMETRIE

Die Exposition der Versuchspersonen im Experiment sollte die Feldverteilung und Energieabsorption an der linken Seite des Kopfes nachbilden, wie sie beim Gebrauch von Mobilfunk- bzw. TETRA-Endgeräten auftreten. Dabei sollten im Interesse der Vergleichbarkeit mit früheren vom BfS beauftragten bzw. geförderten Studien maximale SAR-Werte von 2W/kg für GSM sowie 6W/kg für TETRA erzeugt werden.

3. METHODIK

3.1 EXPOSITION UND DOSIMETRIE

Zur Entwicklung der Expositionsanlage, die den gewünschten Anforderungen entspricht (siehe 2.3), wurde ein Unterauftrag an die Seibersdorf Labor GmbH vergeben.

Zur Befeldung der Versuchspersonen während der Tagesuntersuchungen und während des Schlafes wurde eine am Kopf getragene Antenne entwickelt, die in beiden Frequenzbereichen (GSM 915 MHz sowie TETRA 385 MHz) arbeiten kann. Es wurde eine Expositionsanlage realisiert, die gleichzeitig und unabhängig voneinander für zwei Personen jeweils eine der Versuchsbedingungen GSM, TETRA oder Sham (Scheinexposition) erzeugen kann. Dazu wurden Signalgeneratoren, Verstärker und Messgeräte in einem verschließbaren Geräteschrank integriert. Die Steuerung der Anlage erfolgte doppelblind über eine leicht bedienbare Software.

Leistungsparameter wurden zur Dokumentation und zur Sicherheit kontinuierlich überwacht. Dies erfolgte zur Wahrung der Blindheit verschlüsselt.

4. DURCHFÜHRUNG

4.1 AUFARBEITUNG DES RELEVANTEN STANDES VON WISSENSCHAFT UND TECHNIK

Die zum Thema aus der eigenen Arbeitsgruppe angefertigten und auf der Homepage des Bundesamtes für Strahlenschutz verfügbaren Literaturübersichten wurden mit einer aktuellen Literaturrecherche ergänzt, die insbesondere auch den TETRA-Funk berücksichtigte sowie alters- und geschlechtsspezifische Unterschiede in Effekten.

4.2 ETHIKVOTUM

Ein Ethikantrag wurde erarbeitet und bei der Ethikkommission 4 (Campus Benjamin Franklin) der Charité eingereicht.

4.3 EXPOSITION UND DOSIMETRIE

Die Expositionsanlage wurde im Zeitraum Januar bis Mai 2014 entwickelt und am Kompetenzzentrum Schlafmedizin, Charité - Universitätsmedizin Berlin installiert und kalibriert.

5. ERGEBNISSE

5.1 AUFARBEITUNG DES RELEVANTEN STANDES VON WISSENSCHAFT UND TECHNIK

Das Ergebnis der Aktualisierung der Literaturübersicht ist in einem eigenständigen Bericht dokumentiert. In der Mehrzahl der Mobilfunk-Studien zum spontanen Wach-EEG¹⁾ wurden Veränderungen im EEG registriert, wobei für TETRA lediglich eine Studie vorliegt. In geringerem Maße als beim Wach-EEG wurden Effekte einer Exposition mit mobilfunktypischen Signalen auf verschiedene durch äußere Reize hervorgerufene Hirnpotenziale gefunden. Die größte Anzahl an Studien zu möglichen Auswirkungen elektromagnetischer Felder auf den Menschen liegt in Bezug auf den Mobilfunk und kognitive Funktionen vor. Die Studienergebnisse sprechen sowohl für als auch gegen einen Effekt. Es wurden wiederholt relativ konstante Effekte auf das Schlaf-EEG in verschiedenen Frequenzbändern gefunden. Die Ergebnisse der meisten Studien beruhen auf jungen Männern, der Einfluss von Alter und Geschlecht wurde nur in seltenen Einzelfällen berücksichtigt. Zusammenfassend lässt sich feststellen, dass Studien zu potenziellen Einflüssen sowohl des Mobilfunks als auch des Digitalfunks TETRA in Bezug auf mögliche Interaktionen mit dem Geschlecht oder Alter fehlen und dringend durchgeführt werden sollten.

5.2 ETHIKVOTUM

Am 20. November 2013 wurde von der Ethikkommission 4 (Campus Benjamin Franklin) der Charité ein positives Votum erteilt (EA4/122/13).

5.3 EXPOSITION UND DOSIMETRIE

Die Entwicklung der Expositionsanlage ist in einem eigenständigen Bericht dokumentiert. Nach Konzeptionierung und Aufbau der Expositionsanlage sowie Validierung des Antennenmodells erfolgten umfangreiche numerische Berechnungen für die detaillierte Analyse und Unsicherheitsabschätzung bezüglich der Absorption im Kopf der Probanden. Als potenzielle Einflussgrößen wurden einerseits anatomische Variationen durch Verwendung zweier deutlich unterschiedlicher Kopfmodelle (Erwachsenenmodell „Ella“ als typisches weibliches Modell und das Modell des 14-jährigen Knaben „Louis“, Repräsentant einer sehr zierlichen erwachsenen Person; beide Modelle aus der Virtual Population der IT'IS Foundation, Schweiz) mit zusätzlicher Skalierung der Kopfgröße in anatomisch realistischen Bereichen und andererseits Unsicherheiten bezüglich der dielektrischen Gewebeeigenschaften, Hautfeuchteschwankungen im Bereich der Antenne, Variationen der Antennenposition am Kopf, Einfluss der EEG-Elektroden sowie Schwankungen des Antenneneingangsreflexions-

¹⁾ Elektroenzephalografie

faktors betrachtet. Die ermittelte resultierende Gesamtunsicherheit der Exposition (SAR 10 g im Gehirn) beträgt $< \pm 40\%$ für TETRA Exposition und $< \pm 45\%$ für GSM-Exposition.

6. UMSETZUNG DER ERGEBNISSE

Durch die vorliegende Studie wurden Voraussetzungen geschaffen, um weitere Probandenstudien an älteren Personen beider Geschlechter unter einer Exposition mit den Signalen GSM und TETRA durchzuführen. Eine Studie zum Einfluss hochfrequenter elektromagnetischer Felder von Mobilfunk-Endgeräten auf Gehirnaktivität, Schlaf und kognitive Leistungsfähigkeit von Frauen im Alter über 60 Jahre hat 2014 begonnen. Eine entsprechende Studie an älteren Männern ist geplant.

Thema			
Darstellung der technischen Möglichkeiten zur Minimierung elektrischer und magnetischer Felder von Niederfrequenz- und Gleichstromanlagen nach dem Stand der Technik			
Subject			
<i>Description of the technical options to minimise electric and magnetic fields for facilities operating with extremely low frequencies and/or direct current according to the state of the art</i>			
Kennzeichen 3614S80020	Beginn 05.05.2014	Ende 30.09.2014	Fördermittel EUR 97.361,-
Forschungs- / Auftragnehmer			
TÜV SÜD Industrie Service GmbH, Abteilung Umwelt Service, München; Prof. Dr.-Ing. W. Rehm, Regensburg			
Projektleitung Dr. Th. Gritsch	Fachbetreuung BfS D. Geschwentner / AG-SG 1.4	verantwortlich für den Text Projektkonsortium in Gemeinschaftsarbeit	

1. ZIELSETZUNG

Im Mittelpunkt der von der Bundesregierung beschlossenen Energiewende steht der Ausbau der erneuerbaren Energien. Die spezifischen Eigenschaften und die Verteilung der entsprechenden Anlagen bedingen einen erheblichen Um- und Ausbaubedarf der elektrischen Übertragungs- und Verteilnetze. Mit der Novellierung der 26. BImSchV (Verordnung zum Bundesimmissionsschutzgesetz (BImSchG)) im August 2013 wurde im § 4 - Anforderungen zur Vorsorge - folgender Absatz 3 eingefügt:

„Bei Errichtung und wesentlicher Änderung von Niederfrequenzanlagen sowie Gleichstromanlagen sind die Möglichkeiten auszuschöpfen, die von der jeweiligen Anlage ausgehenden elektrischen, magnetischen und elektromagnetischen Felder nach dem Stand der Technik unter Berücksichtigung von Gegebenheiten im Einwirkungsbereich zu minimieren. Das Nähere regelt eine Verwaltungsvorschrift gemäß § 48 des Bundes-Immissionsschutzgesetzes.“

Ziel des Projekts war es, anhand der veröffentlichten Literatur Minimierungsmöglichkeiten der Exposition der Bevölkerung gegenüber elektrischen (E) und magnetischen (B) Feldern, die von den Übertragungs- und Verteilnetzen für elektrische Energie mit einer Nennspannung von 1000 Volt oder mehr ausgehen, aufzuzeigen und darzustellen. Die Ergebnisse des Projekts sollen damit die technische Grundlage der allgemeinen Verwaltungsvorschrift (AVV) zur 26. BImSchV werden, die derzeit erstellt wird.

Betrachtet wurden dabei sowohl die derzeit gebräuchlichen als auch zukünftig zum Einsatz kommende neue Leitungstechniken, die im In- oder Ausland entwickelt oder erprobt werden. Zusätzlich zu den Netzen für die öffentliche Elektrizitätsversorgung (einschließlich Hochspannungsgleichstromübertragung, HGÜ) wurden auch die Bahnstromnetze einschließlich Oberleitungen hinsichtlich ihres Minimierungspotenzials überprüft.

Den Schwerpunkt bildeten die technischen Möglichkeiten zur Minimierung der Felder von Leitungen in den Übertragungsnetzen. Darüber hinaus wurden technische Möglichkeiten für Leitungen der anderen Drehstrom-Netzebenen, für HGÜ-Kabel und -Freileitungen sowie für weitere zum Netzbetrieb erforderliche Niederfrequenz- und Gleichstromanlagen, wie Umspannwerke, Schaltstationen und Ortsnetzstationen, im Sinne von § 3 und § 3a der 26. BImSchV betrachtet.

2. EINZELZIELSETZUNG

2.1 AUSWERTUNG DER WISSENSCHAFTLICHEN DATENLAGE (ARBEITSPAKET (AP) 1)

Die wissenschaftliche Datenlage, wie sie sich in der internationalen Fachliteratur zum Thema darstellt, sollte zusammengetragen und ausgewertet werden.

2.2 ORGANISATION EINES FACHGESPRÄCHS (AP 2)

Die aus der Sichtung der Fachliteratur gewonnenen Erkenntnisse sollten mit Fachexperten hinsichtlich ihrer Implementierung in die nationalen Übertragungs- und Verteilnetze diskutiert und um deren Erkenntnisse er-

gänzt werden. Auf diese Weise sollte insgesamt ein aktueller Überblick über den Stand der Technik bei den Minimierungsmaßnahmen gewonnen werden.

3. METHODIK

Es wurde eine systematische, bewertende Literaturrecherche durchgeführt und ein 2-tägiges Fachgespräch beim Bundesamt für Strahlenschutz in Neuherberg, Oberschleißheim, organisiert. Zu dem Fachgespräch wurden Wissenschaftler sowie Vertreter von Aufsichtsbehörden und Anlagenbetreibern eingeladen.

4. DURCHFÜHRUNG

4.1 LITERATURRECHERCHE (AP 1)

Für das AP 1 wurde in zahlreichen internationalen wissenschaftlichen Datenbanken nach der Thematik „Feldminimierung“ recherchiert, primär in gutachtergestützten wissenschaftlichen Zeitschriften. Die gefundenen Quellen wurden systematisch auf die Thematik durchsucht. Quellen, die zwar Bezug zu elektrischen und magnetischen Feldern im Energieversorgungsbereich hatten, aber nicht die Thematik „Feldminimierung“ behandelten, wurden vorab ausgeklammert.

Die relevante Literatur wurde nach Betriebsmitteln sortiert und die jeweils beschriebenen Minimierungsmaßnahmen in Tabellenform zusammengefasst. Jede beschriebene Maßnahme in einer Quelle wurde nach den Beurteilungskriterien „Wirksamkeit“, „Aufwand“ und „Nachteile“ bewertet (Tabelle 1).

Tabelle 1: Beispiel zum Betriebsmittel Freileitungen-Maßnahme Phasenoptimierung

Freileitungen - Phasenoptimierung					
Quelle / Land	Kurzbeschreibung	Wirksamkeit	Aufwand	Nachteile	Bemerkung
[5] EPRI EMF-Reference-book USA 1999 Handbuch	Sehr umfangreiches EMF-Handbuch von EPRI zum E- und B-Feldmanagement in allen Bereichen der Elektrotechnik, Kap. 6 beschreibt sämtliche Minimierungsmöglichkeiten bei Freileitungen (S. 209-292) Verschiedene Phasenoptimierungen zu E und B in Kap. 6.4 bei Doppelsystemen mit 525 kV und 345 kV In Kap. 5 sind auch Maßnahmen für Mittelspannungsfreileitungen beschrieben, die prinzipiell identisch mit denen bei Hochspannungsfreileitungen sind Theoretische Beschreibung und einzelne Pilotprojekte	E-Feld niedrig B-Feld nah: hoch fern: niedrig	niedrig	Geringe B-Feldreduktion bei gegensinnigen Lastflüssen oder unsymmetrischen Lasten	-

Im Rahmen des Abschlussberichts wurden die einzelnen Betriebsmittel und die dazu genannten Minimierungsmaßnahmen von den Autoren der Recherche bewertet, inwiefern diese Maßnahmen Stand der Technik sind. Hierzu wurden die in § 3 sowie im Anhang des BImSchG definierten Kriterien zum Stand der Technik auf sieben für die vorliegende Thematik wesentliche Punkte komprimiert (Tabelle 2).

Tabelle 2: Bewertung des Standes der Technik am Beispiel Freileitungen

Kriterien laut BImSchG zum Stand der Technik Freileitungen	praktische Eignung	Anlagensicherheit	Aufwand/ Nutzen	betriebliche Erprobung	technologischer Fortschritt	Wirksamkeit auf Emissionen	Energieeffizienz
Phasenoptimierung	+	+	+	+	+	+	+
Leiteranordnung	+	o	+	+	+	Feld: + (Lärm: o)	o / -
elektr. Schirmung	+	+	+	+	+	+	+
Abstandsvergrößerung	+	+	-	+	+	+	+
Stromreduktion	+	+	-	+	+	+	+
Phasensplitting	-	o	o	-	+	+	+
Kompensationsstromschleifen	o	-	-	-	+	+	-

Legende: "+": Kriterien erfüllt, "o": Kriterien mit Einschränkungen erfüllt, "-": Kriterien nicht erfüllt

4.2 FACHGESPRÄCH (AP 2)

Für AP 2 wurden 12 ausgewiesene Experten aus dem Bereich Hochschule, Industrie und Behörden zu einem 2-tägigen Fachgespräch am 14. und 15. Juli 2014 beim Bundesamt für Strahlenschutz in Neuherberg, Oberschleißheim, eingeladen. Jeder Teilnehmer stellte seinen fachlichen Bezug zum Thema „Feldminimierung“ in einer kurzen Präsentation vor. Anschließend diskutierten die Teilnehmer alle Minimierungsoptionen bezüglich Ihrer Relevanz zum aktuellen Stand der Technik und bezüglich der praktischen und wirtschaftlichen Anwendbarkeit sowie hinsichtlich der Implementierung in die nationalen Übertragungs- und Verteilnetze.

Die Ergebnisse der Literaturrecherche und des Fachgesprächs wurden in einem Abschlussbericht zusammengefasst.

5. ERGEBNISSE

5.1 LITERATURRECHERCHE

Insgesamt wurden 166 internationale Literaturquellen aus den Ländern Deutschland, Schweiz, Österreich, Niederlande, USA, Kanada, Australien, Saudi Arabien, Jordanien, Spanien, Italien, Südafrika, Griechenland, Slowenien und Ägypten in einschlägigen Datenbanken und im Internet recherchiert.

Häufig wird in der gefundenen Literatur nur die Umweltrelevanz von elektrischen (E-) und magnetischen (B-) Feldern oder die Berechnung dieser Felder betrachtet, nicht die Minimierung an sich.

Einige wenige, aber sehr umfangreiche Quellen (mehrere hundert Seiten) beschreiben hingegen alle relevanten Minimierungsmaßnahmen zu allen Betriebsmitteln. Zu Erfahrungen über den Einsatz tatsächlich realisierter Minimierungsmaßnahmen existiert allerdings nur wenig Literatur.

5.2 FACHTAGUNG

Im Rahmen der Fachtagung wurden folgende Referate vorgetragen:

- Prof. Dr.-Ing. Wolfgang Rehm, Hochschule für angewandte Wissenschaften München, stellte die im Rahmen des FE-Vorhabens durchgeführte internationale Literaturrecherche vor sowie die darin beschriebenen Möglichkeiten der Minimierung elektrischer und magnetischer Felder.
- Dr. Christoph Dörnemann, Amprion GmbH, referierte über die technischen Möglichkeiten der EMF-Minimierung und deren Grenzen sowie die heute in Höchstspannungsnetzen eingesetzte Technik.
- Prof. Dr.-Ing. Ernst Gockenbach, Scherer-Institut der Leibniz Universität Hannover, beschrieb technische Möglichkeiten, um elektrische und magnetische Felder von Hochspannungskabeln, Hochspannungsfreileitungen und gasisolierten Leitern zu minimieren.
- Dr.-Ing. habil. Alexander Novitskiy, Institut für elektrische Energie- und Steuerungstechnik der TU Ilmenau, berichtete über Analyse und Beurteilung der stationären elektrischen und magnetischen Felder konventioneller HGÜ-Freileitungen und über die Trassenbündelung von HGÜ-Strecken mit elektrifizierten Eisenbahnlinien.
- Markus Lehner, TenneT TSO GmbH, referierte über Möglichkeiten und Einschränkungen bei der Feldminimierung bei Freileitungen, Erdkabeln, Umspannwerken, Schaltanlagen sowie bei der HGÜ.
- Dipl.-Ing. Dr. techn. Ernst Schmutzter, Institut für elektrische Anlagen der TU Graz referierte über die Vorgehensweise bei der Minimierung von elektrischen und magnetischen niederfrequenten Feldern in Österreich.
- Renate Heintze, Bundesnetzagentur, diskutierte die Definitionen im BImSchG betreffend den Stand der Technik, die von der jeweiligen Anlage ausgehenden Felder sowie die Gegebenheiten im Einwirkungsbereich.
- Prof. Dr.-Ing. Michael Finkel, Hochschule für angewandte Wissenschaften Augsburg, beschrieb die prinzipiellen Möglichkeiten zur Minimierung der Magnetfelder bei Trafostationen.
- Dipl.-Ing. Eberhard Schühle, Netze BW GmbH, Stuttgart, beschrieb alle üblichen Maßnahmen zu HS¹⁾-Freileitungen, HS-Kabeln, Umspannwerken, MS²⁾-Freileitungen, Ortsnetzstationen, NS³⁾-Freileitungen und NS-Kabeln und zeigte dafür konkrete Beispiele auf.
- Dr. Stefan Joss, Bundesamt für Umwelt (BAFU), Bern, stellte die Schweizer NISV⁴⁾ und die in der Schweiz geltenden Gesetzesregelungen vor.
- Dipl.-Ing. (FH) Ludwig Linke, DB⁵⁾ Energie GmbH, Frankfurt, stellte den Aufbau des 2-phasigen 110 kV-16,7 Hz-Bahnstromnetzes vor.
- Dipl.-Ing. Markus Hößl, DB Systemtechnik GmbH, München, beschrieb die bei der DB verwendeten Oberleitungskonfigurationen an 2-gleisigen Strecken.
- Prof. Dr.-Ing. habil. Gerhard Hofmann, Hochschule für Technik und Wirtschaft, Dresden, stellte das 16,7 Hz-Energieversorgungsnetz der DB vor.

5.3 MINIMIERUNGSMABNAHMEN

Die vorangestellte Literaturrecherche sowie das Fachgespräch erbrachten folgende Ergebnisse hinsichtlich des Stands der Technik bei den Minimierungsmaßnahmen von Niederfrequenz- und Gleichstromanlagen:

5.3.1 Drehstromfreileitungen über 1 kV

Grundsätzlich sind alle in der Literatur genannten Maßnahmen zur Minimierung von E- und B-Feldern für Freileitungen technisch umsetzbar. Sie unterscheiden sich jedoch in der Wirksamkeit, im technischen Aufwand, in den ggf. für den Betrieb und die Ausfallsicherheit der Freileitungen zu beachtenden Einschränkungen und in den Kosten. Für die aktive Kompensation mittels Stromschleifen direkt an der Feldquelle sowie das Phasensplitting besteht ein ungünstiges Verhältnis zwischen Aufwand und Nutzen.

Bei der optimierten Leiteranordnung gilt die Einschränkung, dass die Abstandsverringerung die hohe Verfügbarkeit, die sich unter anderem durch hohe Sicherheitszuschläge gegen Seiltanzen oder Vereisung ergibt, nicht signifikant reduziert. Ein bereits in Planungsvorhaben umgesetztes Beispiel bei neu zu errichtenden

¹⁾ Hochspannung

²⁾ Mittelspannung

³⁾ Niederspannung

⁴⁾ Verordnung über den Schutz vor nichtionisierender Strahlung

⁵⁾ Deutsche Bahn

Hoch- und Höchstspannungsfreileitungen sind die der Wintrack-Mastform nachempfundenen Masten der TenneT anzusehen, die Phasenoptimierung und optimierte Leiteranordnung sinnvoll kombiniert.

Die Phasenoptimierung, die elektrische Schirmung und mit Einschränkungen die Verringerung der Leiterabstände sind als Stand der Technik zu bezeichnen.

5.3.2 Hochspannungsgleichstromübertragung (HGÜ)

Als Maßnahme werden in der Literatur die Polaritätsoptimierung bei bipolaren Systemen, die Abstandsvergrößerung durch Masterhöhung sowie die elektrische Schirmung durch Mitführung von geerdeten Leitern unter den beiden Gleichstromleitern genannt.

Die Verringerung der Leiterabstände und die Polaritätsoptimierung bei bipolaren Systemen, sowohl bei HGÜ-Kabeln als auch bei HGÜ-Freileitungen sind prinzipiell sowohl auf einzelnen Leitungsabschnitten, als auch auf der jeweils gesamten Leitungslänge einsetzbar. Beide Maßnahmen sind prinzipiell wirtschaftlich vertretbar.

Die Polaritätsoptimierung, die Verringerung der Leiterabstände und Schirmung ist als Stand der Technik zu bezeichnen. Für die Konverterstationen sind prinzipiell analoge Maßnahmen anwendbar, wie sie für Umspann- und Schaltwerke beschrieben sind.

5.3.3 Drehstromkabel über 1 kV

Bei in der Erde verlegten Kabeln wird das elektrische Feld nahezu vollständig geschirmt und muss daher nicht weiter betrachtet werden.

Zur Verringerung der magnetischen Felder bietet sich die Verwendung von Drehstromkabeln mit gemeinsamer Umhüllung an. Dies ist jedoch nur im unteren Spannungsbereich (10 kV, 20 kV) und für kleinere Querschnitte technisch sinnvoll umsetzbar. Bei Verwendung von Einleiterkabeln sollten diese gebündelt und in Dreiecks-Anordnung verlegt werden. Werden Parallelkabel, d. h. die Aufteilung einer Phase auf mehrere Leiter, verlegt, so können die magnetischen Felder durch optimierte Phasenordnung der Teilleiter (L1, L2, L3) minimiert werden.

Eine einfache Methode zur Verringerung des Magnetfeldes ist die beidseitige Erdung des Kabelschirmes. Verringert werden kann das Magnetfeld bei in Gebäuden verlegten Kabeln durch die Verlegung in geschlossenen und geerdeten Metallkanälen (Kabelkanälen) aus hochpermeablen Materialien. Eine andere Möglichkeit besteht in der Nutzung der Wirbelstromdämpfung in elektrisch gut leitfähigen Metallen wie Aluminium. Auch die gasisolierten Leiter bieten vielversprechende Ansätze. Sie vereinen die Möglichkeit, auf Freileitungsmasten zu verzichten und weisen gleichzeitig keine Emissionen von E-Feldern und nur minimale Emissionen von B-Feldern auf. In einzelnen Pilotprojekten wurde die praktische Eignung nachgewiesen.

Die Phasenoptimierung und mit Einschränkungen die magnetische Schirmung sowie die Verringerung der Leiterabstände sind als Stand der Technik zu bezeichnen.

5.3.4 Umspannwerke und Schaltanlagen

Umspannwerke und Schaltanlagen im Hoch- und Höchstspannungsbereich sind in der Regel als Freiluftanlagen ausgeführt. Die höchsten Werte für die elektrischen Felder treten dabei am Anlagenzaun in dem Bereich der Einleitung der Freileitungstrassen und der Oberspannungs-Stromschienen auf. Für die Magnetfelder ist hingegen die Niederspannungsseite des Umspannwerks relevant. Minimierungsmaßnahmen setzen daher bei einer Neuplanung erstrangig dort an, den Abstand zwischen den maßgeblichen Feldquellen für das E- und B-Feld und dem Anlagenzaun bzw. dem Immissionsort zu maximieren. Dies bedeutet letztlich die Höhe der Portale möglichst zu vergrößern und die Überführung der Niederspannungsseite, beispielsweise in Erdkabeln, mit ausreichendem Abstand zum Anlagenzaun zu konzipieren.

Eine weitere Maßnahme ist die Schirmung der elektrischen Felder. Dies kann mit relativ einfachen Mitteln erfolgen, wie durch die Erhöhung des Anlagenzauns oder die Bepflanzung mit Bäumen entlang des Zauns. Eine Schirmung des Magnetfeldes ist bei Freiluft-Umspannwerken für die gesamte Anlage unter Berücksichtigung der Verhältnismäßigkeit von Aufwand zu Nutzen nicht machbar. Eine derartige Maßnahme kann sich daher nur auf einzelne Anlagenkomponenten beziehen.

Die Abstandsvergrößerung und mit Einschränkungen die Phasenoptimierung, die Leiteranordnung sowie die elektrische und magnetische Schirmung sind als Stand der Technik zu bezeichnen.

5.3.5 Ortsnetzstationen

Stand der Technik ist hier, zwischen den Niederspannungsanschlüssen am Transformator sowie der Stromschiene bzw. dem Kabel zur Niederspannungshauptverteilung (NSHV) einen möglichst großen Abstand zu

den nächstgelegenen Immissionsorten einzuhalten. Befindet sich die Ortsnetzstation beispielsweise im Untergeschoss eines Gebäudes, so sollte eine Transformatorconfiguration mit Stromanschlussfahnen an der Unterseite gewählt werden. Auch die Verbindungskabel zur NSHV sind dann möglichst im Zwischenboden und nicht an der Decke zu führen. Derartige Maßnahmen sind sehr wirkungsvoll, nahezu kostenneutral und in der Planungsphase leicht umzusetzen.

Zusätzliche Minimierungseffekte lassen sich durch feldreduzierte Verbindungskabel (Minimierung der Abstände und dreieckige Legeanordnung) bzw. durch Verringerung der Abstände zwischen den einzelnen Phasen der Stromschienen erzielen. Auch die magnetische Schirmung von Umspannstationen innerhalb von Gebäuden wurde bereits in vielen Fällen realisiert. Insbesondere bei in Krankenhäusern installierten Umspannstationen lässt sich nur mit Schirmungsmaßnahmen eine Störung medizinisch diagnostischer Verfahren vermeiden. Allerdings ist abhängig vom Umfang der Schirmung und dem zu erzielenden Minimierungseffekt mit erheblichen Kosten zu rechnen.

Weniger verbreitet, aber ohne größere Probleme realisierbar, ist auch die passive Schirmung von Schaltschränken in Schalt- und Verteilungsanlagen. Durch den Einsatz von Stahl/Aluminium-Verbundwerkstoffen oder hochpermeablen Metallverbindungen lassen sich deutliche Minimierungseffekte erzielen.

In Niederspannungsverteilungen kann durch eine sorgfältige Planung der zu erwartenden Verbraucherleistungen insgesamt eine Reduktion der Stromstärken auf den Stromschienen der Verteilung erreicht werden. Durch eine mittige Einspeisung in eine Schaltanlage fließen im Idealfall nur halb so hohe Ströme auf der Stromschiene wie bei einer seitlichen Einspeisung. Weiter verbessern lässt sich dieser Effekt durch eine Anordnung der Abgänge für die stärksten Verbraucher in der Nähe zum Einspeisepunkt, so dass die hohen Stromstärken und damit verbunden auch hohe Magnetfeldemissionen nur auf einem möglichst kurzen Abschnitt in der Stromschiene auftreten. Auch dieses Verfahren wird bei Neuplanungen von Schaltanlagen bzw. wesentlichen Änderungen bereits in vielen Fällen eingesetzt und kann damit als Stand der Technik bezeichnet werden.

5.3.6 Bahnenergieversorgung Freileitungen

Heute sind die 110 kV-Übertragungsnetze der Bahn nahezu ausschließlich mit Freileitungen aufgebaut. Grundsätzlich sind dieselben Maßnahmen wie für Drehstromfreileitungen anwendbar.

Die Phasenoptimierung und mit Einschränkungen die Verringerung der Leiterabstände sowie die Abstandsvergrößerung sind als Stand der Technik zu bezeichnen.

5.3.7 Bahnenergieversorgung Unter- und Umrichterwerke

Wirkungsvolle Maßnahmen bestehen bei Freiluftanlagen in der Anordnung der Unter- und Umrichterwerke in ausreichendem Abstand zur äußeren Umzäunung bzw. bei Innenraumanlagen in ausreichendem Abstand zur Gebäudeaußenwand. Grundsätzlich sind dieselben Maßnahmen wie für Drehstrom-Umspannwerke und Schaltanlagen anwendbar.

Die Abstandsvergrößerung und mit Einschränkungen die Phasenoptimierung, die Leiteranordnung sowie die elektrische und magnetische Schirmung sind auch hier als Stand der Technik zu bezeichnen.

5.3.8 Bahnenergieversorgung Oberleitungen

Fahrstrom: Wirkungsvolle Maßnahmen bestehen in der Verringerung des Fahrstromes durch zweiseitige Einspeisung und geringere Abstände zu den einspeisenden Unterwerken. Hierzu müsste jedoch die Anzahl der Unterwerke erhöht werden.

Erdrückstrom: Die wirkungsvollste Maßnahme besteht in der gezielten Führung des Erdrückstromes. Hier bieten sich in erster Linie die Verwendung von Rückleitungsseilen an, die parallel zu den Fahrstrecken an den Mastgestängen verlegt werden.

Durch die Verwendung von Boostertransformatoren kann der Erdrückstrom verringert werden. Die Kombination von Auto- und Boostertransformatoren zur Streckenspeisung führt sowohl zur Verringerung des Fahrstromes als auch zur Verringerung des Stromes im Gleis und im Erdreich. Diesen Vorteilen steht erhöhter Errichtungs- und Instandhaltungsaufwand entgegen.

Sowohl die Verwendung von Rückleitungsseilen als auch die Verwendung von Auto- und Boostertransformatoren bietet sich an bei Fahrstrecken durch dicht bebaute Gebiete. Insbesondere die Verwendung von Rückleitungsseilen ist eine wirtschaftlich vertretbare Maßnahme, die zudem den Vorteil der Verringerung der Leitungsverluste aufweist.

Alle beschriebenen Maßnahmen sind bereits Stand der Technik und werden in einigen Ländern eingesetzt, wenn zum Teil auch aus anderen Motiven (Gleis-Erde-Potential). Die Maßnahmen sind prinzipiell auf einzelnen Leitungsabschnitten als auch im gesamten Netz anwendbar.

6. UMSETZUNG DER ERGEBNISSE

Die Ergebnisse des Vorhabens dienen als Grundlage für das Kapitel „Technische Anforderungen“ der AVV nach § 4 Absatz 2 der 26. BImSchV, die vom Bundesumweltministeriums (BMUB) erarbeitet wird. Die AVV soll die aus fachlicher Sicht erforderliche Vorsorge bei Errichtung, wesentlicher Änderung und Betrieb von Gleichstrom- und Niederfrequenzanlagen konkretisieren und zu einem bundesweit einheitlichen Anwenden des Vorsorgeparagraphen beim Stromnetzausbau beitragen. Hierzu wurden die Ergebnisse des Vorhabens in die zuständige Arbeitsgruppe für die Erarbeitung der AVV eingebracht und diskutiert.

Themenbereich 09 Deutsches Mobilfunk-Forschungsprogramm

Subject area 09 German Mobile Telecommunication Research Programme

Im Deutschen Mobilfunk-Forschungsprogramm (DMF) (www.deutsches-mobilfunk-forschungsprogramm.de) wurden 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. Das DMF endete im Jahr 2008. Die Vorhaben in diesem Kapitel sind einzelne Folgeprojekte, die im Rahmen des sogenannten DMF II durchgeführt werden.

The German Mobile Telecommunication Research Programme (DMF) (www.deutsches-mobilfunk-forschungsprogramm.de) 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. The Research Programme ended in 2008. The projects identified in this chapter are individual follow-up projects conducted within the scope of the so-called DMF II.

Thema			
Einfluss hochfrequenter Felder des Mobilfunks auf das blutbildende System in vitro			
Subject			
<i>Influence of high frequency electromagnetic fields of mobile communications on the hematopoietic system in vitro</i>			
Kennzeichen FM8851	Beginn 01.03.2012	Ende 30.06.2014	Fördermittel EUR 272.143,-
Forschungs- / Auftragnehmer Universität Würzburg			
Projektleitung Prof. Dr. H. Stopper	Fachbetreuung BfS Dr. A. Dehos / AG-SG	verantwortlich für den Text Dr. H. Hintzsche	

1. ZIELSETZUNG

Im Bereich biologischer Wirkungen durch Mobilfunkfelder sind nach wie vor einige Aspekte nicht abschließend geklärt, hierzu gehört insbesondere die Frage, ob Kinder möglicherweise empfindlicher auf diese Art Strahlung reagieren als Erwachsene. Es gibt Hinweise darauf, dass Kinder im Knochenmark des Schädels deutlich höheren Intensitäten ausgesetzt sind als Erwachsene. Dies ist von besonderer Bedeutung, da hier teilweise die Hämatopoese stattfindet. Ziel dieses Forschungsvorhabens war es daher, zu untersuchen, ob Zellen des hämatopoetischen Systems in vitro durch unterschiedliche Mobilfunkfelder in ihrer Struktur bzw. ihrer Funktion beeinflusst werden können.

2. EINZELZIELSETZUNG

2.1 EXPOSITION UND DOSIMETRIE

Ziel des Vorhabens war es zunächst, eine Expositionsrichtung zu erstellen, die es erlaubt, Zellen mit Mobilfunkfeldern moduliert nach GSM- (900 MHz), UMTS- (1950 MHz) und LTE¹⁾-Standard (2535 MHz) zu exponieren. Dabei wurden kurze (4 h) und lange (20 h bzw. 66 h) Expositionen mit einer über die Zellen gemittelten spezifischen Absorptionsrate (SAR) von 0 W/kg (Scheinexposition), 0,5 W/kg, 1 W/kg, 2 W/kg und 4 W/kg durchgeführt.

2.2 BIOLOGIE

Ziel war weiterhin die Etablierung der Endpunkte inklusive geeigneter Positivkontrollen und schließlich die Durchführung und Auswertung aller vorgesehenen Expositionen mit den HL²⁾-60-Zellen und den hämatopoetischen Stammzellen.

3. METHODIK

3.1 EXPOSITION UND DOSIMETRIE

Die Expositionen wurden in einer sogenannten Mikro-Transversal-Elektromagnetischen-Zelle (μ TEM-Zelle) durchgeführt, die speziell für derartige Untersuchungen von der TU Braunschweig entwickelt wurde. Sie ist für alle verwendeten Frequenzen nutzbar. Konstante Zellkulturbedingungen wurden dadurch gewährleistet, dass die μ TEM-Zelle innerhalb eines Inkubators betrieben wurde. Dabei wurde der konvektionsbedingte Wärmeaustausch zwischen den Zellproben und der geregelten Inkubatoratmosphäre mittels eines Pumpenkreislaufes verbessert.

Zur Sicherung und Dokumentation der Qualität der Expositionsexperimente wurden die Temperatur der μ TEM-Zelle, die Temperatur am Ort der Probe sowie die Temperatur, die Luftfeuchte, der Druck und der

¹⁾ Long Term Evolution

²⁾ Humane promyelozytische Leukämiezellen

CO₂-Gehalt der Inkubatoratmosphäre mindestens einmal pro Minute aufgezeichnet und in einem codierten Datensatz abgelegt. Die Hochfrequenzleistung wurde am Ein- und Ausgang der Zelle ebenfalls einmal pro Minute gemessen und aufgezeichnet. Abbildung 1 zeigt den im Verlauf des Projektes erstellten Versuchsaufbau schematisch.

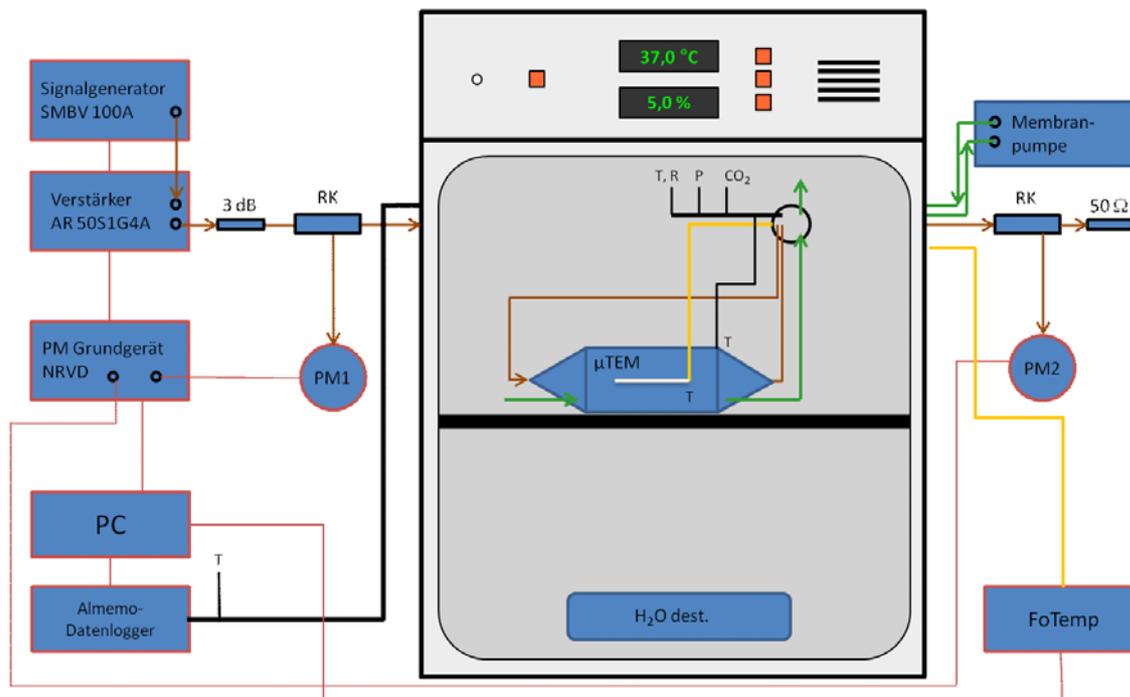


Abbildung 1: Versuchsaufbau für die Feldexposition

Die Verblindung der Expositionen wurde durch eine selbstentwickelte Software zur Steuerung der gesamten Expositionsanlage gewährleistet. Diese wählte nach der Wahl von Zelltyp und Expositionsdauer zufällig einen Satz noch nicht verwendeter Expositionsparameter aus.

3.2 BIOLOGIE

In diesem Forschungsvorhaben kamen HL-60-Zellen und hämatopoetische Stammzellen zum Einsatz. Für beide Zellsorten wurden folgende Endpunkte etabliert:

- Oxidativer Stress mittels DCF (Dichlorfluorescein)-Analytik
- CD11b¹⁾-Expression und Adhärenz
- Nukleotidexzisionsreparatur
- Zellzyklus-Bestimmung
- Quantifizierung von DNA-Strangbrüchen mittels Comet Assay
- Histonacetylierung
- Apoptose-Bestimmung mittels Annexin V.

4. DURCHFÜHRUNG

4.1 EXPOSITION UND DOSIMETRIE

Für die Festlegung der erforderlichen vorlaufenden Leistungen während der Exposition mit verschiedenen Signalarten und spezifischen Absorptionsraten wurde die Simulationssoftware Microwave StudioTM der Firma CST²⁾ verwendet. Für ein realitätsnahes Simulationsmodell (Abbildung 2) der μTEM-Zelle und der ausge-

¹⁾ ein Oberflächenantigen

²⁾ Computer Simulation Technology

wählten Probenbehälter mit rechteckiger Grundfläche wurde die Geometrie der Zelle und ihrer Bauteile sowie der Probenbehälter vermessen und die Materialverluste in der Rechnung berücksichtigt. Eine Optimierung des Modells erfolgte durch den Vergleich der gemessenen und simulierten Streuparameter der leeren μ TEM-Zelle.

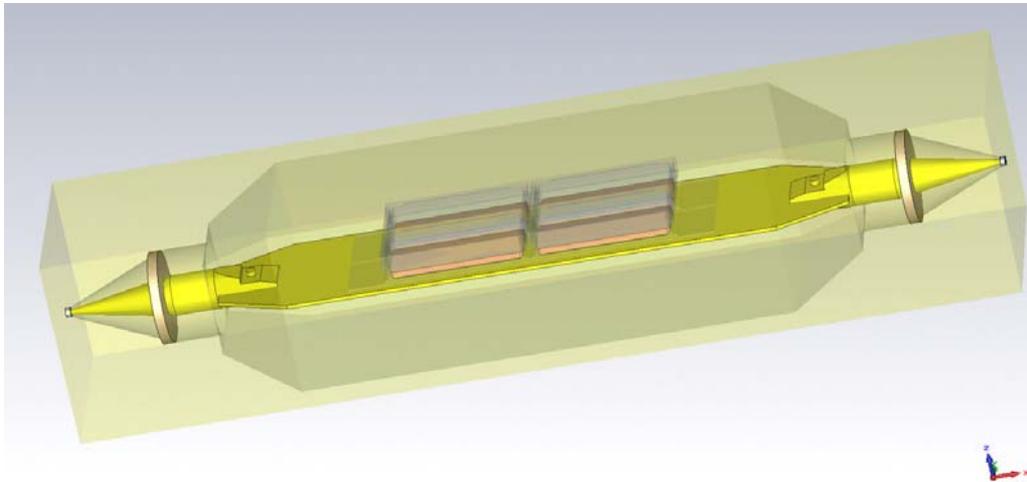


Abbildung 2: CST-Modell der mit vier Probencontainern beladenen μ TEM-Zelle

Zur Steuerung der Feldexpositionsanlage und zur automatischen, minütlichen Speicherung aller relevanten Messdaten wurde ein Steuerprogramm entwickelt und mit LabViewTM realisiert. Mit der Implementierung eines „Pause-Buttons“ wurde die Möglichkeit geschaffen, eine laufende Exposition jederzeit kurzzeitig unterbrechen und mit der noch ausstehenden Laufzeit fortführen zu können. Dies ermöglicht die Zugabe von Substanzen zu den Zellkulturmedien. Das Steuerprogramm wurde fortlaufend optimiert und Fehler behoben, die sich bei mehrfachen Anwendertests zeigten.

Die mit der Durchführung der Expositionen betrauten Mitarbeiter des Instituts für Pharmakologie und Toxikologie in Würzburg wurden in die Handhabung und Nutzung der Steuer-Software ausführlich eingewiesen. Eine regelmäßige Kontrolle der Expositionsdaten sowie deren Backup erfolgte mittels eines externen Zugriffs auf den Messrechner in Würzburg von der PTB Braunschweig aus (Abbildung 3). Auf diesem Weg wurden notwendige Wiederholungen einzelner Expositionen durch Freischalten der dazugehörigen Expositionsparameter ermöglicht. Dabei war trotz der Wiederholungsexpositionen die Verblindung sicher gewährleistet. Die Parameter bereits durchgeführter Expositionen wurden in einer dem Anwender unbekannt, verschlüsselten Form und an einem für ihn unbekanntem Speicherort gesichert. Das Wissen über den Ablageort sowie die Entschlüsselung oblag nur der PTB. Der Versuchsaufbau an der Universität Würzburg wurde regelmäßig von der PTB überwacht.

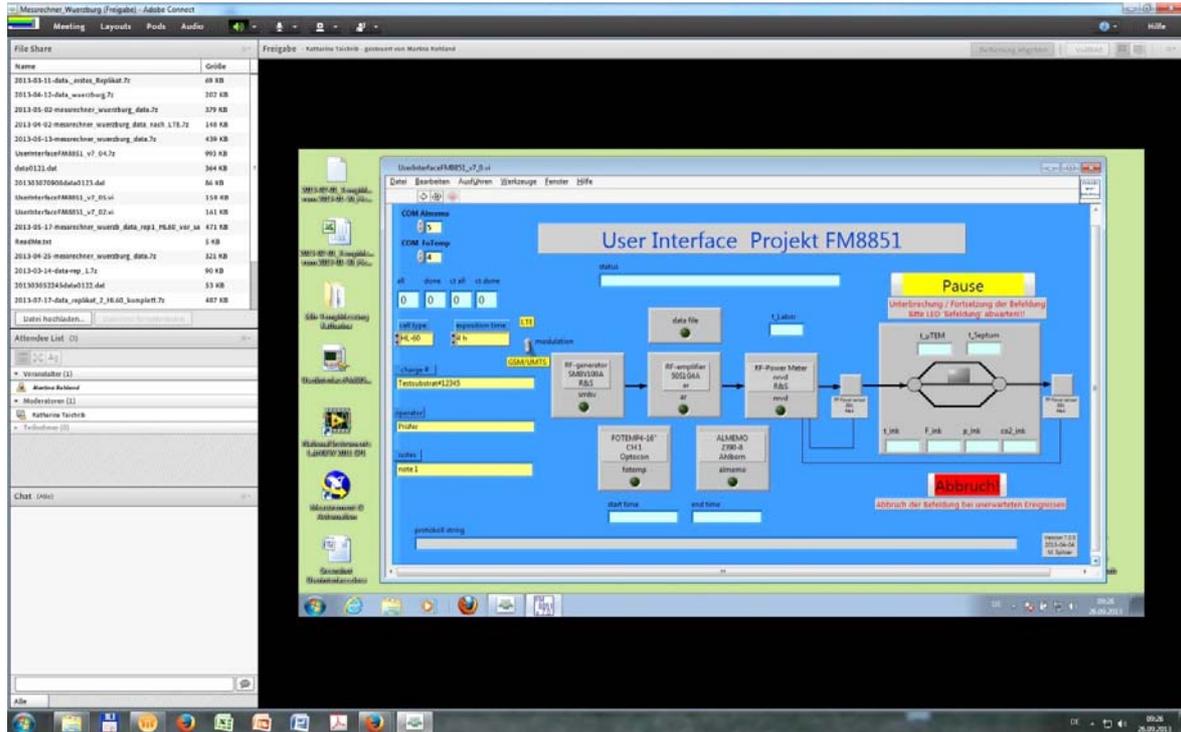


Abbildung 3: Externer Messrechnerzugriff

4.2 BIOLOGIE

Zur Bestimmung des oxidativen Stresses wurde der DCF-Test (Dichlorfluorescein-Test) etabliert. Dabei wird eine nicht-fluoreszierende Verbindung (DCF-DA) in die Zellen eingebracht, modifiziert (DCFH) und von reaktiven Sauerstoffspezies (ROS) zu einer fluoreszierenden Verbindung (DCF) oxidiert. Die Fluoreszenz ist ein Maß für den oxidativen Stress in der Zelle und kann durchflusszytometrisch quantifiziert werden.

Für den Endpunkt Differenzierung wurden zur Identifizierung der Positivkontrolle unterschiedliche Substanzen untersucht. So sollen laut Literatur Dimethylsulfoxid (DMSO), Retinsäure (RA) und Natriumbutyrat eine Differenzierung zu Granulozyten induzieren, die im Vergleich zu weniger ausgereiften Zellen mehr CD11b-Protein auf ihren Oberflächen exprimieren. Diese Oberflächenantigene lassen sich durch fluoreszenzmarkierte Antikörper detektieren und im Anschluss durchflusszytometrisch nachweisen. Je mehr CD11b-Antigene vorhanden sind, desto höher ist die Fluoreszenz. Zusätzlich wurde die Differenzierung als Anteil der adhärennten Zellen quantifiziert.

Weiterhin sollte die Kontrolle des ordnungsgemäßen Ablaufs des Zellzyklus untersucht werden. Die Regulation dieses Zyklus findet sowohl durch äußere (Nährstoffangebot, Zelldichte) als auch innere (Cycline, andere Zellzyklusproteine) Faktoren statt. Hierfür wurde der DNA-Gehalt mittels Durchflusszytometrie bestimmt. Diese Methode basiert darauf, dass der DNA-Gehalt in der Zelle während der G2-Phase doppelt so hoch ist wie während der G1-Phase. Die Zellen, die sich in der S-Phase befinden, weisen einen DNA-Gehalt auf, der zwischen diesen beiden Bereichen liegt. Bei der durchflusszytometrischen Messung lassen sich die drei Bereiche trennen, wodurch der Anteil der einzelnen Zyklusphasen quantifiziert werden kann.

Genotoxische Effekte sind Wirkungen, die die DNA betreffen und negative Auswirkungen für die Zelle haben. Zu den schwerwiegendsten Störungen gehören DNA-Strangbrüche. Methode der Wahl war hierbei der Comet Assay, der sowohl Einzel- als auch Doppelstrangbrüche detektiert. Bei diesem Verfahren werden die Zellkerne einer Elektrophorese unterzogen. Dabei wandert geschädigte DNA im elektrischen Feld schneller als intakte DNA und kann mittels Software-gestützter Mikroskopie quantifiziert werden.

Eine Variante des Comet Assays wurde zur Quantifizierung der DNA-Reparatur eingesetzt. Hierfür wurden Zellen initial einer UV-Strahlung von 15 J/m^2 ausgesetzt, wodurch Strangbrüche entstehen, die jedoch durch die Nukleotidexzisionsreparatur repariert werden können. Teil dieser Reparaturprozesse ist die Neusynthese

kurzer DNA-Stränge, die durch Reparaturinhibitoren wie Aphidicolin gehemmt werden kann. Dadurch bleiben die entstandenen DNA-Strangbrüche bestehen und können im Comet Assay quantifiziert werden.

Bei epigenetischen Effekten handelt es sich um Veränderungen, die nicht auf einer Änderung der DNA-Sequenz beruhen, aber dennoch zu einer veränderten Aktivität unterschiedlicher Gene führen können. Neben der DNA-Methylierung spielt hier besonders die Veränderung der Histone eine Rolle, da diese direkt mit der Transkription korreliert. Daher sollten in diesem Vorhaben Histonmodifikationen als Endpunkt für epigenetische Wirkungen untersucht werden. Eine geeignete Methode hierfür war die durchflusszytometrische Quantifizierung der Acetylierung von Histon H3. Im Allgemeinen findet durch die Acetylierung der Histonproteine eine Öffnung statt, so dass RNA-Polymerasen Zugang zu den Genen haben und die Transkription ermöglicht wird. Histon H3 ist eines der fünf Haupthistone und u. a. für die Struktur der Nukleosomen verantwortlich. Die Acetylierung von Lysin 9 ist oft mit erhöhter Transkription assoziiert.

Apoptose ist eine Form des programmierten Zelltods, durch den geschädigte Zellen eliminiert werden. Ein spezifisches Charakteristikum dieses Prozesses ist, dass apoptotische Zellen negativ geladene Phospholipide, vor allem Phosphatidylserin, außen auf ihrer Membran tragen. Da Zellen diese Phospholipide normalerweise nur auf der Innenseite der Membran tragen, können apoptotische Zellen dadurch von Phagozyten erkannt werden. Die Detektion des Phosphatidylserins und damit apoptotischer Zellen erfolgte mittels Annexin V, welches anschließend durchflusszytometrisch quantifiziert wurde.

5. ERGEBNISSE

5.1 EXPOSITION UND DOSIMETRIE

Abbildung 4 demonstriert die SAR-Wertverteilung beispielhaft im Fall von UMTS mit einer Eingangsleistung von 1 W bei einer Anordnung der Probenbehälter entsprechend der in Abbildung 2. Die SAR-Verteilung in jeder einzelnen Probenschale ist aufgrund der symmetrischen Anordnung nahezu gleich.

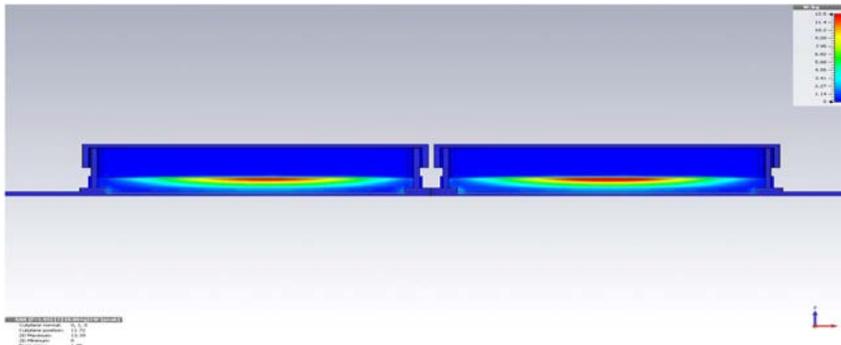


Abbildung 4: CST-Simulation mit vier Probenbehältern (Sarstedt, 1-Well Chamber Slides, Polystyrol): Variation der SAR-Werte im Zellmedium bei 1950 MHz und 1 W effektiver Eingangsleistung

5.2 BIOLOGIE

Es konnte keine Änderung der unterschiedlichen Endpunkte als Folge der Befeldung festgestellt werden. Beispielhaft sind die Ergebnisse der Apoptose-Messungen in der Abbildung 5 gezeigt.

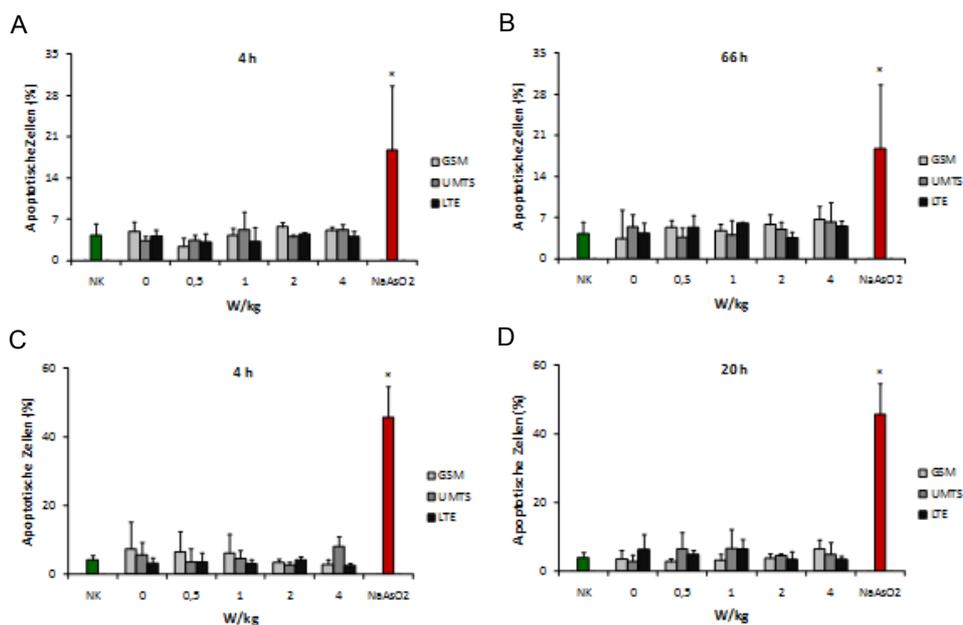


Abbildung 5: Ergebnisse der Kurz- und Langzeitexpositionen von HL-60-Zellen (A, B) und hämatopoetischen Stammzellen (C, D) für den Endpunkt Apoptose. Dargestellt sind die Mittelwerte der Negativkontrollen (grün) und Positivkontrollen (rot) sowie die Mittelwerte der GSM-/UMTS-/LTE-Expositionen mit 0/0,5/1/2/4 W/kg aus drei unabhängigen Replikaten

Zwei Befunde bedürfen der weiteren Untersuchung:

- Beim Endpunkt Genotoxizität wurde eine Reduzierung des Genomschadens nach Exposition mit GSM-Modulation bei Intensitäten von 0,5 W/kg, 1 W/kg und 4 W/kg beobachtet, nicht jedoch bei 2 W/kg. Das Ausmaß der Reduzierung des Genomschadens war zwar relativ gering, erwies sich aber als statistisch signifikant. Weitere Untersuchungen sollen die Relevanz dieser Beobachtung klären.
- Beim Endpunkt Differenzierung zeigte sich eine relativ hohe Variabilität zwischen den einzelnen Messungen. Eine Auswertung war zwar möglich, die Aussagekraft ist aber auf Grund dieser Variabilitäten limitiert. Weitere Untersuchungen sollen hier durchgeführt werden, bei denen die experimentellen Bedingungen besser kontrolliert werden, so dass die Variabilitäten minimiert werden können.

6. UMSETZUNG DER ERGEBNISSE

Eine der wesentlichen Fragen, die nach Abschluss des Deutschen Mobilfunk Forschungsprogramms offen blieben, ist die nach möglichen Wirkungen langfristiger Expositionen bei Kindern. Einerseits ist der sich entwickelnde Organismus häufig empfindlicher gegenüber Umwelteinflüssen, andererseits sind Kinder teilweise höher exponiert als Erwachsene und außerdem werden sie sehr wahrscheinlich lebenslang exponiert sein.

Daher ist es unbedingt erforderlich, die verbleibenden Kenntnislücken hinsichtlich möglicher Auswirkungen einer langfristigen Exposition mit hochfrequenten Feldern auf den sich entwickelnden Organismus zu schließen. Auf Grund ihrer weit reichenden gesundheitlichen Folgen sind langfristige Wirkungen im Zusammenhang mit dem blutbildenden System, dem Immunsystem und der Kanzerogenese von besonderer Bedeutung.

Bei den in diesem Vorhaben verwendeten Zellen (HL-60-Zellen und hämatopoetische Stammzellen) konnten im Allgemeinen keine relevanten Änderungen verschiedener, für das blutbildende System relevanter Endpunkte als Folge der Befeldung mit GSM-, UMTS- und LTE-Signalen festgestellt werden. Einige Ergebnisse müssen aber noch überprüft werden.

Die Ergebnisse sollen in anerkannten wissenschaftlichen Zeitschriften publiziert werden und dienen der Verbesserung der Datenlage für die Beurteilung der Wirkungen des Mobilfunks auf Kinder und Jugendliche.

Thema			
Untersuchung der Möglichkeiten des besseren Wissenstransfers/Wissensmanagements - im Hinblick auf das DMF-Forschungsprogramm - über Generationen hinweg bzw. über Themenzyklen/ Aufmerksamkeitszyklen hinweg			
Subject			
<i>Investigation of the possibilities of better knowledge transfer/knowledge management - with regard to the DMF research program - over generations and cycles of interests/of attention, respectively</i>			
Kennzeichen FM 8853	Beginn 01.03.2013	Ende 28.02.2014	Fördermittel EUR 84.773,-
Forschungs- / Auftragnehmer			
Stoller Ingenieurtechnik GmbH, Dresden Technische Universität Dresden, Fakultät Maschinenwesen, CIMTT Zentrum für Produktionstechnik und Organisation			
Projektleitung L. Schneider	Fachbetreuung BfS C. Eglomassé-Roidl / AG-SG 1.4	verantwortlich für den Text J. Gottwald	

1. ZIELSETZUNG

Das Deutsche Mobilfunk-Forschungsprogramm (DMF) wurde 2008 abgeschlossen und lieferte eine verbesserte Datenbasis für die Aufklärung gesundheitlicher Risiken des Mobilfunks im Bereich der hochfrequenten elektromagnetischen Felder.

Die vorhandenen Informationsangebote des DMF-Internetportals (www.emf-forschungsprogramm.de/) beinhalten Forschungsergebnisse aus insgesamt 54 Projekten in den vier Fachdisziplinen Biologie, Epidemiologie, Dosimetrie und Risikokommunikation sowie Diskurse von Fachgremien und Öffentlichkeit. Das Informationsangebot erstreckt sich zudem auf die Öffentlichkeitsarbeit des DMF, zu dessen Zweck der „Runde Tisch DMF“ eingerichtet wurde. Das Internetportal bietet auch nach Abschluss des DMF Informationen und Kommunikation mit der Öffentlichkeit zu nachfolgenden Forschungsvorhaben bezüglich elektromagnetischen Feldern (EMF) an, die der „Runde Tisch EMF“ begleitete.

Die Forschungsergebnisse des DMF und damit verbundenes Wissen von Personen zu Projekten und Prozessen müssen Mitarbeiter/innen des Bundesamtes für Strahlenschutz (BfS) in Abständen, je nach Themen-/ Aufmerksamkeitszyklen, aufbereiten und bewerten, um darauf aufbauend Ressortaufgaben des BfS erfüllen zu können. Unter Umständen müssen sich neue Personen einarbeiten, was derzeit schätzungsweise bis zu zwölf Wochen in Anspruch nimmt.

Das hier beschriebene Vorhaben hatte das Ziel, ein Konzept für ein Wissensmanagementsystem (WMS) zu entwickeln, insbesondere eine machbare und effiziente Form der Wissensverwaltung sowie -aufbereitung zu finden, die einen besseren Wissenstransfer über Generationen hinweg beziehungsweise zu wiederkehrenden Themenzyklen/Aufmerksamkeitszyklen im Hinblick auf das DMF erlaubt. Dadurch soll unter anderem auch die Einarbeitungszeit in das DMF verkürzt werden.

Dafür wurde eine Empfehlung erarbeitet, wie das vorhandene und entstehende Wissen sinnvoll erfasst, gespeichert, verknüpft, bewertet und bestmöglich anderen (z. B. künftigen Beschäftigten, Forschenden und der Öffentlichkeit) zur Verfügung gestellt werden kann.

2. EINZELZIELSETZUNG

Das Projekt gliederte sich in drei Arbeitspakete (AP), die im Folgenden kurz dargestellt und näher erläutert werden.

2.1 ORGANISATIONSGEDÄCHTNIS (AP 1)

Ziel des ersten Arbeitspaketes war neben der Aufarbeitung des Standes von Wissenschaft und Technik zum Themenbereich „Wissensmanagement“ sowie der Ermittlung der Probleme und des Umfangs des zu erfassenden Wissens hauptsächlich die Erfassung und Bewertung des in der ehemaligen Arbeitsgruppe für nicht-ionisierende Strahlung (AG-NIR) gehandhabten Wissens und Informationen auf der Grundlage von Ex-

perteninterviews. Auch eine Analyse des DMF-Portals war Gegenstand der Betrachtungen dieses Arbeitspaketes.

2.2 WISSENSSPEICHERUNG (AP 2)

Zur Erfassung der Formen der Aufbereitung und Konservierung von Wissen wurde im zweiten Arbeitspaket hinsichtlich verschiedener Untersuchungsvariablen (Tätigkeitsschwerpunkt, Vorgaben für die Abwicklung der Aufgabe, zu „bedienendes“ System und persönliche Arbeitsweise) die Handhabung des Wissens weiter ausgewertet und durch Clusterung nach Tätigkeitsschwerpunkten Benutzerprofile (so genannte Personas) formuliert. In einem nächsten Arbeitsschritt sind geeignete Kommunikationswege für Wissensmanagement ermittelt und abschließend Anwendungsszenarien formuliert worden, die sich an den durch die im Interview mit den BfS-Mitarbeiter/innen exzerpierten Anwendungsfällen orientieren.

2.3 WISSENSTRANSFER (AP 3)

Im Rahmen des dritten Arbeitspakets wurden aus den Erkenntnissen der vorangegangenen Arbeitspakete sowie auf Grundlage des Erfahrungshintergrunds des Auftragnehmers konkrete Empfehlungen für ein Wissensmanagementsystem abgeleitet und formuliert.

3. METHODIK

3.1 ERMITTLUNG DES IST-ZUSTANDES (AP 1)

Das erste Arbeitspaket umfasste einerseits eine Analyse des DMF-Portals und andererseits die Erfassung des aktuellen Umgangs mit Wissen auf der Grundlage von Experteninterviews mit allen ehemaligen Mitarbeiter/innen der AG-NIR.

Das DMF-Portal wurde von Beginn an als „Schaufenster für den/die Bürger/in und die Öffentlichkeit“ entwickelt und sollte auf transparente Weise zeigen, welche Erkenntnisse im Rahmen des DMF-Programms gewonnen wurden. Auch war es Anspruch der Betreiber des Portals, dass der/die interessierte Bürger/in zu verschiedenen das Thema Mobilfunk betreffenden Fragen eine Antwort findet. Die im Rahmen der Analyse des Portals durchgeführten Schritte enthielten die folgenden Punkte:

- Ermittlung der Linkstruktur des DMF-Portals: Hier sind umfangreiche Untersuchungen zur allgemeinen Linkstruktur und der einzelnen Unterseiten ebenso wie eine Identifizierung von ungültigen Links und eine Analyse der Zugriffszahlen durchgeführt worden, um die damit gegebenen Voraussetzungen für Wissensmanagement zu ermitteln.
- Softwareergonomische Untersuchungen des DMF-Portals: Das DMF-Portal wurde auch unter softwareergonomischen Gesichtspunkten untersucht. Grundlage hierfür sind die durch die Norm EN ISO 9241 Teil 110 „Grundsätze der Dialoggestaltung“ festgelegten Anforderungen. Auf Grundlage dieser DIN-Norm sind mittels eines standardisierten Fragebogens die Mitarbeiter/innen der AG-NIR befragt worden.
- Untersuchung der Nutzbarkeit des DMF-Portals anhand von definierten Anwendungsszenarien: Speziell zur Erfassung der Gebrauchstauglichkeit wurden durch den Auftragnehmer zwei Anwendungsszenarien entworfen. Grundannahme dieser Szenarien war, dass einerseits ein/e Bürger/in ohne fachliche Vorkenntnisse, andererseits eine naturwissenschaftlich-technisch versierte Person nach Informationen bezüglich einer bestimmten Problemstellung auf dem DMF-Portal sucht.

Per leitfadengestützter Experteninterviews wurde der aktuelle Stand der Wissensgenerierung, Wissensspeicherung und des Wissenstransfers in der ehemaligen AG-NIR erhoben. Für die Interviews waren maximal 90 Minuten vorgesehen, der Leitfaden beinhaltete folgende Fragenkomplexe:

- Umfang und Nutzung der Informationsangebote des DMF-Portals
- Nutzung weiterer Methoden zur Informations- und Wissensgewinnung, Wissensspeicherung und Wissenstransfers
- Art und Umfang von weiterem Unterstützungsbedarf
- Vorschläge und Empfehlungen der Befragten.

Als Basis für die Auswertung dienten die mit jedem Experten und jeder Expertin abgestimmten Interviewprotokolle. In der Analysephase wurden die protokollierten Antworten strukturiert und anschließend nach Tätigkeitsschwerpunkten geclustert und diesen die damit verbundenen Kernaktivitäten des Wissensmanagements zugeordnet.

3.2 ERFASSUNG DER WISSENSPEICHERUNG (AP 2)

Aus den in AP 1 durch die Experteninterviews ermittelten tätigkeitsspezifischen Informations-/Wissensbedarfe sowie der Analyse der zur Verfügung stehenden Informationen/Wissen, wurden im AP 2 Personas gebildet, um die unterschiedliche Anforderungen an die Aufbereitung, Konservierung und Bereitstellung von Wissen abzuleiten.

Persona (lateinisch: Maske) bezeichnet in diesem Zusammenhang eine Benutzergruppe, die sich auf Grund von Eigenschaften und/oder Verhaltensmustern beziehungsweise Aufgabenbereichen (Untersuchungsvariablen) von anderen Personas unterscheidet. Ziel dieser Methode ist es, Informationen über die Bedürfnisse und Vorzüge zu nutzen, um daraus anschauliche Beschreibungen zu expliziten Individuen zu erzeugen.

Weiterhin wurden mittels Literaturanalyse Social-Media-Lösungen hinsichtlich ihrer Eignung für ein Wissensmanagementsystem ausgewertet. Social Software schafft gute Kommunikationsmöglichkeiten, auch implizites Wissen und Best Practices organisationsweit verfügbar zu machen. Darüber hinaus sind Rahmenbedingungen für einen erfolgreichen Einsatz von Social-Media-Lösungen in Organisationen, wie eine offene Unternehmenskultur, ein Intranet mit entsprechender Arbeitsplattform, die Orientierung von Abläufen an Bedarfe der Nutzenden etc., zusammengestellt worden.

Die Kommunikationswege wurden nach folgenden Kriterien bewertet:

- Eignung für Wissensmanagement (wie wird die Wissensteilung/Wissensverteilung unterstützt, wie ist die Anbindung an Wissensspeicherungs-lösungen gegeben)
- Handhabbarkeit durch verschiedene Nutzende
- Installations- und Wartungsaufwand
- Anbindung an bestehende IT-Systeme in der Organisation
- zeitliche Perspektive der Lösung
- Skalierbarkeit.

Abschließend sind Anwendungsszenarien (z. B. Suche von Informationen, Erfassung neuer Informationen, Strukturierung bzw. Aktualisierung vorhandener Informationen) formuliert worden, die sich an den durch die im Interview mit den AG-NIR-Mitarbeiter/innen exzerpierten Anwendungsfällen orientieren. Zusätzlich finden die vorhandenen Empfehlungen/Verbesserungswünsche aus den Experteninterviews Berücksichtigung.

Die entwickelten Anwendungsszenarien wurden an den in AP 1 erfassten Problemstellungen gespiegelt und auf Validität mit den erfassten Anforderungen geprüft. Diese Evaluierung erfolgte unter Zuhilfenahme der erarbeiteten Personas. An den eruierten Anwendungsszenarien sind auch die als möglich eingeschätzten Kommunikationswege (zum Beispiel Weblog, Wiki, RSS Feed, aber auch Optionen des persönlichen Wissensaustauschs) gespiegelt und durch den Auftragnehmer auf Plausibilität und Effizienz geprüft worden.

3.3 ERSTELLUNG DER EMPFEHLUNG FÜR EIN WMS (AP 3)

Auf Basis der in AP 2 erarbeiteten Personas, Kommunikationswege sowie Anwendungsszenarien wurde ein nutzerorientiertes Modell des zukünftigen Wissensmanagements entworfen. Darüber hinaus ist ein konkreter Entwurf für die weitere Vorgehensweise zur Einführung von Wissensmanagement erarbeitet worden.

4. DURCHFÜHRUNG

4.1 ERMITTLUNG DES IST-ZUSTANDES (AP 1)

Im AP 1 wurden die Webseiten des DMF hinsichtlich ihrer Wirksamkeit für den Wissenstransfer nach außen und die Beschaffbarkeit externen Wissens für das BfS analysiert. Hierfür sind neben einer Sichtprüfung auch Programme zur Untersuchung der Linkstruktur eingesetzt worden. Mit diesen war es möglich, die Verlinkung der Seite innerhalb des Internets zu untersuchen und nicht mehr aktuelle Links zu identifizieren.

Für die Interviews wurde ein Leitfaden entwickelt und mit dem Auftraggeber abgestimmt. Die Experteninterviews sind mit insgesamt zehn ehemaligen Mitarbeitern/innen der AG-NIR aus den vier Fachrichtungen des DMF durchgeführt worden. Darüber hinaus nahm der Auftragnehmer Informationen über interne Rahmenbedingungen mit Einfluss auf das zu entwickelnde Wissensmanagementsystem auf.

4.2 ERFASSUNG DER WISSENSPEICHERUNG (AP 2)

Aus den in AP 1 ermittelten Informationen zur Erfassung, Bearbeitung und Aufarbeitung sowie Verwendung des Wissens innerhalb der AG-NIR konnten vier Personas abstrahiert und hinsichtlich Tätigkeitsschwerpunkt, Vorgaben für die Abwicklung der Aufgabe, zu „bedienendem“ System und Arbeitsweise beschrieben werden.

Aktuelle mögliche Kommunikationswege zum Wissenstransfer (Eignung für Wissensmanagement, Handhabbarkeit, Installations- und Wartungsaufwand, Anbindung an bestehende IT-Systeme in der Organisation, zeitliche Perspektive der Lösung, Skalierbarkeit) wurden beurteilt und die bereits umgesetzten Kommunikationswege im BfS charakterisiert beziehungsweise eingeschätzt.

Darüber hinaus konnten die typischen Arbeitsvorgänge in Form von Anwendungsszenarien modelliert werden, um Prozesse, die unter Zugriff auf Wissen realisiert werden oder selber Wissen erzeugen, darzustellen. Hierbei wurden die Arbeitsaufgaben beziehungsweise Teilprozesse bezüglich der Gruppe der Anwendenden differenziert. Dabei sind die folgenden Fallbeispiele erstellt worden:

- Anfragen von Bürgern/innen an das BfS
- Veranstaltungsorganisation durch BfS-Mitarbeiter/innen
- Allgemeine Öffentlichkeitsarbeit
- Projektbegleitung
- Gremienarbeit
- Literaturlauswertung
- Organisation von Fachgesprächen durch das BfS.

Die Anwendungsszenarien wurden mit den zugehörigen Wissensquellen und -senken verknüpft (Tabelle 1).

Tabelle 1: Verknüpfung von Wissensquellen und -senken mit den Anwendungsszenarien

	Anwendungsszenarien							
	Anfragen	Gremienarbeit	Literaturauswertung	Projektbegleitung	Öffentlichkeitsarbeit	Fachgespräche	Veranstaltungsorganisation	
Aktenplan	Wissensquelle	Wissenssenke	Wissenssenke	Wissenssenke	Wissenssenke	Wissenssenke	Wissenssenke	
Gruppenverzeichnis						Wissenssenke	Wissenssenke	
eigenes Serververzeichnis		Wissenssenke	Wissenssenke		Wissenssenke	Wissenssenke		
Literaturverwaltung Endnote	Wissensquelle	Wissenssenke	Wissenssenke	Wissenssenke	Wissenssenke			
eigene Literaturverwaltung, Papiersammlung zu Literatur	Wissensquelle	Wissenssenke	Wissenssenke	Wissenssenke	Wissenssenke			
externe Literaturquellen (Internet, elektronische Zeitschriftenbibliothek, Fachliteratur, ProfiOnline, Graue Literatur)	Wissensquelle	Wissenssenke	Wissenssenke	Wissenssenke	Wissenssenke			
eigene Erinnerung	Wissenssenke	Wissenssenke	Wissenssenke	Wissenssenke	Wissenssenke	Wissenssenke	Wissenssenke	Wissenssenke
persönlicher Kontakt zu Kollegen/-innen, Geschäftsverteilungsplan	Wissensquelle	Wissenssenke		Wissenssenke				
DMF-Portal (www.emf- forschungs- programm.de)	Wissensquelle	Wissenssenke	Wissenssenke	Wissenssenke	Wissenssenke	Wissenssenke		
BfS-Website	Wissensquelle					Wissenssenke	Wissenssenke	

Wissensquelle

Wissenssenke

4.3 ERSTELLUNG DER EMPFEHLUNG FÜR EIN WMS (AP 3)

Für das WMS konnten folgenden Randbedingungen definiert werden:

- Gewährleistung der Integrierbarkeit in die Arbeitsabläufe, um Akzeptanz und Effektivität bei der Nutzung zu gewährleisten
- kein WMS-System als Stand-Alone-Lösung
- Würdigung des persönlichen Wissensaustauschs als eigenständiges Wissensmanagementinstrumentarium
- Berücksichtigung des in Einführung befindlichen Vorgangsbearbeitungssystems bei der Aufteilung der Funktionalität des WMS
- Generierung von Mehrwert für die Beschäftigten, das heißt, dem zu erwartenden Aufwand soll ein entsprechend hoher Nutzen gegenüber stehen
- Perspektivische Erweiterbarkeit auf alle anderen Arbeitsgruppen im BfS.

Aus den Wissensquellen und -senken entsprechend der Anwendungsszenarien sind die notwendigen Funktionen des WMS abgeleitet und Lösungen zu ihrer technischen Umsetzbarkeit geprüft worden. Besondere Aufmerksamkeit galt der Erfassung des bisher nicht dokumentierten Erfahrungswissens beziehungsweise der breiteren Verteilung des bereits erfassten Wissens.

5. ERGEBNISSE

Die Wissensbasis der damaligen AG-NIR, sprich das Organisationsgedächtnis, besteht aus vier Hauptbestandteilen. Die wichtigsten Geschäftsprozesse sind durch Verwaltungsvorschriften grundsätzlich geregelt. Die für jeden zugängliche Wissensbasis bilden der Aktenplan und das DMF-Portal. Hier sind alle DMF-Projekte und dazugehörige Vorgänge dokumentiert. Hintergrundinformationen zu einzelnen Vorgängen, dem Wie und Warum einzelner Entscheidungen, sind hier jedoch nicht dokumentiert. Außerdem sind Zusammenhänge zwischen den Vorgängen nicht zwangsläufig erkennbar. Die Befragten bemängelten zudem die schlechte Recherchierbarkeit nach benötigtem Wissen/Informationen.

Die Mitglieder/innen der AG-NIR bilde(te)n während der Laufzeit des DMF ein funktionierendes Netzwerk mit Erfahrungs- und Hintergrundwissen, internen, nationalen und internationalen Kontakten, auf das zum persönlichen Wissensaustausch problemlos zugegriffen werden kann. Gegenwärtig beziehungsweise zukünftig sind jedoch Wissensverluste durch Ausscheiden von Beschäftigten absehbar. Auch ist eine systematische Übergabe des Erfahrungswissens im Arbeitskontext nur noch mit Aufwand möglich, weil das DMF-Programm beendet ist.

Während der Laufzeit des DMF-Programms arbeiteten alle AG-NIR-Mitglieder/innen darüber hinaus auf einem Gruppenlaufwerk, das zwar noch verfügbar ist, von den ehemaligen Mitgliedern/innen der AG-NIR allerdings nicht mehr oder nur noch selten genutzt wird, so dass auch hier der Verlust des darin enthaltenen Wissens dringend zu vermeiden ist.

Der Auftragnehmer schlägt nach Auswertung der bisherigen Arbeitsweise eine Kombination verschiedener Wissensmanagementinstrumentarien vor.

Auszugehen ist von dem gegenwärtig in Einführung befindliche Verarbeitungs- und Dokumentenmanagementsystem (VBS) mit einem von der Geschäftsleitung unterstützten ausgeprägten persönlichen Wissensaustausch zwischen den Beschäftigten. Durch diese beiden Wissensmanagementinstrumentarien nicht abgedeckte Wissensquellen und -senken sollen in einem Content Management System (CMS), das Funktionalitäten von Web 2.0 beinhaltet, abgebildet werden. Zwischen diesen Wissensmanagementinstrumentarien muss die Zuordnung des jeweils zu dokumentierenden Wissens festgelegt werden, um einerseits die Integration in den laufenden Arbeitsprozess zu gewährleisten und andererseits doppelte Datenhaltung zu verhindern/minimieren. Darüber hinaus sind Schnittstellen zwischen CMS und VBS zu definieren. Das verfügbare Mitarbeiterwissen ist möglichst zeitnah für den Aufbau des WMS zu nutzen.

Das zukünftige CMS soll die folgenden Funktionalitäten aufweisen:

- Veröffentlichung von Projektinformationen und Projektergebnissen (intern, mit der Option der Freigabe für öffentlichen Zugriff per DMF-Portal)
- interne Bereitstellung von Materialien der Öffentlichkeitsarbeit zum Austausch zwischen den Beschäftigten

- interne Kontaktverwaltung für externe Partner/potenzielle Forschungsnehmer mit der Funktionalität eines Customer Relationship Management-Systems
- zentrale Literaturverwaltung mit Abonentensystem zur gegenseitigen Benachrichtigung über relevante Veröffentlichungen
- Unterstützung von internen/öffentlichen Diskussionsprozessen zu Fachthemen
- Verwaltung von Bürgeranfragen zu gegebenenfalls Wiederverwendung und fallweiser Veröffentlichung
- Auffinden und zentrales Verwalten von externen Informationsquellen
- Wissensträgerkarte zur Unterstützung der Kontaktaufnahme zum persönlichen Wissensaustausch.

Das VBS sollte auf Erweiterbarkeit mit folgenden Funktionen überprüft werden:

- Möglichkeit, dokumentenbezogene Hintergrundinformationen einzupflegen
- BfS-intern einsehbare Adressverwaltung für Kontaktinformationen
- Abonentensystem als Möglichkeit, ausgewählte Informationen mit anderen Nutzenden zu teilen.

Der persönliche Wissensaustausch sollte einerseits auf umfassenden Möglichkeiten zum informellen Austausch sowie andererseits dem systematischen Einsatz der Methode „Lessons Learned“ zur Erfassung von positiven und negativen Erfahrungen, insbesondere im Zusammenhang mit der Realisierung von Projekten, basieren. Mit „Lessons Learned“ kann geprüft werden, wie die Projektabwicklung erfolgreicher werden kann und ob fachlichen Themenstellungen gegebenenfalls offen geblieben sind. Auf diesem Instrumentarium sollte auch die retrospektive Aufarbeitung des vorhandenen Wissens aus dem DMF im Rahmen von moderierten Gruppendiskussionen beruhen.

Für die Einführung des vorgeschlagenen Wissensmanagementsystems wird vorgeschlagen, nach der grundsätzlichen Entscheidung über das Gesamtkonzept durch die Leitung des BfS eine abteilungsübergreifende Projektgruppe innerhalb des BfS zu bilden. Zu deren Aufgaben würde beispielsweise das Hinterfragen der formulierten Anwendungsszenarien auf Gültigkeit im Ergebnis der VBS-Einführung im BfS gehören. Anhand einer Testumgebung könnten die notwendigen Einzelfunktionen ausgewählt, hinsichtlich der Anforderungen detailliert und in das zu erarbeitende Pflichtenheft integriert werden.

Parallel sollte die Aufarbeitung bestehender Wissensbestände und die Einführung der „Lessons Learned“ initiiert werden. Es besteht für die weitergehenden Aufgaben zur Umsetzung und Einführung des WMS erhöhter Handlungsbedarf.

6. UMSETZUNG DER ERGEBNISSE

Das vorliegende Konzept für ein Wissensmanagement weist auf vorhandene Wissensquellen und Wissenssenken hin, die nicht in der Versenkung verschwinden dürfen. Um das Wissen des abgeschlossenen Deutschen Mobilfunk-Forschungsprogramm (DMF) aufrechtzuerhalten wäre es wünschenswert, dass zumindest Teile des erarbeiteten Konzepts umgesetzt werden. Konkret wird bereits versucht, Stellen überlappend zu besetzen.

Thema			
Erstellung einer weiterführenden Broschüre zur Ergänzung der Handreichung zur Beurteilung von Studienergebnissen			
Subject			
<i>Creating a continuative brochure in addition to the hand-out for the assessment of study results</i>			
Kennzeichen FM8862	Beginn 15.10.2014	Ende 15.04.2015	Fördermittel EUR 43.435,-
Forschungs- / Auftragnehmer			
Institut für Geschichte, Theorie und Ethik der Medizin (GTE Med), Universitätsklinikum der RWTH Aachen; Forschungszentrum für Elektro-Magnetische Umweltverträglichkeit (femu) der RWTH Aachen			
Projektleitung Prof. Dr. Dr. D. D. Groß, M. Schmidt		Fachbetreuung BfS C. Eglomassé-Roidl / AG-SG 1.4	verantwortlich für den Text Das Projektkonsortium in Gemeinschaftsarbeit

1. ZIELSETZUNG

Ziel des vorliegenden Vorhabens war die Entwicklung einer weiterführenden Erläuterungsbroschüre zum bereits existierenden Leitfaden zur Beurteilung von Berichten über Studienergebnisse. Im Ergebnis sollten die Anwender der Broschüre dazu befähigt werden die Funktionsweise der Leitfäden¹⁾ besser nachvollziehen zu können sowie deren Ergebnisse²⁾ besser verstehen, begründen und kommunizieren zu können. Darüber hinaus soll ihnen ermöglicht werden, Nachfragen von Seiten der Bevölkerung³⁾ besser beantworten zu können und Argumentationsstrukturen⁴⁾ zu entwickeln, um besser vorbereitet in eine sachliche Diskussionen zu treten.

Ziel war es also, die Handhabung der Leitfäden mittels der beigefügten Broschüre zu verbessern. Dabei soll sie gezielt als Hilfsmittel im Bedarfsfall angewandt werden, wenn in den Leitfäden (oder auch in den damit zu beurteilenden Texten) erklärungsbedürftige Inhalte bestehen oder der Sinnzusammenhang erschlossen werden soll.

2. EINZELZIELSETZUNG

Während des Projektvorhabens wurden die Einzelziele in vier Arbeitspaketen ausgearbeitet.

2.1 AUFARBEITUNG DER ARBEITSERGEBNISSE AUS DEM VORGÄNGERPROJEKT UND VORAB-BEFragung (AP 1)

Im ersten Arbeitspaket wurden die Unterlagen aus dem Vorgängerprojekt aufgearbeitet, darunter die Ergebnisse des damaligen Praxistests, die zusammengestellte Literaturliste und die bestehende Kontaktdatenbank der Testteilnehmer. Darüber hinaus wurde eine Vorab-Befragung durchgeführt. Die gewonnenen Erkenntnisse aus der Aufarbeitung dienten als primäre Grundlage für die formale als auch inhaltliche Ausgestaltung der geplanten Broschüre im vorliegenden Projekt.

¹⁾ Um eine einheitliche Terminologie zu gewährleisten wird in diesem Bericht, wie auch in der entwickelten Broschüre, die Bezeichnung ‚Handreichung‘ durch das Synonym ‚Leitfaden‘ ersetzt.

²⁾ Vgl. das Vorgängerprojekt: <http://nbn-resolving.de/urn:nbn:de:0221-2014042311394>.

³⁾ Aus Gründen der besseren Lesbarkeit wird in diesem Bericht das generische Maskulinum verwendet. Diese Form umfasst dabei immer beide Geschlechter.

⁴⁾ Im Zuge des Vorgängerprojektes wurde neben dem angestrebten Leitfaden (I) zur Beurteilung von Berichten über Studienergebnisse ein weiterer Leitfaden (II) entwickelt, der die Beurteilung von wissenschaftlichen Veröffentlichungen in den Fokus rückt. Grundlage des Praxistests im vorliegenden Vorhaben war lediglich der Leitfaden I in Verbindung mit der Broschüre, dennoch hatten die Testteilnehmer auch die Möglichkeit ein offenes Feedback zu Leitfaden II zu geben, denn die Broschüre umfasst Erläuterungen zu beiden Leitfäden.

2.2 ERSTELLUNG DER BROSCHÜRE ZUM LEITFADEN UND ENTWICKLUNG DES MESSINSTRUMENTS (AP 2)

Unter Berücksichtigung der Erkenntnisse aus AP 1, wurde eine Broschüre konzipiert. Im Mittelpunkt dieses Arbeitspaketes stand die textuelle und gestalterische Umsetzung der Broschüre. Darüber hinaus wurde ein Evaluationsbogen erstellt, der als Grundlage für den Praxistest diente.

2.3 DURCHFÜHRUNG DES PRAXISTESTS UND DATENAUSWERTUNG (AP 3)

In diesem Arbeitspakete wurde der Praxistest unter Verwendung der entwickelten Broschüre und des Evaluationsbogens durchgeführt. Im Anschluss wurde eine statistische Auswertung der ermittelten Daten vorgenommen und die Ergebnisse dokumentiert.

2.4 FINALE ANPASSUNG DER BROSCHÜRE AUF GRUNDLAGE DER TESTERGEBNISSE (AP 4)

Im vierten Arbeitspaket wurde eine finale Version der Broschüre entwickelt, in der die Ergebnisse des Praxistest eingearbeitet wurden.

3. METHODIK

Folgende methodische Vorgehensweisen können für das Projekt festgehalten werden:

3.1 KATEGORISIERUNG DER RÜCKMELDUNGEN ZU DEN OFFENEN FRAGEN AUS DEM VORHERIGEN VORHABEN

Es wurde eine Analyse der Rückmeldungen zu den offenen Fragen („Was hat Ihnen besonders gefallen?“, „Was hat Sie besonders gestört?“ und „Weitere Anmerkungen, Hinweise oder Vorschläge“) aus dem Evaluationsbogen des Vorgängerprojektes vorgenommen. Aus den frei formulierten Antworten der Testteilnehmer konnten drei Kategorien gebildet werden (Sprache, Inhalt und Layout), die für die Konzeption der Broschüre zu Grunde gelegt wurden.

3.2 LITERATURERECHERCHE UND -AUSWERTUNG

Eine Systematische Recherche und Auswertung bisher verfügbarer Beurteilungshilfen und Broschüren (sowohl Print als auch Online) wurde durchgeführt, um die bestehende Literaturliste aus dem Vorgängervorhaben zu aktualisieren und zu erweitern. Ziel war es, Impulse hinsichtlich des Inhalts und der Gestaltung der zu erstellenden Broschüre zu erhalten.

3.3 AUSWAHL DER TESTTEILNEHMER

Der Praxistest wurde an 21 zielgruppenspezifischen Testteilnehmern vorgenommen, die bereits im Jahr 2013 am Praxistest des Vorgängervorhabens teilgenommen hatten. Die potenziellen Teilnehmer wurden via E-Mail angefragt.

3.4 VORAB-BEFRAGUNG

Entwicklung eines kurzen Fragebogens, bestehend aus fünf geschlossenen und/oder offenen Fragen, der mit der Anfrage zur Teilnahmebereitschaft am Praxistest für das vorliegende Vorhaben mitgesendet wurde. Eingeholt wurden Meinungen zum geplanten Umfang und zum Aufbau der Broschüre, zu welchen konkreten Fragen beider Leitfäden noch weitere Hinweise und Erläuterung gewünscht werden und wie diese ausgestaltet werden sollten. Das ertragreiche Feedback der Teilnehmer in Form von Hinweisen, Wünschen und Anregungen wurde bei der Erstellung der Erläuterungstexte in der Broschüre berücksichtigt.

3.5 KONZEPTION EINES MESSINSTRUMENTS FÜR DEN PRAXISTEST

Um die Vergleichbarkeit der Testergebnisse des vergangenen Vorhabens mit denen des neuen Vorhabens zu gewährleisten, wurde für den Praxistest grundlegend der gleiche Evaluationsbogen eingesetzt. Angepasst wurden einzelne Frage-/Aussage- und Antwortkategorien für die Bewertung der Broschüre. Die Testteilnehmer hatten die Möglichkeit, im ersten Teil des Evaluationsbogens die Bewertung der Broschüre mittels vorgegebener Aussagensätze in einer sechs-stufigen Skala („Trifft voll zu“ = [5], „4“ = [4], „3“ = [3], „2“ = [2], „Trifft gar nicht zu“ = [1] und „keine Angabe“ = [0]) vorzunehmen. Darüber hinaus wurde auch eine geschlossene Frage zur Objektivität angeführt. Im zweiten Teil des Evaluationsbogens standen die soziodemographischen

Angaben sowie die Kenntnisse der Testteilnehmer zum Thema Mobilfunk und wissenschaftlicher Studien im Mittelpunkt, die mittels geschlossener Fragen ermittelt wurden. Abschließend konnte in zwei Freitextfeldern ein offenes Feedback gegeben werden. Mittels des Evaluationsbogens wurde die Verständlichkeit, Übersichtlichkeit, Anwendbarkeit und Unterstützungsleistung der Broschüre geprüft.

3.6 DATENAUSWERTUNG DES PRAXISTESTS

Die Inhalte der Evaluationsbögen wurden in eine statistische Datenbank überführt. Die geschlossenen Fragen wurden einer quantitativen Analyse unterzogen und das Feedback der offenen Fragen kategorisiert. Die Ergebnisse wurden sodann der finalen Optimierung der Broschüre zu Grunde gelegt.

4. DURCHFÜHRUNG

4.1 AUFARBEITUNG DER ARBEITSERGEBNISSE AUS DEM VORGÄNGERPROJEKT UND VORAB-BEFRAGUNG

Zunächst wurden bei der Analyse des Feedbacks zu den offenen Fragen des Praxistests im Vorgängerprojekt drei generelle Kriterien identifiziert, die bei der Konstruktion einer weiterführenden Broschüre berücksichtigt werden sollten. Sie beziehen sich erstens auf die verwendete Sprache in den Leitfäden, zweitens auf die Inhalte der Erläuterungstexte unter den Leitfragen und drittens auf das Layout. Anschließend wurden die damals in einer Literaturliste zusammengestellten Beurteilungshilfen aktualisiert und erweitert. Die Auswertung der recherchierten Literatur zeigte ein sehr heterogenes Bild sowohl hinsichtlich der Qualität als auch des Umfangs. Auffällig ist die Bandbreite an unterschiedlichen Informationsformaten zur Beurteilungshilfe, die von kurzen stichpunktartigen Aufzählungen bis hin zu ausführlichen Handbüchern reicht. Die entwickelten Leitfäden und die Broschüre nehmen darin eine mittlere Stellung ein: Sie vereinen das kurzgehaltene Checklisten-Format mit ausführlicheren Erläuterungstexten, die aber bei weitem nicht den Umfang eines Handbuches annehmen, denn die Grundidee war, einen Text schnell und selbstständig bewerten zu können. In einem letzten Schritt wurde eine neue Kontaktdatenbank angelegt, um potenzielle Teilnehmer für einen neuen Praxistest zu ermitteln. Das femu nutzte dazu die bereits bestehende Kontaktdatenbank aus dem Vorgängerprojekt. Zunächst wurde diese Datenbank aktualisiert und anschließend potenzielle Testteilnehmer, die bereits am Praxistest des Leitfadens aus dem vorherigen Vorhaben teilgenommen hatten, kontaktiert. Als Anreiz für die Teilnahme wurde ein Büchergutschein im Wert von 20,00 € angeboten.

Von den angefragten Personen erklärten sich insgesamt 21 bereit, am diesmaligen Test teilzunehmen - dadurch wurde die angestrebte Anzahl von 20 geplanten Befragungsteilnehmern um eine Person erweitert, wodurch sich gleichzeitig eine stichprobenartige Auswahl erübrigte. Bereits bei der schriftlichen Anfrage zur Teilnahmebereitschaft wurde zur Vorab-Orientierung eine kurze Befragung zu Vorstellungen über die Konzeption einer weiterführenden Informationsbroschüre, die sich auf die beiden bestehenden Leitfäden bezieht, durchgeführt. Durch das Feedback konnte ein Einblick in die Perspektive der Anwender erlangt werden, wodurch anschließend besser einzuschätzen war, welche Aspekte als besonders wichtig erachtet werden und an welchen konkreten Stellen Informationsbedarf herrscht. Die Vorab-Befragung erwies sich zusammen mit der Auswertung des damaligen Praxistests als ein wichtiges Element bei der Konstruktion der Broschüre.

4.2 ERSTELLUNG DER BROSCHÜRE ZUM LEITFADEN UND ENTWICKLUNG DES MESSINSTRUMENTS

Die Strukturierung und inhaltliche Ausrichtung der Broschüre orientiert sich grundlegend an den beiden Leitfäden I und II und den Erkenntnissen aus Punkt 4.1. Entsprechend ist sie zweigliedrig aufgebaut: Der erste Teil widmet sich Berichten über Studienergebnisse (zum Beispiel in Zeitungsartikeln oder Flyern) und der zweite Teil beschäftigt sich mit wissenschaftlichen Veröffentlichungen, wie etwa Studienberichten mit peer-review. Diese strukturellen Informationen werden dem Nutzer, neben Informationen zur Funktion und dem Ziel der Erläuterungen, im Einleitungstext auf der Titelseite der Broschüre gegeben.

In einem ersten Schritt wurden die kurzen Erläuterungstexte (wenn vorhanden) zu den Fragen in den Leitfäden ausführlicher dargestellt, umgeschrieben oder präzisiert. Dadurch konnten bereits etwaige Unklarheiten oder Mehrdeutigkeiten beseitigt werden. In einem zweiten Schritt wurden die Leitfragen in einen Gesamtkontext gesetzt. Insbesondere bei den Themen ‚Studiendurchführung‘, ‚Elektromagnetische Felder (EMF)‘ und ‚Mobilfunktechnologie‘ wurde auf die fachliche Expertise des femu und das von ihr betriebene ‚EMF-Portal‘ (<http://www.emf-portal.de/>) zurückgegriffen.

Neben den Erläuterungstexten wurden in der Broschüre unterstützend und zur Auflockerung auch Informationsgrafiken und ‚Exkurs‘-Textfelder integriert. Intention beider Formen war es, in knapper Weise einen Mehrwert zum Text zu schaffen.

Bezüglich der Gestaltung wurde ein optisches Gesamtkonzept für die Leitfäden, das Glossar und die Broschüre verfolgt, das im Idealfall nicht die Herkunft aus zwei unterschiedlichen Projekten erkennen lassen sollte. Da die Broschüre als eine zusätzliche Option für den Anwender zu verstehen ist, sollte sie sich grundsätzlich an dem Erscheinungsbild der bereits vorhandenen Leitfäden orientieren. Darüber hinaus war insgesamt das Corporate-Design des BfS zu berücksichtigen. Die Umsetzung von Layout und Design wurde zunächst in Form eines Eigenentwurfs vom Projektkonsortium geleistet, um die Grundanforderungen an die Broschüre zu visualisieren. Anschließend wurde der Entwurf an eine beauftragte externe Designagentur übermittelt.

Die Konstruktion des Messinstruments für den angestrebten Praxistest orientierte sich primär daran, die daraus erzielten Ergebnisse mit denen aus dem Vorgängerprojekt vergleichen zu können. Um dies zu gewährleisten, wurde ebenfalls mittels eines Evaluationsbogens die Broschüre bewertet. Dazu wurden die Formulierungen der Aussage- und Fragesätze sowie die Antwortmöglichkeiten des neuen Tests an die des vorangegangenen Evaluationsbogens angeglichen.

4.3 DURCHFÜHRUNG DES PRAXISTESTS UND DATENAUSWERTUNG

Hauptgegenstand des Praxistests war der im Projekt entwickelte Entwurf der Broschüre, der auf seine Verständlichkeit, Übersichtlichkeit, Anwendbarkeit und Unterstützungsleistung hin überprüft wurde.

Für die Durchführung des Praxistests war das femu in Eigenregie ohne Beteiligung des Instituts GTE Med zuständig, um etwaigen Verzerrungseffekten (wie etwa sozialer Erwünschtheit) entgegenzuwirken. Die Anfrage zur Testteilnahme und der Praxistest selbst wurden per E-Mail vorgenommen. Der versandte E-Mail-Text umfasste die Beschreibung des Projektvorhabens und eine genaue Anleitung zur Durchführung des Tests. Im Anhang befanden sich alle benötigten Testunterlagen, die sich zusammensetzten aus dem entwickelten Broschüren-Entwurf, dem neuen Evaluationsbogen, den beiden bestehenden Leitfäden aus dem vorherigen Vorhaben, dem Glossar sowie dem Beispieltext aus ‚Focus Online‘.

4.3.1 Soziodemographische Ergebnisse

Insgesamt nahmen am Praxistest 21 Personen teil, von denen die große Mehrheit zwischen 40 und 60 Jahre alt ($n = 19$) und männlich ($n = 14$) war. Als höchste Bildungsabschlüsse wurden der Hochschulabschluss ($n = 12$) und der Fachhochschulabschluss ($n = 5$) angegeben. In Bezug auf Vorkenntnisse zum Themenfeld ‚Mobilfunk‘ oder ‚Auswertung wissenschaftlicher Studien‘ (Fragen 9 und 11) gaben die Teilnehmer mehrheitlich an, sich bereits im Vorfeld mit den Themen befasst zu haben. In den Fragen zur Selbsteinschätzung (Fragen 10 und 12) wird ebenfalls ersichtlich, dass die Befragten ihrer Meinung nach einen hohen Wissensstand zu den beiden Themenfeldern besitzen. Diese Einschätzung hängt mit der zielgruppenspezifischen Auswahl der Testteilnehmer zusammen, die auf Grund ihrer beruflichen Ausrichtung mit diesen Themen in Kontakt kommen.

4.3.2 Beurteilung der Objektivität

Im ersten Teil des Evaluationsbogens wurde der Aspekt ‚Objektivität‘ untersucht. Die Teilnehmer sollten unter zusätzlicher Anwendung der Broschüre neben dem Leitfaden die Objektivität des Beispieltextes aus Focus Online bewerten. Die überwiegende Anzahl der Testteilnehmer stufte den Text als „wenig objektiv“ ($n = 15$) ein und die restlichen Personen bewerteten ihn als „nicht objektiv“ ($n = 3$) oder „eher objektiv“ ($n = 2$); eine Person machte keine Angaben zur Objektivität. Vergleicht man die Ergebnisse dieser Frage mit denen des Vorgängerprojektes, wird ersichtlich, dass die Bewertung des Beispieltextes zu einem noch eindeutigeren Ergebnis führte. Im vorherigen Vorhaben bewegte sich die mehrheitliche Rückmeldung zur Objektivität ($n = 44$) in den Bereichen „wenig objektiv“, „mittelmäßig“ und „nicht objektiv“. Insgesamt war bei der Beurteilung des gleichen Beispieltextes im aktuellen Projekt eine eindeutigere Tendenz zu erkennen. Es könnte also die Vermutung aufgestellt werden, dass die Probanden durch die zusätzliche Anwendung der Broschüre bei der Bewertung des Textes zu einer eindeutigeren Beurteilung gekommen sind. Der zusätzliche Einsatz der Broschüre könnte also Missverständnisse bei der Auslegung und Wahrnehmung der Leitfragen ausgeräumt haben.

Die Befragten beurteilten den Einsatz der Broschüre bei der Bewertung des Beispieltextes insgesamt als nutzbringend und darüber hinaus die Broschüre als hilfreiche Ergänzung des Leitfadens, wodurch ihre Anwendung sinnvoll erscheint. Bezüglich des letzten Aspektes aus der dritten Aussagenbatterie positionierten sich außerdem 15 Befragte (= 71,4%) bei der Aussage „Ich würde die Broschüre bei Bedarf wieder verwenden“ im positiven Bereich der Bewertungsskala („Trifft voll zu“ [5]: 38,1% und „4“ [4]: 33,3%). Entsprechend ist der Einsatz der Broschüre als positiv zu bewerten. Eine ausführliche Darlegung der einzelnen Fragenbatterie kann dem Abschlussbericht entnommen werden.

4.4 FINALE ANPASSUNG DER BROSCHÜRE AUF GRUNDLAGE DER TESTERGEBNISSE

In einem letzten Arbeitsschritt wurden die ermittelten Erkenntnisse aus dem Praxistest für die abschließende Optimierung der Broschüre zu Grunde gelegt. Die Auswertung der geschlossenen Fragen hat insgesamt durchweg positive Rückmeldungen zur Broschüre ergeben. Insofern ergaben sich daraus keine wünschens- oder erstrebenswerten Änderungen; stattdessen wurden Hinweise und Wünsche zu etwaigen Änderungen oder Optimierungen aus den offenen Fragen abgeleitet.

Insgesamt konnten sieben Punkte, die mehrfach vorgetragen wurden, herausgefiltert werden, die für die Abschlussbearbeitung berücksichtigt wurden:

- eine knappere Darstellung der Inhalte
- die Verbesserung der Lesbarkeit
- die Umformulierung der Einleitung
- das Hervorheben von weiterführenden Fragen
- die zusätzliche Aufnahme von Informationen
- der Adressatenkreis
- die Ordnung der Dokumente ‚Leitfäden‘, ‚Erläuterungen‘ und ‚Glossar‘.

5. ERGEBNISSE

Die im vorliegenden Vorhaben entwickelte Erläuterungsbroschüre hat im Praxistest ihre Funktionalität unter Beweis gestellt. Sie wurde von den Testteilnehmern durchweg positiv aufgenommen und als Zusatzoption im Umgang mit dem Leitfaden I als nützlich evaluiert. Sowohl die inhaltliche als auch die konzeptionelle beziehungsweise gestalterische Umsetzung der Broschüre mit integriertem Glossar hat zum Verständnis des Leitfadens und der Beurteilung des Beispieltextes beigetragen.

Die Broschüre wurde in erster Linie konzipiert, um Berichte über Studien aus dem Mobilfunkbereich zu beurteilen und wurde entsprechend inhaltlich auf dieses Themenfeld gemünzt. Wie die Ausarbeitung letztlich aber erkennen lässt, können sowohl die Leitfäden als auch die Broschüre ebenso auch auf Studienberichte aus anderen Disziplinen angewandt werden. Damit wurde ein umfangreiches Instrument geschaffen, um die Qualität von Studienberichten zu erfassen. Eine Anwendung der Broschüre in anderen Disziplinen ist durchaus denkbar und erscheint vielversprechend.

Auch eine unterstützende Anwendung der Broschüre/Leitfäden im Bereich Lehre und Forschung scheint den Autoren nicht ausgeschlossen, speziell also in einem Bereich, in dem das wissenschaftliche Handwerkszeug erlernt werden soll und die qualitative Beurteilung von Texten eine immanent wichtige Rolle spielt bei (noch) fehlenden Kenntnissen und Erfahrungen.

Über diesen Bereich hinaus bietet die Broschüre aber vor allem auch dem interessierten Laien eine hilfreiche Unterstützung, um Zeitschriftenartikel, Magazinbeiträge oder Flugblätter auf ihre Qualität hin zu untersuchen, einen Standpunkt zu entwickeln und diesen argumentativ zu vertreten. Dem Anwender wird kein tiefgründiges Vorwissen abverlangt, denn die Broschüre assistiert ihm und schließt mögliche Wissenslücken.

Während die Leitfäden mittels eines Fragenkatalogs eine schnelle qualitative Einschätzung von Texten zulassen, ist nun mit der Broschüre eine weiterführende Informationsquelle entstanden und ein Instrument, das tiefergehende Grundkenntnisse in einen Kontext stellt. Dieses Gesamtpaket ermöglicht dem Anwender die Stärkung seiner Kompetenz in der Beurteilung von Texten.

6. UMSETZUNG DER ERGEBNISSE

Die erstellte Broschüre bzw. die Ergänzung zu den Leitfäden wird zu den bereits eingestellten Leitfäden auf die Seite des BfS gestellt und kann von dort heruntergeladen werden. Das BfS erhofft sich durch die Bereitstellung dieser Hilfestellungen (Leitfäden und ergänzenden Broschüre) eine objektivere Herangehensweise bei der Analyse von Berichten über Studien und auch über die Studien selber. Diese Hilfestellungen wurden für den Bereich des Mobilfunks erstellt, sind jedoch universell also auch auf andere Forschungsgebiete anwendbar, da Grundlagen zur Beurteilung von Studienergebnissen vermittelt werden. Eine tiefergehende Beurteilung und Bewertung sollte jedoch immer dem Experten überlassen werden.

STATUSBERICHTE

der vom BfS begleiteten Strahlenschutz-Forschungsvorhaben des BMUB

STATUS REPORTS

of BfS supported BMUB radiation protection research projects

Themenbereich 01

Natürliche Strahlenexposition

Subject area 01

Natural radiation exposure

Thema Genexpressionsänderungen als Folge chronischer Strahlenexposition bei Wismut-Bergarbeitern			
Subject <i>Expression changes as cause of chronical radiation exposition to uranium (Wismut)-Miners</i>			
Kennzeichen 3611S10010	Beginn 01.01.2013	Ende 31.12.2014	Fördermittel EUR 365.575,-
Forschungs- / Auftragnehmer Eberhard Karls-Universität Tübingen, Institut für Medizinische Genetik und Angewandte Genomik, Arbeitsgruppe Transcriptomics			
Projektleitung Dr. M. Bonin	Fachbetreuung BfS Dr. M. Gomolka / AG-SG 1.2		verantwortlich für den Text Dr. M. Bonin

1. ZIELSETZUNG

Zentrale Fragestellung des Projektes ist die Generierung von Genexpressionsprofilen zur Unterscheidung von Probanden mit hoher Strahlenbelastung im Vergleich zu Probanden mit niedriger Strahlenbelastung. Dafür werden insgesamt 200 Blutproben von Bergarbeitern der Wismut-Kohorte untersucht. Zusätzlich sollen mit Hilfe der Next-Generation Sequenzierungsmethode von 20 Proben neben der quantitativen Information weitere Unterschiede wie Fusionstranskripte oder Mutationen zwischen Probanden mit hoher bzw. niedriger Strahlenbelastung erhoben werden.

2. EINZELZIELSETZUNG

Die oben geschilderte Zielsetzung teilt sich in zwei große Bereiche, die sich auf Grund ihrer technologischen Herangehensweise unterscheiden. Zum einen sollen mit Hilfe der Gesamtgenom-Microarray-Technologie Genexpressionsunterschiede in 200 Wismut-Bergarbeitern untersucht und Gene definiert werden, die zwischen hoher und niedriger Strahlenbelastung diskriminieren (1 - 3). In einem zweiten Ansatz sollen mit Hilfe der RNA-Sequenzierungsmethode (RNA-Seq) in einer kleineren Stichprobe von 20 Probanden zusätzliche Informationen wie das Auftreten von Fusionstranskripten und Mutationen gewonnen werden (4).

- Ermittlung einer signifikanten Strahlensignatur in insgesamt 140 (70/70) Blutproben der Wismut-Kohorte (1)
- Validierung der signifikanten Strahlensignatur in zusätzlichen 60 (30/30) Blutproben der Wismut-Kohorte (2)
- Biologische Interpretation der differentiell exprimierten Gene durch eine Pathway- und Netzwerkanalyse (3)
- Identifikation von Fusionstranskripten und Mutationen bei Blutproben von Wismut-Bergarbeitern (4).

3. METHODIK

Microarray-basierte Expressionsanalysen gehören seit mehr als einem Jahrzehnt zu den zentralen Methoden zur Untersuchung von Genregulationsvorgängen. In dem vorliegenden Projekt werden die aktuellsten Versionen von hochparallelen Microarrays verwendet, um eine Gesamtgenom-Analyse von allen 200 Wismut-Bergarbeiterproben durchzuführen. Die eigentliche Herausforderung liegt in der sich anschließenden bioinformatischen Analyse zur Identifikation der Gensignatur, die zwischen hoher und niedriger Strahlenexposition diskriminiert. Um diese Transkripte zu identifizieren, die eine Vorhersage erlauben, ob eine hohe oder niedrige Strahlenexposition vor Jahren aufgetreten ist, werden aus dem Gesamtdatensatz zufällig je 70 Betroffene und Kontrollen ausgewählt. Die Paare werden bezüglich Rauchstatus und Alter angeglichen. In diesem Trainingsset werden dann durch komplexe bioinformatische Analysen Transkripte ermittelt, die eine optimale Trennung der beiden Klassen erlauben. Die im ersten Ansatz gefundenen Gene der Signatur werden dann in einem zweiten Ansatz unabhängig validiert und biologisch mit Hilfe von Netzwerk-Analysen interpretiert.

Um die Unterschiede mit Hilfe der RNA-Sequenzierung zu erweitern, nutzt man die Möglichkeit, mittels der Next-Generation Sequencing (NGS)-Methode das Gesamt-Transkriptom zu sequenzieren und eine quantitative und qualitative Expressionsanalyse für die Proben durchzuführen. Neben der Expression ist es möglich, Mutationsspektren der Proben zu erheben, die unter Umständen durch die Strahlenexposition erfolgt sind. Weiterhin ermöglicht die Methode die Untersuchung von alternativen Spleißvarianten und den Nachweis von

Fusionstranskripten, die aus einer Translokation von Chromosomen oder einem anderen genomischen Rearrangement entstanden sind.

4. DURCHFÜHRUNG

4.1 ISOLATION, QUALITATIVE ANALYSE DER RNA UND QUANTITATIVE EXPRESSIONSANALYSE MIT HILFE VON MIKROARRAYS

Zunächst wurde aus den vorliegenden PAXgene-Blut-Proben RNA isoliert und qualitativ überprüft. Anschließend erfolgte die Expressionsanalyse mit Hilfe des Human Genome U219 Mikroarrays für 140 Proben (70/70). Nach bioinformatischer Auswertung wurde eine strahlenspezifische Gensignatur ermittelt. Diese wurde im weiteren Verlauf des Projektes in zusätzlichen 60 Proben (30/30) auf die gleiche technologische Weise untersucht und validiert. Zusätzlich wurden Expressionsunterschiede einzelner Gene über RT-PCR verifiziert.

4.2 RNA-SEQUENZIERUNG

In enger Abstimmung mit dem BFS erfolgte eine Auswahl von geeigneten 20 Probanden (10 hoch/10 niedrig exponierte, sowohl bez. der Lungendosis- als auch der ermittelten Dosis für das rote Knochenmark), die dann einer RNA-Sequenzierung zugeführt wurden. Die RNA wird dafür zunächst fragmentiert, spezifische Adaptern anligiert und anschließend auf einem Illumina HiSeq 2500 Gerät sequenziert. Insgesamt wurden mehr als 20 Mio. RNA-Moleküle pro Probe mit 2 x 65 Nukleotiden paired-end sequenziert, den entsprechenden Transkripten zugeordnet und auf diese Weise digital quantifiziert. Darüber hinaus konnten auf der Basis der RNA auch Mutationen und Fusionstranskripte detektiert werden.

5. ERGEBNISSE

5.1 MICROARRAY-BASIERTE EXPRESSIONSANALYSEN

Die Signalintensitäten wurden nach der RMA-Methode (Robust Multi-array Average) normalisiert, anschließend die Kontrollgene aus der Analyse entfernt und diskriminierende Transkripte mit zwei nicht parametrischen Tests (RankProduct-, Weighted Average Difference-Methode) identifiziert. Es wurde eine spezifische Gensignatur von 97 differentiell exprimierten Genen ermittelt. Die Transkripte dieser Signatur wurden nachfolgend mit Hilfe von Pathway- und Netzwerkanalysen (Ingenuity Pathway Analysis Software, IPA, Qiagen) untersucht. Dazu konnten die erhaltenen Expressionsdaten über eine manuell erstellte Genontologie-Datenbank (Ingenuity Knowledgebase) abgeglichen und kontextspezifisch verknüpft werden.

Neben den funktionellen Zuordnungen konnte auf Grund der berechneten Regulationsrichtung aller Moleküle des Datensatzes der Einfluss der 97 differenziell regulierten Gene auf deregulierte, kanonische Signalwege vorhergesagt werden. Die Vorhersage beruht hierbei auf der Anzahl regulierter Moleküle, die über die Ingenuity Knowledgebase mit einem kanonischen Signalweg in Verbindung gebracht werden können. Die Signifikanz wurde mit einem Fisher's Exact Test überprüft. Am stärksten verändert waren der eIF2-, eIF4 und mTor-Signalweg.

Die Microarray-Ergebnisse sollten anhand einer Auswahl von geeigneten Transkripten mit Hilfe der SYBR-green-qRT-PCR¹⁾ Methode auf einem Roche Lightcycler 480 validiert werden. Die Selektion der Transkripte erfolgte nach Stärke der differentiellen Expression, Gesamtsignalintensität (also Expressionsstärke) und Informationsgehalt des Transkriptes. Für alle Proben, die initial für die Hybridisierung der Arrays prozessiert wurden, erfolgte eine cDNA-Synthese mit dem Qiagen QuantiTect Reverse Transcription Kit von Qiagen. Dabei wurden 250 ng totalRNA in cDNA umgeschrieben. Anschließend wurde mit Hilfe des SYBRgreen Assays von Qiagen die Quantität der einzelnen Transkripte bestimmt. Hierbei erfolgte jeweils eine Normalisierung auf zwei zuvor ausgewählte Housekeeping Gene. Die Auswahl der Housekeeping Gene erfolgte mit Hilfe der Software qBase. Dabei wurden an Gemischen der einzelnen Proben Standardverdünnungskurven von mehreren Housekeeping Kandidaten analysiert und dann aufgrund dieser Ergebnisse GAPDH²⁾ und PDH³⁾ ausgewählt. Jedes Transkript wurde in jeder Probe in Triplikaten gemessen und biostatistisch ausgewertet. Insgesamt bestätigte sich bei 9 der untersuchten 18 Transkripte eine statistisch signifikante differentielle Expres-

¹⁾ quantitative real time-PCR

²⁾ Glycerinaldehyd-3-phosphat-Dehydrogenase

³⁾ Pyruvatdehydrogenase

sion (50 %). Diese suboptimale Validierungsquote lässt sich auf die sehr schwachen Expressionsveränderungen sowie die hohe Heterogenität der humanen Expression zurückführen.

Um eine abschließende Einschätzung der Validität der definierten Expressionsunterschiede vorzunehmen, wurde mit der unabhängigen Untersuchung an 30 Probenpaaren (siehe 4.1) begonnen. Hierbei erfolgte analog zum ersten Datensatz eine standardisierte Prozessierung der 60 RNA-Proben mit anschließender Hybridisierung auf den Human Genome U219 Mikroarray der Firma Affymetrix. Hierbei zeigte sich eine vergleichbare gute Qualität der Expressionsergebnisse im Hinblick auf das 3'-5'-Verhältnis sowie den Median der Signalintensitäten eines Microarrays.

Auf Grund der leichten Verzögerung des Gesamtprojektes von etwa 3 Monaten sind die notwendigen bioinformatischen Analysen dieses unabhängigen Datensatzes noch nicht abgeschlossen. Grundsätzlich wird jedoch versucht, die initial definierten 97 Gene heranzuziehen, um zwischen Probandenproben mit hoher und niedriger Exposition zu diskriminieren. Sollte dies gelingen, würde dem BfS eine Gen-Signatur zur Verfügung stehen, die eine lang zurückliegende chronische Strahlenexposition anzeigen kann.

5.2 RNA-SEQUENZIERUNG

Die RNA-Sequenzierungen wurden beginnend mit der Selektion von 10 geeigneten Probenpaaren (hoch exponiert/niedrig exponiert) aus dem initialen Microarray-Experiment Proben-Kollektiv gestartet. Die RNA lag bereits vor, so dass direkt mit der Prozessierung der Proben begonnen werden konnte. Es konnten auf dem Illumina HiSeq2500 Gerät alle 20 Proben erfolgreich mit mehr als 20 Mio. reads und 2x65 bp paired-end pro Probe sequenziert werden. Sowohl die Qualität als auch die Quantität der Analysen erfüllen die im Antrag definierten Kriterien und wurden daraufhin zur bioinformatischen Untersuchung weitergeleitet. In dieser stehen neben der quantitativen Erhebung aller gemessener Transkripte und deren Vergleich mit den Microarray-Ergebnissen auch die Varianten-Analyse (Mutationen) und die Detektion von Fusionstranskripten im Vordergrund. Die Ergebnisse werden zeitgleich zu den Validierungsergebnissen unter 5.1 erwartet.

6. GEPLANTE WEITERARBEIT

Die noch ausstehenden bioinformatischen Untersuchungen werden fertiggestellt und berichtet.

Thema			
Untersuchung des Einflusses baulicher Energiesparmaßnahmen auf die Radonkonzentration in Innenräumen (Los 2)			
Subject			
<i>Influence of structural energy-conservation methods on indoor radon concentration - part 2</i>			
Kennzeichen	Beginn	Ende	Fördermittel
3611S10016	01.01.2012	31.03.2015	EUR 234.561,-
Forschungs- / Auftragnehmer			
Technische Hochschule Mittelhessen, Institut für Medizinische Physik und Strahlenschutz, Gießen			
Projektleitung	Fachbetreuung BfS	verantwortlich für den Text	
Prof. Dr. J. Breckow	Dr. W. Meyer / SW 1.1	A.-L. Grund	

1. ZIELSETZUNG

Gegenstand der Untersuchung ist die Auswirkung energetischer Gebäudesanierungsmaßnahmen auf die Radonkonzentration in Wohnräumen. Anhand der Ergebnisse kann erkennbar sein, ob und welche Methoden der energetischen Sanierung eine Erhöhung der Radonkonzentration in den Wohnräumen zur Folge haben. Mögliche Einflussparameter auf die Radonkonzentration werden in ihrer Ausprägung analysiert um ein Modell für die Radonausbreitung entwickeln zu können.

2. EINZELZIELSETZUNG

In fünf ausgesuchten Einfamilienhäusern erfolgen zeitaufgelöste Messungen. Erfasst wird die Radonkonzentration in jeweils zwei Räumen aller bewohnten Stockwerke und dem evtl. vorhanden Keller jeweils vor und nach einer energetischen Sanierung. Zusätzlich werden eine Reihe möglicher Einflussparameter auf die Radonkonzentration aufgezeichnet. Die Durchführung von Luftdichtheitsmessungen der Objekte vor und nach der Sanierung mittels eines modifizierten Differenzdruck-Messverfahrens ist ebenfalls ein Bestandteil des Forschungsvorhabens. Ein Schwerpunkt ist die Analyse der Messdaten auf Korrelationen zwischen der Radonkonzentration und anderen Parametern. Ein Modell zur Darstellung verschiedener Einflussgrößen auf die Radondynamik wird erstellt.

3. METHODIK

3.1 RADONMESSUNGEN

Das Integrationsintervall der Messgeräte ist auf zehn Minuten eingestellt, um Schwankungen der Radonkonzentrationen schnellstmöglich wahrzunehmen und Zusammenhänge mit anderen Parametern erkennen zu können. Die Aufnahme der Messdaten findet jeweils über einen Zeitraum von mindestens vier Wochen unter Vermeidung extremer Großwetterlagen statt.

3.2 ERFASSUNG WEITERER DATEN

In jedem Radonmessraum werden auch Temperatur, Luftfeuchtigkeit und Druck in Abhängigkeit der Zeit erfasst. Zusätzlich werden im Freien mit Hilfe einer Wetterstation zeitlich aufgelöste Werte der Lufttemperatur, -feuchte und -druck, Windgeschwindigkeit, Windrichtung und Niederschlagsmenge erfasst.

3.3 ERFASSUNG DER RAUMNUTZUNG

Um den Einfluss des Nutzungsverhaltens der Bewohner auf die mittlere Radonkonzentration in den einzelnen Wohnräumen zu quantifizieren, werden in allen Radonmessräumen Zeitreihen der CO₂-Konzentration aufgenommen. Dieser zeitliche Verlauf erlaubt Rückschlüsse auf den Luftwechsel, die Anwesenheit von Personen und somit auf die Raumnutzung. Außerdem werden die Bewohner gebeten, die übliche Raumnutzung und Abweichungen davon in Protokollen zu dokumentieren.

3.4 DICHEMESSUNGEN AN GEBÄUDEN

Mit Hilfe eines für die Zwecke des vorliegenden Projektes modifizierten Differenzdruck-Messverfahrens wird vor und nach der Sanierung die Luftdichtheit der Messobjekte festgestellt. Durch die Messergebnisse der Luftdichtheit der Gebäudehülle, dem damit verbundenen Luftwechsel und den zeitgleich erfassten Radonkonzentrationen können Radonquellen quantifiziert bzw. Radon-Eintrittspfade identifiziert werden.

4. DURCHFÜHRUNG

4.1 MESSOBJEKT 1 (GRÜNBERG)

Bei diesem Objekt handelt es sich um ein massives Einfamilienhaus aus dem Jahr 1956. Die bewohnte Fläche beträgt ca. 150 m². Die erfolgten Sanierungsmaßnahmen beinhalten ausschließlich den Austausch der alten Fenster. Die Messungen vor der Sanierung wurden im Juni/Juli 2012 ausgeführt. Die Messungen nach der Sanierung erfolgten in den Monaten Mai bis Juli 2014.

4.2 MESSOBJEKT 2 (STAUFENBERG-ESCHERODE)

Dieses Objekt wurde 1974 erbaut. Die bewohnte Fläche beträgt ca. 160 m². Die durchgeführten Sanierungsmaßnahmen beinhalten die Erneuerung des Dachs, Fassadendämmung, Austausch der alten Fenster und der Einsatz einer Tür zum Kellerbereich (vorher keine Tür vorhanden). Die Messungen vor der Sanierung erfolgten von Oktober bis Dezember 2012. Die Messungen nach den Sanierungsmaßnahmen wurden im April und Mai 2014 durchgeführt.

4.3 MESSOBJEKT 3 (BAD MARIENBERG)

Es handelt sich um ein Einfamilienhaus (Baujahr 1965) mit einer bewohnten Fläche von 240 m². Die durchgeführten Sanierungsmaßnahmen beinhalten: teilweiser Fensteraustausch, Fassaden-, Dachboden- und teilweise Kellerdeckendämmung sowie der Heizungstausch. Die Messungen vor der Sanierung fanden von April bis Juni 2013 statt. Nach der Sanierung wurden die Messungen im März und April 2014 durchgeführt.

4.4 MESSOBJEKT 4 (ESCHWEGE)

Das Objekt wurde 1970 erbaut. Die bewohnte Fläche beträgt ca. 170 m². Bei den durchgeführten Sanierungsmaßnahmen handelt es sich lediglich um den Austausch der Fenster im Erdgeschoss. Die Messungen vor der Sanierung wurden von Oktober bis Dezember 2013 ausgeführt. Von Dezember 2014 bis Februar 2015 erfolgten die Messungen nach der Sanierung des Gebäudes.

4.5 MESSOBJEKT 5 (LINDEN)

Das Objekt stammt aus dem Jahr 1959 und hat eine bewohnte Fläche von 150 m². Die Sanierungsmaßnahmen beinhalten das Dämmen des Dachbodens sowie der Kellerdecke und den Austausch der Haustür. Vor der Sanierung wurden die Messungen im Januar und Februar 2014 und nach der Sanierung von Juli bis September 2014 durchgeführt.

5. ERGEBNISSE

Die Messreihen sind abgeschlossen. In Messobjekt 1 hat sich trotz eines Austauschs der Fenster und der damit verbundenen dichteren Gebäudehülle die Radonkonzentration nicht signifikant erhöht. Auch in Messobjekt 2 hat sich trotz der deutlich dichter gewordenen Gebäudehülle keine höhere Radonkonzentration ergeben, da das Radonpotential im Untergrund gering ist und regelmäßig gelüftet wird. Für Messobjekt 3 lässt sich sagen, dass die Radonkonzentration in den sanierten Gebäudeabschnitten signifikant angestiegen ist. Die Konzentrationserhöhung bezieht sich nur auf den sanierten Teil des Gebäudes. Ein negativer Einfluss der energetischen Sanierungsmaßnahmen auf die Radonkonzentration in Innenräumen ist hier feststellbar. Messobjekt 4 wurde in sehr geringem Maße renoviert. Es ergab sich keine Verringerung der Luftwechselrate. Auch die Radonkonzentration hat sich im Vergleich zu vorher nicht verändert. In Messobjekt 5 lassen sich die Mittelwerte der Radonkonzentration nicht vergleichen, da ein Messintervall im Sommer und das andere im Winter durchgeführt werden musste. Es zeigt sich, dass lediglich bei 3 Messobjekten ein Anstieg der Radonkonzentration plausibel zu erwarten wäre. Nur bei einem dieser drei Objekte ist der Anstieg tatsächlich nachweisbar. Dieses Objekt zeichnet sich dadurch aus, dass die dortige Radonkonzentration bereits vor der Sa-

nierung höher war als bei den anderen Messobjekten. Zusätzlich sind an dem Messobjekt mehrere energetische Sanierungsmaßnahmen durchgeführt worden, unter anderem wurde eine neue Fassadendämmung angebracht sowie neue Fenster eingebaut. Die Abhängigkeiten von Radon zu den Wettereinflüssen sind sehr unterschiedlich. Es wurden für Temperatur und Luftdruck sowohl positive als auch negative Korrelationen gefunden, abhängig von der Jahreszeit. Die Korrelation des Absolutdrucks zum Radon ist größer als die der Druckdifferenz. Die Einflüsse sind sehr träge, das heißt, sie müssen bis zu einem Tag wirken, ehe der Einfluss sichtbar wird. Dies ist besonders beim Einfluss des Windes ersichtlich. Bei hohen Radonkonzentrationen sind Korrelationen besser ersichtlich. Die Dichtigkeitsmessungen eignen sich nicht nur zur Bestimmung der Luftdichtheit, sondern in gewissem Umfang auch zur Bestimmung der Quellstärke. Grundlage dafür muss eine Plateaubildung sein, für die lange Messzeiten eingehalten werden müssen. Zudem wurde das Plateau bei verschiedenen Druckstufen erreicht. Die Bestimmung der Quellstärke vereinfacht sich bei großem Radonpotenzial. Es zeigte sich, dass die Quellstärke in Häusern mit einer hohen mittleren Radonkonzentration größer ist.

6. GEPLANTE WEITERARBEIT

Alle erfassten Daten werden weiter auf Korrelationen und Kausalitäten untersucht. Zusätzlich wird die Modellierung der Radonausbreitung weiterentwickelt. Die gewonnenen Erkenntnisse werden auf Tagungen vorgestellt und in Zeitschriften veröffentlicht.

Thema

Methodische Untersuchungen zur Qualifizierung der VOC-Kammern zur Bestimmung der Radon-exhalationsrate von Bauprodukten, Los 1

Subject

Systematic investigations on the use of VOC chambers for the determination of the radon exhalation rate of building products, lot 1

Kennzeichen

3613S10021

Beginn

01.12.2013

Ende

31.05.2016

Fördermittel

EUR 104.960,-

Forschungs- / Auftragnehmer

BAM Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung, Berlin

Projektleitung

Dr. O. Jann

Fachbetreuung BfS

Dr. B. Hoffmann / SW 1.1

verantwortlich für den Text

Dr. M. Richter

1. ZIELSETZUNG

Materialemissionen (flüchtige organische Verbindungen) können mit Hilfe von Emissionsprüfkammern und -zellen unter praxisnahen und bereits normierten Prüfbedingungen bestimmt werden. Ziel dieses Forschungsvorhabens ist die Durchführung systematischer Untersuchungen um festzustellen, ob diese Methode auch für die Bestimmung der Radonexhalationsrate aus Bauprodukten unter Verwendung kalibrierter kommerziell erhältlicher Radonmessgeräte herangezogen werden kann.

2. EINZELZIELSETZUNG

Zu Beginn des Projekts wird eine Bestandsaufnahme infrage kommender Radonmessgeräte vorgenommen sowie deren Eignung getestet. Es werden insgesamt acht verschiedene Testmaterialien beschafft, von denen unterschiedlich starke Radonexhalationen zu erwarten sind. Diese werden auf relevante Materialcharakteristika (Nuklidkonzentration, Kornstruktur, Porosität, Feuchtegehalt) hin untersucht. Es werden ferner Tests durchgeführt, um die Einflüsse relevanter Prüfparameter wie Temperatur, relativer Luftfeuchtigkeit, Produktbelastung und Luftwechselrate in der Kammer auf die Radonexhalation festzustellen. Es wird ein Prüfprotokoll erstellt und das Verfahren abschließend einer Robustheitsuntersuchung unterworfen.

3. METHODIK

3.1 AUSWAHL UND BESCHAFFUNG VON BAUPRODUKTEN ALS VERSUCHSMATERIALIEN

In Absprache mit Herstellern sowie Experten des BfS und der BAM wurden folgende Materialien für die Versuche ausgewählt: zwei Lehme unterschiedlicher Dichten, Kalksandstein, zwei Betone aus verschiedenen Zementen mit unterschiedlichen Zuschlagstoffen, ein Leichtbeton, Gips und Granit. Dabei wurde darauf geachtet, dass sie in ihrer Art und Zusammensetzung realen Anforderungen entsprechen. Sie lagerten mindestens zwei Monate zur Konditionierung bei einer Temperatur von 23 °C und einer relativen Luftfeuchtigkeit von 50 %, bevor sie den Messungen zugeführt wurden.

3.2 MAßNAHMEN ZUR OPTIMIERUNG DER VOC¹⁾-KAMMERN

Es ist beabsichtigt, sich bei den Versuchen insbesondere bez. Luftwechselrate und Produktbelastung im Wesentlichen an den Vorgaben der DIN CEN/TS 16516 zu orientieren. Ferner sollte die in der Fachliteratur und auch in der DIN ISO 11665 9 postulierte freie Radonexhalation gewährleistet werden.

3.3 PRÜFUNG VON RADONMESSTECHNIK

Für die Untersuchungen stehen sieben Radonmessgeräte zur Verfügung, die mit drei verschiedenen Detektortypen ausgestattet sind. Zu den Geräten zählen aktive Probennahmesysteme wie zwei AlphaGUARDS (Fa.

¹⁾ volatile organic compounds

Saphymo), eine Durchfluss-Szintillationskammer (Eigenbau BfS), ein RTM¹⁾ 1688-2 (Fa. Sarad) sowie drei passiv arbeitende Geräte des Typs RadonScout (Fa. Sarad). Es wird eine Bewertung der Geräte durchgeführt und abschließend entschieden, welche Geräte für die Messaufgabe geeignet sind.

3.4 EINFLUSS VON TEMPERATUR UND RELATIVER LUFTFEUCHTIGKEIT AUF DIE MESSUNG

Diese Untersuchungen werden an insgesamt fünf Baumaterialien (Lehm, Gips, Leichtbeton, Beton und Granit), die unterschiedliche Affinitäten zur Wasseraufnahme haben, bei folgenden Parametereinstellungen vorgenommen:

- Temperatur: 18, 20, 22, 23, 24 °C, bei einer absoluten Feuchtigkeit von 10,3 g/m³ (12 °C)
- rel. Luftfeuchtigkeit: 30, 45, 50, 55, 70 % r.F., bei 23 °C.

4. DURCHFÜHRUNG

4.1 MAßNAHMEN ZUR OPTIMIERUNG DER VOC-KAMMERN

Die Tauglichkeit der einzusetzenden VOC-Prüfkammern wurde auf Basis einer ersten Planung der angedachten Versuche unter Berücksichtigung der relevanten Materialparameter wie Dichte und potenzielle Einbaudicke (2, 12 oder 24 cm) der in Abschnitt 3.1 genannten Baumaterialien untersucht.

Zunächst wurde die Radonhintergrundkonzentration an jedem Luftversorgungspunkt durch Messung mit dem AlphaGUARD und der Durchfluss-Szintillationskammer bestimmt. Um auch das für die Befeuchtung verwendete vollentsalzte Wasser als mögliche Quelle auszuschließen, wurden die Messungen sowohl bei eingeschalteter als auch bei ausgeschalteter Befeuchtung durchgeführt.

Für die Tests sollen Prüfkammern mit den Volumina 1 m³, 250 l, 40 l sowie 24 l eingesetzt werden.

4.2 PRÜFUNG VON RADONMESSTECHNIK

Die experimentelle Überprüfung der Messgeräteeignung erfolgte auf Basis folgender Punkte:

- Vergleichbarkeit der Messgeräte untereinander bei verschiedenen Radonaktivitätskonzentrationen
- zuverlässige Erfassung einer Radonaktivitätskonzentration von 20 Bq/m³
- Reproduzierbarkeit der Messungen bei vergleichbaren Randbedingungen
- Abhängigkeit des Standorts der Messgeräte (innerhalb oder außerhalb der Prüfkammer)
- Dichtheit des Messsystems bestehend aus Messgerät, Pumpe und Schlauchverbindungen
- Selektivität der Messgeräte für Radon (Rn-222) (Möglichkeit der Diskriminierung von Rn-220 (Thoron)).

Zur Untersuchung dieser Punkte wurden mit den Geräten Messungen an mit verschiedenen Baumaterialien beladenen 1 m³-Kammern durchgeführt, bei denen die Luftwechselrate, der Standort der Geräte sowie die Länge der Zerfallsstrecke (PVC-Schlauch vor Messgerät) zur Thorondiskriminierung vor den Messgeräten variiert wurden.

4.3 EINFLUSS VON TEMPERATUR UND RELATIVER LUFTFEUCHTIGKEIT AUF DIE MESSUNG

Die Messungen erfolgen in 1 m³-Emissionsprüfkammern, die über die in Abschnitt 3.4 genannten Temperatur- und Luftfeuchtigkeitsbereiche eingestellt werden können. Um auch bei diesen Untersuchungen möglichst Normbedingungen einzuhalten, erfolgen Luftwechseleinstellung und Produktbeladung derart, dass sie einer flächenspezifischen Luftdurchflussrate von $q = 0,5 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{h}$ für Wandmaterialien und $q = 1,25 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{h}$ für Bodenmaterialien entsprechen. Die flächenspezifische Luftdurchflussrate ist der Quotient aus Luftwechselrate n und Kammerbeladung L .

¹⁾ Radon- und Thoron-Messgerät

5. ERGEBNISSE

5.1 MAßNAHMEN ZUR OPTIMIERUNG DER VOC-KAMMERN

Sämtliche zur Verfügung stehenden Prüfkammern sind für die angedachten Versuche geeignet; es besteht kein Optimierungsbedarf. Die Radonblindwerte der Zuluft für die Prüfkammern können als sehr niedrig angesehen werden. Sie liegen im unteren Bestimmungsbereich der Messgeräte.

5.2 PRÜFUNG VON RADONMESSTECHNIK

Von den aktiven Messgeräten schnitten der AlphaGUARD sowie die Durchfluss-Szintillationskammer am besten ab und werden für die geplanten Versuche weiter verwendet.

5.3 EINFLUSS VON TEMPERATUR UND RELATIVER LUFTFEUCHTIGKEIT AUF DIE MESSUNG

Es liegen bislang nur erste Ergebnisse für die Messungen an Lehm und Gips bei konstanter absoluter Luftfeuchtigkeit und veränderten Temperaturen vor.

Bei Veränderung der Temperatur (vgl. Abschnitt 3.4) können bislang keine nennenswerten Veränderungen der Exhalationsraten festgestellt werden.

6. GEPLANTE WEITERARBEIT

Die Betrachtungen des Einflusses der Temperatur und der relativen Luftfeuchtigkeit auf die Radonexhalation werden fortgesetzt. Ferner wird untersucht, in welchem Bandbreitenbereich weitere Parametereinstellungen wie Luftwechsel und Produktbeladung eingestellt werden können, ohne sich nennenswert auf die Prüfbedingungen auszuwirken. Im Anschluss erfolgen erste Robustheitsuntersuchungen. Zur Interpretation der Messergebnisse werden auch die Materialparameter Dichte, spezifische Aktivität, Kornstruktur, Porosität und Feuchtegehalt herangezogen.

Thema			
4. Mortalitäts-Follow-Up der Kohorte von ca. 64 000 ehemaligen Wismutbeschäftigten zum Stichtag 31.12.2013			
Subject			
<i>Fourth follow-up of the mortality of the cohort of approximately 64 000 former Wismut employees at the appointed date 31/12/2013</i>			
Kennzeichen	Beginn	Ende	Fördermittel
3613S10022	01.08.2013	31.05.2016	EUR 315.118 ,-
Forschungs- / Auftragnehmer			
Mediveritas GmbH, München			
Projektleitung	Fachbetreuung BfS	verantwortlich für den Text	
Dr. M. Toelg	PD Dr. M. Kreuzer, AG-SG 1.3 Dr. M. Schnelzer, AG-SG 1.3	Dr. M. Toelg, E. Török	

1. ZIELSETZUNG

Das Bundesamt für Strahlenschutz führt eine Kohortenstudie an ca. 64 000 ehemaligen Beschäftigten der Fa. Wismut durch. Ziel ist die Abschätzung des Gesundheitsrisikos durch Strahlung, Staub und andere Noxen. Im Rahmen des UFO-Plans wurden bereits drei Mortalitäts-Follow-Ups zu den Stichtagen 31.12.1998, 31.12.2003 und 31.12.2008 durchgeführt. Im vorliegenden Vorhaben wird in einem vierten Mortalitäts-Follow-Up der Vitalstatus von 34 128 Kohortenmitgliedern der Wismut-Kohortenstudie zum Stichtag 31.12.2013 ermittelt und für verstorbene Personen die Todesursache eruiert. Der Follow-Up-Zeitraum der Kohortenstudie wird also um weitere 5 Jahre verlängert und ermöglicht dadurch Risikoanalysen zur strahleninduzierten Mortalität über einen im Vergleich zu anderen Bergarbeiterstudien sehr langen Zeitraum (1946-2013).

2. EINZELZIELSETZUNG

Das Follow-Up wird ohne Personenkontakte durchgeführt. Die notwendigen Informationen werden über offizielle Stellen (Einwohnermeldeämter (EMA), Gesundheitsämter, Kreisarchive, Zentralarchive, Standesämter) erhoben.

2.1 ERHEBUNG DES VITALSTATUS

Der Vitalstatus (d. h. die Information, ob Kohortenmitglieder noch leben oder verstorben sind) soll für 34 128 Personen ermittelt werden, darunter auch 1350 Sonderfälle, für die kein Vitalstatus aus dem letzten Follow-Up vorliegt.

2.2 ERHEBUNG DER TODESURSACHE FÜR VERSTORBENE

Für alle verstorbenen Personen der Kohorte werden Todeszeitpunkt und Todesursache ermittelt und die Todesursache nach ICD¹⁾ 10 verschlüsselt.

3. METHODIK

Um den Vitalstatus zu ermitteln, werden mit Hilfe der jeweils letzten im Rahmen des dritten Follow-Up ermittelten Adressen der Kohortenmitglieder die zuständigen Einwohnermeldeämter angeschrieben. Melden Einwohnermeldeämter Personen als „noch wie angegeben gemeldet“, wird diese Information in die Datenbank eingegeben und das Follow-Up ist für die betreffenden Personen abgeschlossen. Ist eine Person als „verzogen“ gemeldet, wird die neue Adresse in die Datenbank aufgenommen und das nun zuständige Einwohnermeldeamt angeschrieben. Der beschriebene Vorgang wiederholt sich so lange, bis eine aktuelle Adresse ermittelt oder die gesuchte Person als „verstorben“ gemeldet wird. Für die „Sonderfälle“ lässt sich der Vitalstatus über die Einwohnermeldeämter allein nicht ermitteln, es werden daher weitere Behörden (Kreisarchive/Stadtarchive, Standesämter) eingeschaltet.

¹⁾ International Statistical Classification of Diseases and Related Health Problems

Bei von den EMA als „verstorben“ gemeldeten Personen werden, basierend auf den Angaben zu Sterbedatum und Sterbeort, die entsprechenden Gesundheitsämter mit der Bitte um Zusendung von Kopien der Todesbescheinigungen angeschrieben. Aus Gründen des Datenschutzes versenden die Gesundheitsämter die Belege ohne Namensangabe (stattdessen wird eine mitgeschickte Stichprobennummer übernommen) direkt an die Projektgruppe Wismut des Bundesamtes für Strahlenschutz. Vom BfS erfolgt eine Rückmeldung an den Auftragnehmer, für welche Stichprobennummern Totenscheine vorliegen, so dass die entsprechenden Personen dann in der Datenbank als „verstorben, Todesursache bekannt“ abgeschlossen werden können. Die Totenscheinkopien werden an das statistische Landesamt in Bad Ems verschickt, die Todesursachen werden dort nach ICD 10 verschlüsselt. Abschließend werden die ICD 10-Codes in die Datenbank eingestellt.

4. DURCHFÜHRUNG

Vom Bundesamt für Strahlenschutz wurde am 30.07.2013 eine Access-Datenbank mit den Adressen von 34 128 im vierten Follow-Up zu bearbeitenden Personen an den Auftragnehmer übergeben, darunter 1350 „Sonderfälle“, für die kein Vitalstatus aus dem dritten Follow-Up vorlag. Nach Überführung der Daten in die Projektdatenbank und einer Aktualisierung der Anschriften konnte im Oktober 2013 mit dem Versand der Formblattanfragen an die EMA und Landesämter („Sonderfälle“) begonnen werden. Im Januar 2014 folgte der Versand der EMA-Anfragen zu den Personen des Hauptkollektivs. Die von den Ämtern erhaltenen Daten wurden kontinuierlich in die Projektdatenbank eingegeben und ab April 2014 wurden auch die Gesundheitsämter bezüglich der Totenscheinkopien kontaktiert.

5. ERGEBNISSE

Zum Zeitpunkt der Berichterstellung waren Anfragen zu allen 34 128 Personen zumindest zum ersten Mal verschickt worden. Eine digitale Übermittlung der Anfragen wünschte nur ein Amt (Berlin, 408 Anfragen).

5.1 VITALSTATUS

Für 32 505 Personen (95,2 % aller 34 128 Personen) lag zumindest eine erste Rückmeldung von den Einwohnermeldeämtern/Standesämtern vor. Der Vitalstatus konnte in 31 126 Fällen (91,2 % aller Personen) ermittelt werden. Insgesamt 4059 Personen (13,0 % aller Personen, für die der Vitalstatus vorliegt bzw. 11,9 % aller 34 128 Personen) wurden bis jetzt als „verstorben“ gemeldet, 27 067 Personen (79,3 % aller Personen) konnten als „lebend“ ermittelt und im Rahmen des vierten Follow-Up abgeschlossen werden.

5.2 TODESURSACHE

Für alle 4059 bisher als „verstorben“ gemeldeten Personen wurden Anfragen zu den Totenscheinen an die jeweils verantwortlichen Gesundheitsämter verschickt. Zum Zeitpunkt der Berichterstellung lagen dem BfS bereits 1782 Totenscheine (43,9 % aller bis jetzt als verstorben gemeldeten Personen) vor. Alle auf den Totenscheinen dokumentierten Todesursachen wurden bereits nach ICD-10 verschlüsselt.

6. GEPLANTE WEITERARBEIT

Die Arbeiten zur Erhebung des Vitalstatus sind fast abgeschlossen. Der nächste Schwerpunkt wird daher auf der Anforderung und Überprüfung der ca. 2300 fehlenden Totenscheine liegen sowie in der anschließenden Codierung und Übertragung der Todesursachen in die Datenbank.

Thema Ermittlung der Unsicherheiten der Strahlungsexpositionsabschätzung in der Wismut-Kohorte			
Subject <i>Determination of the uncertainties in radiation exposure assessment in the Wismut Cohort</i>			
Kennzeichen 3613S10023	Beginn 01.09.2013	Ende 31.08.2016	Fördermittel EUR 389.870,-
Forschungs- / Auftragnehmer Universitätsmedizin der Johannes Gutenberg-Universität Mainz, Institut für Medizinische Biometrie, Epidemiologie und Informatik			
Projektleitung Dr. J. König	Fachbetreuung BfS Dr. N. Fenske / AG-SG 1.3	verantwortlich für den Text Dr. J. König, Dr. N. Fenske	

1. ZIELSETZUNG

Die „Wismut-Kohorte“ zählt zu den weltweit größten Uranbergarbeiter-Kohortenstudien und zielt darauf ab, Gesundheitsrisiken durch Strahlung zu untersuchen. Unter großem Aufwand wurde nachträglich für jede der fast 60 000 Personen in der Kohorte ihre individuelle Exposition durch ihre Tätigkeit bei der Wismut abgeschätzt. Hierfür wurde eine sogenannte „Job-Exposure-Matrix“ erstellt, die von 1946-1989 pro Berufsgruppe, Bergbauobjekt und Arbeitsplatz jährliche Schätzwerte für die Strahlenexposition enthält. Für den Zeitraum 1946-1954 basieren diese Werte auf Expertenschätzungen, ab 1955 überwiegend auf Messungen. In bisherigen Risikoanalysen der Wismut-Kohorte wurden Unsicherheiten in der Expositionsabschätzung nicht berücksichtigt.

Das Ziel des vorliegenden Projektes ist es, die Unsicherheiten, die durch die nachträgliche Abschätzung der Expositionen entstehen, möglichst genau zu quantifizieren und am Beispiel des Zusammenhangs zwischen Radon und der Sterblichkeit an Lungenkrebs in statistische Risikomodelle zu integrieren.

2. EINZELZIELSETZUNG

Das Projekt ist in vier Arbeitspakete gegliedert:

2.1 AUFARBEITUNG DES RELEVANTEN STANDES VON WISSENSCHAFT UND TECHNIK

Den Ausgangspunkt des Projektes bildet eine umfassende Literaturrecherche, um den aktuellen Stand der Wissenschaft und Technik zu erfassen und relevante Literatur zu identifizieren.

2.2 UNSICHERHEITEN DER AUF EXPERTENSCHÄTZUNG BERUHENDEN EXPOSITIONSDATEN

In diesem Arbeitspaket sollen die Fehlerquellen, die bei der Expertenschätzung der Expositionen entstanden sind, umfassend ermittelt und systematisch dargestellt werden. Zudem soll die Auswirkung der einzelnen Fehlerquellen auf die geschätzte Exposition quantifiziert werden.

2.3 UNSICHERHEITEN DER AUF MESSUNGEN BERUHENDEN EXPOSITIONSDATEN

In diesem Arbeitspaket sollen die Fehlerquellen, die bei der Messung der Expositionen entstanden sind, umfassend ermittelt und systematisch dargestellt werden. Zudem soll die Auswirkung der einzelnen Fehlerquellen auf die Exposition quantifiziert werden.

2.4 BEWERTUNG, BEISPIELSZENARIEN UND AUSWIRKUNG AUF DAS LUNGENKREBSRISIKO

Das Ziel dieses Arbeitspaketes ist es, die ermittelten Unsicherheiten bei den Strahlenexpositionen in statistische Risikomodelle zu integrieren und somit die Unsicherheiten bei der Modellierung der Gesundheitsrisiken durch Strahlung zu berücksichtigen. Konkret soll das strahlen-assoziierte Lungenkrebs-Mortalitätsrisiko unter Berücksichtigung von Unsicherheit in der Exposition durch Radon und seine Folgeprodukte (RnFP) geschätzt werden.

3. METHODIK

3.1 AUFARBEITUNG DES RELEVANTEN STANDES VON WISSENSCHAFT UND TECHNIK

Die Literaturrecherche umfasste folgende Quellen:

- die in der Projekt-Ausschreibung angegebene Literatur und darin zitierte Quellen
- die Publikationen des BfS zur Wismut-Kohorte
- die beiden Berichte von Lehmann (2004) sowie Lehmann et al. (1998) zur Job-Exposure-Matrix und darin zitierte Quellen
- eine Auswahl von 254 aus 420 Artikeln zum Stichwort „uranium miners“ in der Literatur-Datenbank PubMed
- weitere relevante in den gesichteten Artikeln gefundene Quellen
- wichtige Berichte einschlägiger Einrichtungen (NCRP¹), JCGM²), BEIR³)-Reporte)
- statistisch methodische Literatur zum Thema „Fehler in den Variablen“.

Die Quellen wurden in vier Themenbereiche gegliedert und anhand von vordefinierten Kriterien klassifiziert.

3.2 UNSICHERHEITEN DER AUF EXPERTENSCHÄTZUNG BERUHENDEN EXPOSITIONSDATEN

Die Expositionen in der Job-Exposure-Matrix wurden in einem mehrstufigen Prozess bestimmt. Zunächst wurde pro Bergbaubjekt und Kalenderjahr zwischen 1946 und 1989 die jeweilige Exposition eines Hauer abgeschätzt. Danach wurde jeder anderen Tätigkeit ein sogenannter „Jobfaktor“ zugeordnet, der diese in Relation zu einem Hauer setzt. Damit konnte für jede Person in der Studie abhängig von Bergbaubjekt, Tätigkeit und Arbeitszeit ihre individuelle Exposition pro Beschäftigungsjahr abgeschätzt werden.

Die Daten wurden im Hinblick auf folgende Aspekte analysiert:

- die Verteilung von Personenjahren auf Tätigkeiten und Tätigkeitsgruppen mit ähnlichen Jobfaktoren
- die Verteilung von Expositionsanteilen vor und nach 1955
- die Identifikation von Tätigkeitshistorien mit besonders hoher Exposition
- das Nachvollziehen der Bestimmung der jährlichen Radon-Expositionen in Working Level Months (WLM) anhand der Daten der Job-Exposure-Matrix
- die Reproduktion des Exposure-Age-Concentration-Modells nach BEIR VI von Walsh et al. (2010).

4. DURCHFÜHRUNG

4.1 AUFARBEITUNG DES RELEVANTEN STANDES VON WISSENSCHAFT UND TECHNIK

Dieses Arbeitspaket wurde planmäßig abgeschlossen.

4.2 UNSICHERHEITEN DER AUF EXPERTENSCHÄTZUNG BERUHENDEN EXPOSITIONSDATEN

Die Daten wurden eingelesen, umfassend analysiert und in einem Ergebnisbericht zusammengestellt. Die Verrechnung der Daten aus der Job-Exposure-Matrix zu individuellen jährlichen RnFP-Expositionen wurde mit hoher Präzision nachvollzogen. Dadurch ist der Weg zu Sensitivitäts- und Einfluss-Analysen erschlossen.

5. ERGEBNISSE

5.1 AUFARBEITUNG DES RELEVANTEN STANDES VON WISSENSCHAFT UND TECHNIK

Die systematische Literaturrecherche ergab 300 Quellen, die gesichtet und bewertet wurden. Die Ergebnisse der Aufarbeitung sind in einem Bericht niedergelegt. Das Thema „Expositionsunsicherheit“ spiegelt sich in der Literatur zu strahlen-assoziierten Risiken in Bergarbeiterkohorten breit wider. Die Ansätze quantitativer Modellierung sind dagegen selten. Hervorzuheben sind die Arbeiten von Allodji et al. für die französische Kohorte

¹) National Council on Radiation Protection & Measurements

²) Joint Committee for Guides in Metrology

³) Biological Effects of Ionizing Radiation

und Stram et al. für die amerikanischen Kohorten. Allodji et al. konnten individuelle Expositionsmessungen zur Modellierung von klassischen und Berkson-Typ-Messfehlern verwenden. Für die Wismut-Kohorte liegen solche Daten derzeit nicht vor und sollen im Arbeitspaket 2 so weit wie möglich erarbeitet werden. Die Arbeiten von Stram et al. verwenden erstmals Modelle für geteilte Fehler (shared errors), welche eine hierarchische Struktur von Abbauregionen, Bergwerken und Bergwerksteilen nutzen. Verwandte Hierarchien liegen auch für die Wismut-Kohorte vor. Die Machbarkeit einer entsprechenden Modellierung ist zu prüfen.

5.2 UNSICHERHEITEN DER AUF EXPERTENSCHÄTZUNG BERUHENDEN EXPOSITIONSDATEN

Am Beispiel des radon-assoziierten Lungenkrebsrisikos wurden statistische Modelle gerechnet, um den Einfluss der experten-geschätzten Expositionen auf die Risikoschätzer zu bestimmen. Im Mittel war 30 % der RnFP-Exposition den Kalenderjahren vor 1955 zuzurechnen. 41 % der Arbeiter begannen ihre Tätigkeit vor 1955, von ihnen starben 78 % an Lungenkrebs. 593 Personen waren mit über 2000 WLM am stärksten exponiert, von ihnen starben 109 an Lungenkrebs. Im Mittel entstand 61 % ihrer Exposition in den Jahren vor 1955, und sie tragen zu einem großen Teil zum Ergebnis der Risikoschätzung bei.

6. GEPLANTE WEITERARBEIT

Die unter 3.2 beschriebenen Analysen werden abgeschlossen. Im dritten Arbeitspaket werden die Analysen auf den Zeitraum nach 1955, für den empirische Messdaten zur Expositionsabschätzung vorliegen, erweitert. Dies bildet die Grundlage für Sensitivitätsanalysen, bei der die geschätzten individuellen Expositionen sowohl deterministisch als auch zufällig variiert werden sollen. In Arbeitspaket 4 werden die Sensitivitätsanalysen auf Modelle für den Zusammenhang zwischen Strahlenexposition und Lungenkrebsmortalität angewendet.

Thema

Genomweite Analyse genetisch bedingter Strahlenempfindlichkeit in Wismut-Bergarbeitern - Qualitätssicherung der Typisierungsergebnisse

Subject

Genome wide analysis of radiosensitivity in former uranium miners of SDAG Wismut - quality management and control of the genotyping

Kennzeichen

3614S10014

Beginn

01.08.2014

Ende

31.07.2016

Fördermittel

EUR 13.411,-

Forschungs- / Auftragnehmer

Universitätsmedizin Göttingen, Institut für Genetische Epidemiologie

Projektleitung

Prof. Dr. H. Bickeböller

Fachbetreuung BfS

Dr. M. Gomolka / AG-SG 1.2

verantwortlich für den Text

A. Rosenberger

1. ZIELSETZUNG

Das übergeordnete Ziel des Vorhabens ist abzuklären, welche genetischen Veränderungen im Zusammenhang mit Strahlung zum Lungenkrebsrisiko (LK) beitragen.

Erstes Ziel ist hierfür, die optimale Zusammensetzung des Studienkollektivs abzuschätzen, um mit einer ausreichenden Teststärke eine genetische Assoziationen zum strahleninduzierten Lungenkrebs nachzuweisen. Als Studienkollektive stehen DNA-Proben von 430 gesunden und 76 ehemaligen an Lungenkrebs gestorbenen Wismut-Bergarbeitern sowie 90 Kindern von Nachkommen früh an Lungenkrebs verstorbener Wismut-Arbeiter zur Verfügung sowie Vergleichsdaten der LUCY-Studie (LUNG Cancer in the Young, Kooperationspartner J. Heinrich, HMGU¹) und der German Lung Cancer Study (mit Studienteilnehmern aus LUCY, KORA²) (HMGU) und der Heidelberg Lungenkrebsstudie (Heidelberg: Angela Risch, DKFZ³).

Das zweite Ziel des Vorhabens ist, unter Berücksichtigung des Standes von Wissenschaft und Technik einen optimalen Chip für die genomweite Charakterisierung zu ermitteln.

Das dritte Ziel des Vorhabens ist die Qualitätssicherung der anschließenden genomweiten Typisierung aus dem Folgeprojekt 3614S10013.

2. EINZELZIELSETZUNG

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

- Erstellung einer Übersicht der bekannten genetischen Risiken des Lungenkrebses und der Strahlenempfindlichkeit
- Auswahl, Begründung und Powerabschätzung der gewählten Methode zur genomweiten Assoziationsanalyse unter Einbeziehung der Studienkollektive beim BfS nach dem gegenwärtigen Stand von Wissenschaft und Technik
- Empfehlung zur Wahl eines geeigneten Chips zur Genotypisierung.

2.2 QUALITÄTSSICHERUNG DER SNP-TYPISIERUNG MITTELS 660K CHIP (ILLUMINA) ODER VERGLEICHBARER CHIP-ANALYSE (AP 2)

- Qualitätssicherungsprüfungen der SNP⁴-Typisierung in 3614S10013
- Expertenbegleitung auf Basis des Qualitätsberichts für Nachforderungen des BfS an 3614S10014
- Einstellen der SNP-Daten der BfS-Kollektive in die Datenbank STORE.

¹) Helmholtz Zentrum München – Deutsches Forschungszentrum für Gesundheit und Umwelt

²) Kooperative Gesundheitsforschung in der Region Augsburg

³) Deutsche Krebsforschungszentrum

⁴) single nucleotide polymorphism, Einzelnukleotid-Polymorphismus

3. METHODIK

- Erstellung einer Übersicht der bekannten genetischen Risiken des Lungenkrebses und der Strahlenempfindlichkeit (AP 1.1)
- Auswahl, Begründung und Powerabschätzung der gewählten Methode zur genomweiten Assoziationsanalyse unter Einbeziehung der Studienkollektive beim BfS nach dem gegenwärtigen Stand von Wissenschaft und Technik (AP 1.2)

Die Power bzw. notwendige Fallzahl für das bestehende Kollektiv aus 300 Kontrollen und 76 LK-Fällen wurde für den kombinierten Test auf genetischen Haupteffekt und Gen-Umweltinteraktion für Fall-Kontroll-Studien (Kraft et al. 2007) berechnet. Eine Power von 80 % wird als ausreichend angesehen.

4. DURCHFÜHRUNG

4.1 ERSTELLUNG EINER ÜBERSICHT DER BEKANNTEN GENETISCHEN RISIKEN DES LUNGENKREBSSES UND DER STRAHLENEMPFFINDLICHKEIT DURCH LITERATURRECHERCHEN (AP 1.1)

In der Übersicht zusammengestellt wurden einerseits genetische Risikofaktoren für Lungenkrebs und andererseits für Strahlenempfindlichkeit. Die Übersicht wurde in einer Detailtiefe erfasst, wie sie für Projektanträge mit Entscheidung zur Erstausswahl üblich ist.

4.2 AUSWAHL, BEGRÜNDUNG UND POWERABSCHÄTZUNG DER GEWÄHLTEN METHODE ZUR GENOMWEITEN ASSOZIATIONSANALYSE UNTER EINBEZIEHUNG DER STUDIENKOLLEKTIVE BEIM BFS NACH DEM GEGENWÄRTIGEN STAND VON WISSENSCHAFT UND TECHNIK (AP 1.2)

Die Power für das bestehende Kollektiv wurde für einen GxE Interaktionseffekt von $RR_{Ge}^1=3,0$ (gemeinsam mit dem angenommenen Umwelteffekt E und dem angenommenen genetischen Haupteffekt G) berechnet. Alternative Analysestrategien wurden empfohlen. Diese beinhalten:

- die Beschränkung der Analyse auf ausgewählte Kandidatengene
- die Anwendung einer gewichteten Bonferroni-Korrektur
- die Fokussierung auf eine nachgelagerte Gen-Set-Analyse (pathway analysis).

Die Power für eine Gen-Set-Analyse wurde abgeschätzt. Ebenso wurde die Möglichkeit geprüft, das bestehende Kollektiv durch Rekonstruktion der Genotypen von verstorbenen LK-Fällen nach Typisierung derer leiblicher Nachfahren zu vergrößern.

4.3 EMPFEHLUNG ZUR WAHL EINES GEEIGNETEN CHIPS ZUR GENOTYPISIERUNG (AP 1.3)

Eine Übersicht der derzeit zur Verfügung stehenden und bei Lungenkrebs-GWAS (Genomweite Assoziationsstudie) verwendenden Genotypisierungs-Arrays wurde erstellt. Basierend auf dem medianen Abstand zwischen den Markern in Kombination mit einer Empfehlung des HapMap²-Konsortiums über die notwendige Abdeckung der Arrays konnten die Betrachtungen auf zwei Arrays mit ausreichender SNP-Dichte (Human-Hap-550K Duov3 oder des Onco-Array-500K) konzentriert werden.

Schließlich wurden die Arrays hinsichtlich enthaltener Marker verglichen und die Gene zugeordnet, die für die Fragestellung des Projekts potenziell relevant erscheinen (bzgl. Lungenkrebs oder DNA-Reparatur) (siehe AP 1.1).

¹) Relatives Risiko zu erkranken, gegeben einen Genotyp und eine Exposition

²) haplotype map

5. ERGEBNISSE

5.1 ERSTELLUNG EINER ÜBERSICHT DER BEKANNTEN GENETISCHEN RISIKEN DES LUNGENKREBSES UND DER STRAHLENEMPFLINDLICHKEIT (AP 1.1)

Die PubMed-Suche ergab 286 Treffer. Diese wurden durch Literaturstellen aus den Referenzen ergänzt. Die Publikation [De Matteis, et al. 2014] wurde via persönlicher Kommunikation über die Plattform ReseachGate gefunden.

Die Übersicht über genetische Risikofaktoren wurde in drei Gruppen aufgeteilt, wobei mit Strahlenempfindlichkeit assoziierte Gene hervorgehoben wurden:

- Gene als Risikofaktoren für Lungenkrebs (identifiziert mittels GWAS oder darauf aufbauenden Meta-Analysen); es konnten 9 Gene identifiziert werden.
- andere genetische Risikofaktoren für Lungenkrebs: Genomische Regionen (nicht durch GWAS identifiziert) und Telomerase-Länge; es konnten 9 genomische Regionen bzw. Einflussfaktoren identifiziert werden.
- weitere mit Lungenkrebs assoziierten Gene, deren Assoziation nur in Kandidatengenstudien gezeigt werden konnte; es konnten 140 Gene identifiziert werden.

5.2 AUSWAHL, BEGRÜNDUNG UND POWERABSCHÄTZUNG DER GEWÄHLTEN METHODE ZUR GENOMWEITEN ASSOZIATIONSANALYSE UNTER EINBEZIEHUNG DER STUDIENKOLLEKTIVE BEIM BFS NACH DEM GEGENWÄRTIGEN STAND VON WISSENSCHAFT UND TECHNIK (AP 1.2)

Bei einer genomweiten Typisierung der 76 Fälle und 300 Kontrollen kann von einer ausreichenden Power von mindestens 80 % für eine Gen-Set-Analyse der DNA-Reparatur-Gene ausgegangen werden. Die Typisierung größerer Familien wurde nur bedingt geraten. Auch bei einer gemeinsamen Auswertung des BfS-Kollektivs mit nicht exponierten Fällen der LUCY-Studie und verfügbaren Kontrollen der KORA-Studie kann eine ausreichende Power von mindestens 80 % für stärkere Assoziationen ($RR_{ge}=2,0$, $RR_{g^1}=1,1$) einzelner Gene selbst auf dem genomweiten Signifikanzniveau angenommen werden.

5.3 EMPFEHLUNG ZUR WAHL EINES GEEIGNETEN CHIPS ZUR GENOTYPISIERUNG (AP 1.3)

Die Genotypisierung mit dem Onco-Array-500K wird empfohlen, da der Anteil der mit Markern besetzten relevanten Gene höher ist als für einen alternativen Array wie den HumanHap-550K Duov3.

5.4 PRÄSENTATION (AP 1.4.)

Die Daten wurden in einem Bericht zusammengestellt und die Ergebnisse am BfS präsentiert. Um mehr Lungenkrebsfälle im Uranbergarbeiterkollektiv einzuschließen, konnte ein Kooperationsgespräch mit Dr. Steven Belinsky (Lovelace Respiratory Research Institute, Albuquerque) am BfS geführt werden. Dieser verfügt über Bioproben von bis zu 200 Uranbergarbeitern mit Lungenkrebs aus Colorado. Hieraus ergab sich bereits ein gemeinsamer Projekt-Antrag beim International Lung Cancer Consortium Transdisciplinary Research in Cancer of the Lung als Teil der Genetic Associations and Mechanisms in Oncology (GAME-ON) Initiative zur Suche nach Gen x Radon-Exposition-Interaktionen bezüglich Lungenkrebs.

6. GEPLANTE WEITERARBEIT

Nach Beendigung der Genotypisierung (FKZ 3614S10013) wird das Forschungsvorhaben mit dem Arbeitspaket 2: „Qualitätssicherung der SNP-Typisierung mittels Onco-Array-500K (Illumina)“ fortgesetzt.

¹⁾ Relatives Risiko zu erkranken, gegeben einen Genotyp

Themenbereich 02
Strahlenschutztechnik

Subject area 02
Radiation protection techniques

Thema

Entwicklung und Umsetzung von Konzepten zur Charakterisierung klinischer CT-Systeme unter Einbeziehung von Bildqualität und Dosis

Subject

Development and implementation of concepts for characterisation of clinical CT systems considering image quality and dose

Kennzeichen
3613S20007

Beginn
01.08.2014

Ende
31.07.2016

Fördermittel
EUR 248.805,-

Forschungs- / Auftragnehmer

Centre Hospitalier Universitaire Vaudois, Institut de radiophysique, Rue du Grand-Pré 1, 1007 Lausanne, Schweiz

Projektleitung
Prof. Dr. F. R. Verdun

Fachbetreuung BfS
Dr. D. Noßke / AG-SG 2.3

verantwortlich für den Text
Prof. Dr. F. R. Verdun,
Dr. A. Schegerer

1. ZIELSETZUNG

Ziel des Vorhabens ist die Entwicklung eines Konzepts zur Bewertung von CT-Systemen und deren klinischer Protokolle unter Einbeziehung von Bildqualität und Dosis. Das Konzept ist an verschiedenen CT-Systemen, unter Einschluss von Systemen, bei denen die neuesten iterativen Bildrekonstruktionsmethoden zum Einsatz kommen, umzusetzen.

2. EINZELZIELSETZUNG

Das Vorhaben besteht aus 4 Arbeitspaketen.

2.1 AUFARBEITUNG DES STANDES VON WISSENSCHAFT UND TECHNIK

Das erste Arbeitspaket des Projektes besteht darin, die unterschiedlichen physikalischen Ansätze zur Bewertung von Bildqualität von CT-Bildern darzustellen und zu bewerten. Schwerpunkt der Arbeit ist der Einsatz mathematischer Modelle, die das menschliche Sehvermögen, Details in Röntgenbildern (u. a. CT-Bilder) zu erkennen und damit deren Bildqualität bewerten zu können, wiederzugeben vermögen. Der Einsatz dieser mathematischen Modelle erlaubt eine Senkung der Dosis und damit eine Optimierung von CT-Protokollen gemäß dem ALARA¹⁾-Prinzip.

2.2 WEITERENTWICKLUNG VON KONZEPTEN ZUR CHARAKTERISIERUNG VON CT-SYSTEMEN

Im ersten Teil des zweiten Arbeitspakets „Definition der Bildqualitätsanforderungen-Auswahl von CT-Protokollen“ wird eine Liste von CT-Protokollen erarbeitet, deren Untersuchung im Rahmen des Vorhabens geplant ist.

3. METHODIK

3.1 LITERATURERECHERCHE

Eine umfassende Literaturübersicht wurde durchgeführt. Die Arbeit wurde durch weitere Ergebnisse der letzten Jahre ergänzt, die auf Methoden basieren, die kompatibel mit nicht-linearen Rekonstruktionsalgorithmen sind.

3.2 BEFRAGUNG VON RADIOLOGEN

Der erste Teil dieses Arbeitspaketes bestand aus einer Befragung erfahrener Radiologen, um die Liste der CT-Protokolle zu erarbeiten, deren Untersuchung im Rahmen des Vorhabens geplant ist.

¹⁾ as low as reasonably achievable

4. DURCHFÜHRUNG

- Durchführung der Literaturrecherche
- Erarbeitung einer Liste zu untersuchender CT-Protokolle

Die Radiologen wurden darum gebeten, wissenschaftliche Publikationen vorzuschlagen, in denen die gewählten Protokolle durch schon optimierte und klinisch angemessene Parametersätze beschrieben sind.

5. ERGEBNISSE

5.1 ERGEBNISSE DER LITERATURRECHERCHE

Die Struktur des Überblicks ist in Abbildung 1 zusammengefasst. Der erste Teil der Arbeit behandelt die herkömmlichen Ansätze zur Bewertung von Bildqualität im Orts- und Fourierraum. Der Text präsentiert dann die mathematischen Modelle menschlichen Betrachtens und andere konventionelle Methoden wie der „Receiver operating characteristics“ (ROC)- und der „m-alternative force choice“ (m-AFC)-Ansatz. Abschließend wird die Theorie erklärt, die linearen mathematischen Betrachtermodellen (ideal und anthropomorph) zu Grunde liegen.

Nach Absprache mit der Redaktion des Journals Physica Medical (europäische Journal für Medizinphysik, EJMP) scheinen die Ergebnisse von AP 1 geeignet für eine Peer-Review Veröffentlichung zu sein. Es ist vorgesehen, einen Entwurf bis Ende März bei EJMP einzureichen.

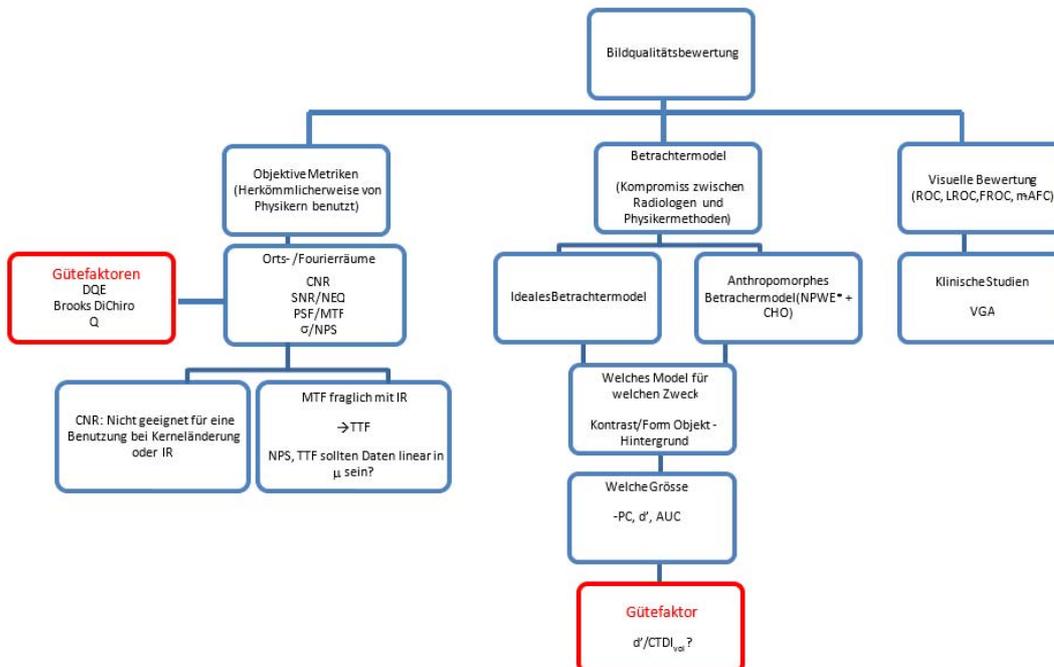


Abbildung 1: Verschiedene Methoden zur Bewertung der Bildqualität von CT-Röntgenaufnahmen

5.2 WEITERENTWICKLUNG VON KONZEPTEN ZUR CHARAKTERISIERUNG VON CT-SYSTEMEN

Die Befragung der Radiologen ergab, dass das pädiatrische Protokoll des Kopfes (5 - 10 Jahre alt) gegenüber dem pädiatrischen Protokoll von CT-Lungenaufnahmen von geringer diagnostischer Bedeutung ist. Die Liste von Untersuchungen Erwachsener wurde ebenfalls überarbeitet:

- Pädiatrische CT des Kopfes (< 1 Jahr alt) - Ventrikelgrößenbestimmung und Schädeltrauma
- Pädiatrische CT des Kopfes (1 - 4 Jahre alt) - Ventrikelgrößenbestimmung und Schädeltrauma

- Erwachsene: CT des Kopfes - Schädeltrauma und degenerative Krankheiten
- Erwachsene: CT des Thorax - Lungenembolie (Kontrast) und bösartiger Lymphknotenkrebs (Kategorisierung), Interstitielle Lungenerkrankung
- Erwachsene: CT des Abdomens - Bauchspeicheldrüsenkrebs (Kontrast) und Harnsteine.

Aus der Diskussion mit den Radiologen ging allerdings hervor, dass in der Regel die in Publikationen beschriebenen Parametersätze nicht auf allgemeinere Fragestellungen an anderen CT-Systemen übertragbar sind. Bezüglich der Bildqualitätskriterien wurde vereinbart, dass die Detektion von Objekten mit Weichteil- und Hartkontrast für die Befundung angemessen sei. Für die Detektion von Hartkontrasten ist die zu detektierende Form zweitrangig, entscheidend ist die Detektion an sich. Daher scheint die Verwendung einer einfachen Scheibe im Modell angemessen zu sein. Für die Prüfung des Detektionsvermögens wird ein Iodscheibchen mit einem Durchmesser von 1 mm verwendet. Die Detektion von Weichteilkontrast ist etwas komplizierter und folgende Situationen sollten bei CT-Protokollen des Abdomens in Betracht gezogen werden:

- Detektion einer Kugel mit einem Durchmesser von 5 mm und einem Kontrast von 50 - 70 HU¹⁾
- Detektion einer Kugel mit einem Durchmesser von 8-10 mm und einem Kontrast von 10 - 15 HU.

Bei Untersuchungen des Thorax will man sich auf die Detektion von Hartkontrast konzentrieren.

Schließlich wurde der Einsatz des „Channelized Hotelling Observer“ (CHO) Modells an zwei anthropomorphen Phantomen vorbereitet. Die wichtigsten Ergebnisse können wie folgt zusammengefasst werden: Die verwendeten Phantome sind geeignet, um die Auflösung von Weichteilkontrasten mit einer begrenzten Anzahl von Aufnahmen bewerten zu können (Einsatz des Catphans, das zur Routine-Qualitätskontrolle am CT verwendet wird). Jedoch ist die Eichung des mathematischen Modells an realen menschlichen Betrachtern mit Hilfe dieser Phantome schwierig. Die Größe der „Region of Interest“ (ROI) ist zu klein, was eine Bildvergrößerung erfordert. Daher wurde ein Phantom speziell für die Eichung von mathematischen Betrachtermo-
dellen mit menschlichen Ergebnissen konzipiert.

6. GEPLANTE WEITERARBEIT

Ein Modul für die Eichung des mathematischen Modells an menschlichen Betrachtern soll erworben werden. Es ist auch vorgesehen, einen Phantomring zu erwerben, um die Bildqualität für dickere Patienten bewerten zu können. Das MITA Head Low Contrast Phantom CCT191 wurde bestellt, um die Bildqualität von Kopfaufnahmen zu bewerten. Diese Instrumente sollten erlauben, die erwarteten Ergebnisse zu erarbeiten.

Eine weitere Priorität wird die Definition von Bildqualitätskriterien sein, die für die Bewertung von CT-Einheiten oder Aufnahmeprotokollen benutzt werden können.

¹⁾ Hounsfield Unit

Thema			
Evaluierung neuer CT-Techniken und Bestimmung der mit ihnen erzielten Strahlenreduktion bei verschiedenen CT-Betreibern in Deutschland			
Subject			
<i>Evaluation of dose reduction and image quality achieved during CT examinations in Germany using modern CT techniques</i>			
Kennzeichen	Beginn	Ende	Fördermittel
3613S20025	01.01.2014	30.06.2015	EUR 259.268,-
Forschungs- / Auftragnehmer			
Institut für Klinische Radiologie, Klinikum der Universität München			
Projektleitung	Fachbetreuung BfS	verantwortlich für den Text	
Prof. Dr. med. C. Becker	Dr. A. Schegerer / AG-SG 2.3	Dr. M. Seidenbusch	

1. ZIELSETZUNG

Ziel der retrospektiven Studie ist die Evaluierung der bei neuen CT-Techniken (automatische Dosismodulation, iterative Bildrekonstruktion, Dual-Energy-CT) unter klinischen Routinebedingungen zu erzielende Reduktion der Patientendosis bei verschiedenen CT-Betreibern in Deutschland.

2. EINZELZIELSETZUNG

2.1 LITERATURRECHERCHE

Anhand einer Literaturrecherche sollte ein Überblick über den derzeitigen Stand von Wissenschaft und Technik in der Computertomographie (CT) gegeben werden. Hierzu sollte die relevante internationale Literatur mindestens der letzten 10 Jahre nach den entsprechenden Themen durchsucht werden.

2.2 DATENAKQUISITION

Ein Ziel der Studie war die Akquisition von mindestens 300 Bilddatensätzen aus etwa 50 verschiedenen radiologischen Einrichtungen. Hierbei sollten CT-Datensätze von Untersuchungen des Schädels, des Thorax, des Abdomens und einer typischen kinderradiologischen Untersuchung erfasst werden, wie sie aufgezeichnet wurden durch:

- CT-Geräte der vorhergehenden Generationen ohne Dosismodulation oder iterative Rekonstruktion
- CT-Geräte mit automatischer Dosismodulation
- CT-Geräte der jüngsten Generation mit Dosismodulation und iterativer Rekonstruktion
- Dual-Energy-CTs .

2.3 ANALYSE VON DOSIS UND BILDQUALITÄT

Zur Illustration der Auswirkung der modernen CT-Techniken auf den Dosisbedarf der CT-Untersuchungen und die Bildqualität der CT-Schnittbilder sollen die erhobenen Bilddatensätze bezüglich ihrer objektiven und subjektiven Bildqualität analysiert und die im Rahmen ihrer Anfertigung beim Patienten applizierten Strahledosen abgeschätzt werden.

3. METHODIK

3.1 LITERATURRECHERCHE

Die Literaturrecherche wurde im Wesentlichen durch die manuelle Durchsicht der einschlägigen Fachzeitschriften vorgenommen.

3.2 DATENAKQUISITION

Unter Zuhilfenahme der Ärztlichen Stellen und einer Internet-Recherche wurden zahlreiche radiologische Einrichtungen in Deutschland identifiziert.

3.3 ANALYSE VON DOSIS UND BILDQUALITÄT

Die Rekonstruktion der im Rahmen der betrachteten CT-Untersuchungen beim Patienten applizierten Strahlendosen erfolgt durch die bundesweit etablierte Dosisrekonstruktions-Software CT-EXPO, Version 2.3.1 (Programmautoren: Dres. G. Stamm und H.-D. Nagel). Die Analyse der Bildqualität der CT-Datensätze erfolgt in Abhängigkeit von der Art der CT-Untersuchung in ausgewählten anatomischen Strukturen.

4. DURCHFÜHRUNG

4.1 LITERATURERECHERCHE

Die ursprünglich geplante Recherche über die allgemein zugänglichen nationalen und internationalen Literaturdatenbanken wie Pubmed, MedPilot, DIMDI, Cochrane IEEE nach den Schlagwörtern „Strahlenexposition“ und „Computertomographie“ (radiation exposure & computed tomography) aus den letzten 10 Jahren erwies sich auf Grund der äußerst zahlreichen Literaturstellen zu diesem Thema und der geringen Spezifität der Suchalgorithmen als nicht effizient. Die Titel und Abstracts wurden entsprechend ihrer Relevanz für das Projekt gesichtet, speziell in Hinblick auf Arbeiten zu CT-Dosisumfragen (CT dose surveys), zur automatischen Dosismodulation (automated exposure control) und zur iterativen Bildrekonstruktion (iterative reconstruction). Wie ein Vergleich mit Übersichtsartikeln zeigte, dürfte auf diese Weise ein repräsentativer Überblick über den Status der internationalen Literatur geschaffen worden sein.

4.2 DATENAKQUISITION

Abweichend von der ursprünglichen Planung wurden die Einrichtungen nicht schriftlich sondern telefonisch kontaktiert. Auswahl und Anonymisierung der Datensätze bzw. die Aufwandsentschädigung wurden in aller Regel persönlich vor Ort bzw. in Barzahlung vorgenommen. Auf diese Weise war eine effiziente Abwicklung der Datenakquisition für alle Beteiligten möglich.

4.3 ANALYSE VON DOSIS UND BILDQUALITÄT

Zur Anbindung von CT-EXPO an die in DICOM¹⁾-Format vorliegenden CT-Bilddatensätze wurde vom Autor ein Algorithmus entwickelt, welcher die im DICOM-Header der Bilddatensätze enthaltene Information unmittelbar an CT-EXPO weiterleitet. Die objektive Bildqualität wurde anhand des Pixelrauschens in weitgehend homogenen anatomischen Strukturen bestimmt.

5. ERGEBNISSE

5.1 LITERATURERECHERCHE

Insgesamt wurden in der internationalen Literatur rund 800 Beiträge mit Bezug zum Thema der Studie aufgefunden. Fachzeitschriften, in welchen eine hohe Zahl von Beiträgen gefunden wurde, werden in Tabelle 1 aufgeführt.

Tabelle 1: Fachzeitschriften mit hoher Anzahl Beiträge

Zeitschrift	Geprüfter Zeitraum*	Anzahl Artikel	Anzahl Artikel (%)
American Journal of Radiology	01/2000 - 03/2014	141	18
Radiation Protection Dosimetry	01/1980 - 03/2014	103	13
European Radiology	01/1991 - 03/2014	77	10
Radiology	01/1998 - 03/2014	71	9
British Journal of Radiology	01/1928 - 03/2014	70	9

¹⁾ Digital Imaging and Communications in Medicine

Zeitschrift	Geprüfter Zeitraum*	Anzahl Artikel	Anzahl Artikel (%)
European Journal of Radiology	01/1990 - 03/2014	54	7
Pediatric Radiology	01/1973 - 03/2014	52	6
Medical Physics	01/1974 - 03/2014	41	5
Fortschritte auf dem Gebiete der Röntgenstrahlen (RöFo)	01/1949 - 03/2014	39	5
Acta radiologica	01/1987 - 03/2014	20	2
Health Physics	01/1999 - 02/2014	18	2
Physics in Medicine and Biology	01/1956 - 03/2014	12	1

* Die im Rahmen der Fragestellung des Projektes irrelevanten Jahrgänge waren bereits in anderem Zusammenhang bezüglich strahlendosimetrischer Themen überprüft worden.

Die Datenbasis enthält derzeit über 600 Beiträge zur Strahlenexposition des Erwachsenen in der CT. Hiervon wurden bisher die in Tabelle 2 aufgeführten Arbeiten den CT-Techniken bzw. den CT-Protokollen näher zugeordnet.

Tabelle 2: Anzahl der Arbeiten über CT-Techniken bzw. CT-Protokolle

Arbeiten	Anzahl allgemein*	Anzahl Pädiatrie*
zu Referenzdosiswerten	89	20
mit dem Charakter einer Übersichtsarbeit	110	20
über Abschirmungsmethoden	31	9
über Röhrenspannungsreduktion	43	6
zur EKG-Triggerung	45	6
zur automatischen Röhrenstrommodulation	57	14
zur iterativen Rekonstruktion	52	5
zu High-Pitch-Verfahren	16	1
zur Dual-Energy-CT	9	0
zur Schädel-CT	23	14
zur Thorax-CT	17	9
zur Abdomen-CT und Becken-CT	13	4
zur CT-Angiographie	100	9

* Auf Grund thematischer Überschneidungen sind Mehrfachnennungen möglich.

5.2 DATENAKQUISITION

Nach Abschluss der Datenakquisition liegen nunmehr weit über 317 CT-Datensätze von über 50 radiologischen Einrichtungen vor. Die zum Berichtszeitpunkt als verwertbar zu betrachtenden Datensätze sind in Tabelle 3 aufgeführt.

Tabelle 3: verwertbare Datensätze

Untersuchungsregion	Konventionell	Röhrenstrommodulation	Iterative Rekonstruktion	Dual-Energy-Technik	Summe
Schädel	37	15	13	2	67
Thorax	8	43	16	3	70
Abdomen	5	43	19	4	71
CTA	6	34	18	5	63
Thorax/Abdomen Kind	4	7	3	2	16
noch unspezifiziert		15	15		30
Summe	60	157	84	16	317

6. GEPLANTE WEITERARBEIT

6.1 LITERATURRECHERCHE

Die Literaturrecherche könnte um den Zeitraum vom Sommer 2014 bis zum Jahresende erweitert werden.

6.2 DATENAKQUISITION

Etwa 3 weitere radiologische Einrichtungen haben zwischenzeitlich ihr Interesse an der Teilnahme an der Studie bekundet. Diese könnten im weiteren Verlauf der Studie noch involviert werden.

6.3 ANALYSE VON DOSIS UND BILDQUALITÄT

Die Analyse von Dosis und Bildqualität ist zum Berichtszeitpunkt noch Gegenstand laufender Untersuchungen. Erste Stichproben lassen vermuten, dass die durch den Einsatz der modernen CT-Techniken in praxi erzielten Dosisreduktionen erwartungsgemäß im Größenordnungsbereich des in der Literatur angegebenen Dosisreduktionspotentials liegen.

Themenbereich 03

Strahlenbiologie - Wirkung von ionisierender und nichtionisierender Strahlung,
Strahlenempfindlichkeit

Subject area 03

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

Thema			
Entwicklung kardiovaskulärer Erkrankungen nach Strahlenexposition mit niedrigen Dosen			
Subject			
<i>Development of cardiovascular diseases after low dose radiation exposure</i>			
Kennzeichen	Beginn	Ende	Fördermittel
3611S30022	01.12.2011	30.04.2015	EUR 469.002,-
Forschungs- / Auftragnehmer			
Helmholtz Zentrum München, Institut für Strahlenschutz, Neuherberg			
Projektleitung	Fachbetreuung BfS	verantwortlich für den Text	
PD Dr. H. Schöllnberger	Dr. A. Dehos / ÄG-SG	PD Dr. H. Schöllnberger	

1. ZIELSETZUNG

Am Institut für Strahlenschutz (ISS) des Helmholtz Zentrums München werden mehrere neue Datensätze zu Erkrankungen bei den Majakarbeitern analysiert, die externer Gamma- und interner Alphastrahlung ausgesetzt waren. Es wird der Einfluss von ionisierender Strahlung auf die Entstehung kardiovaskulärer Erkrankungen untersucht, dabei werden Methoden der empirischen und mechanistischen Modellierung angewendet. Am Institut für Strahlenbiologie (ISB) werden Proteomanalysen von Gewebeproben exponierter Majakarbeiter durchgeführt mit dem Ziel, Marker für die Strahlenexposition zu finden.

2. EINZELZIELSETZUNG

2.1 ZIELE DER DATENANALYSE UND MODELLIERUNGEN AM ISS

- Umstieg auf einen neuen Datensatz mit erweitertem Follow-Up (bis Ende 2008), mit den zusätzlichen Endpunkten Herzinfarkt und Schlaganfall und mit zusätzlichen Kovariablen Bildungsgrad und Surrogat-Dosen
- Analyse der Daten für zerebrovaskuläre Erkrankungen
- Analysen dieser Daten mit einem mechanistischen Modell für Atherosklerose

2.2 PROBENANALYSE AM ISB

In Kooperation mit dem Southern Urals Biophysics Institute (SUBI) werden Gewebeproben aus den Herzen von Majakarbeitern, deren Todesursache eine ischämische Herzerkrankung war, bei der Autopsie gesammelt und am ISB analysiert. Diese Arbeiter waren kumulativen Dosen von <100 mGy, zwischen 100-500 mGy und >500 mGy ausgesetzt. Die Kontrollpersonen haben keine Strahlenbelastung. Die Proben beinhalten Teile des linken Ventrikels und der Koronararterie. Die Proteomuntersuchung wird an allen Proben der Probanden individuell durchgeführt.

2.3 SOUTHERN URALS BIOPHYSICS INSTITUTE

Im Jahr 2014 bestand die Hauptaufgabe des SUBI in der Arbeit an epidemiologischen Datensätzen sowie der Sammlung und dem Transport von biologischen Proben (gefrorenes Gewebe) des menschlichen Herzens zum ISB.

3. METHODIK

3.1 DATENANALYSE UND MODELLIERUNGEN AM ISS

Die Analyse der Daten für zerebrovaskuläre Erkrankungen erfolgte mit derselben Methodik wie bei der bereits durchgeführten Analyse ischämischer Herzerkrankungen (d. h. Verwendung der Individuellen Likelihood, Verwendung aller signifikanten Parameter, Test verschiedener Dosis-Wirkungsbeziehungen und Dosis-Wirkungs-Modifikatoren, Überlagerung der Ergebnisse mittels Multi-Model Inference). Die Qualität der Fits mit dem mechanistischen Modell wurde mit jener der empirischen Modelle verglichen.

3.2 PROTEOMANALYSEN (ISB)

Im November 2014 wurden die zusätzlichen Herzgewebeproben für die Proteomanalyse entgegengenommen. Diese Gewebe stammten von 9 Personen, die sich wie folgt auf die vier Dosisgruppen aufteilten: 2 Personen mit 0 Gy, 2 Personen mit einer Dosis <100 mGy, 2 Personen mit einer Dosis zwischen 100 - 500 mGy und drei Personen mit einer Dosis von >500 mGy. Von diesen 9 Proben stammten 2 von weiblichen und 7 von männlichen Arbeitern. Alle Proben (die jetzigen und auch die früheren) wurden mit Hilfe der markierungsfreien massenspektrometrischen Quantifizierung analysiert, was die Erstellung eines individuellen und unabhängigen Proteomprofils jeder einzelnen Probe ermöglichte. Die Herzlysate aller männlichen Spender wurden auf Basis der Dosen in vier Gruppen wie folgt aufgeteilt: Kontrollgruppe (0 Gy) mit 5 Proben, Dosisgruppe <100 mGy mit 6 Proben, Dosisgruppe zwischen 100 - 500 mGy mit 10 Proben und Dosisgruppe >500 mGy mit 10 Proben (insgesamt 31 Proben).

3.3 EPIDEMIOLOGISCHE DATEN (SUBI)

Die Arbeit mit den epidemiologischen Datensätzen beinhaltete den Vergleich der Daten mit den primären Informationsquellen und die etwaige Korrektur in Bezug auf Vitalstatus, Sterbedatum, Datum und Ursache des Todes, Migrationsdatum, Inzidenz von Kreislauferkrankungen und Risikofaktoren für die Arbeiter aus der Studienkohorte, Stand Ende 2008.

4. DURCHFÜHRUNG

4.1 MODELLIERUNGEN AM ISS

Die Verwendung des neuen Datensatzes erforderte die Anpassung des Computer-Codes.

Ein Schwerpunkt der Analysen war zu testen, ob das sehr unterschiedliche Strahlenrisiko zwischen Inzidenz und Mortalität für zerebrovaskuläre Erkrankungen ein Artefakt der Daten sein kann.

Beim Fit mit dem mechanistischen Modell wurde zur korrekten Beschreibung der Altersabhängigkeit zusätzlich zur stochastischen Lösung auch die Möglichkeit der Parameter-Variabilität in Betracht gezogen. Ferner wurden altersabhängige Modellparameter getestet.

4.2 PROBENAUFBEREITUNG (ISB)

Mit Hilfe eines kürzlich eingeführten Verfahrens zur filtergestützten Probenvorbereitung (filter-aided sample preparation (FASP)), mit dem die Effizienz der Proteinextraktion in der Proteomik verbessert werden kann, wurden die Proben verarbeitet und gereinigt. Die Proben wurden dann einer ESI-LC-MS/MS-Analyse¹⁾ unterzogen und das Proteomprofil wurde unter Verwendung der Progenesis-Software quantifiziert. Schließlich wurden alle Daten in einer Bioinformatik-Analyse mit Software-Tools miteinander kombiniert.

4.3 ARBEITEN AM SUBI

Im Berichtszeitraum wurden zusammen mit dem ISS verschiedene Fragestellungen zu den Datensätzen und Analyseergebnissen bearbeitet. Bei der Entnahme des menschlichen Herzgewebes und der Einfrierprozedur wurde bei der Wahl der möglichen Spender auf die zuvor vereinbarten Ein- und Ausschlusskriterien geachtet. Alle Proben wurden Majakarbeitern entnommen, die im Berichtszeitraum vom 01.01. - 31.12.2014 verstorben waren und deren Angehörige eine Einwilligungserklärung nach den Regeln der SOP²⁾ unterschrieben hatten. Alle für den Versand notwendigen Dokumente wurden vom SUBI vorbereitet und die Proben dann an das ISB verschickt.

5. ERGEBNISSE

5.1 ANALYSEN AM ISS

Der Umstieg auf den neuen Datensatz hatte keinen Einfluss auf die bisherigen Ergebnisse.

Die Analysen der zerebrovaskulären Erkrankungen nach externer Gammabestrahlung führten zu folgenden Ergebnissen:

¹⁾ eine Form der Massenspektrometrie

²⁾ standard operating procedure

- Der Unterschied im beobachteten Strahlenrisiko zwischen Inzidenz und Mortalität kann kein Artefakt des unterschiedlichen Follow-ups sein. Es wird angenommen, dass tatsächlich ein biologischer Unterschied vorhanden ist.
- Für die Inzidenz nimmt das relative Strahlenrisiko mit dem Alter ab.
- Die Dosiswirkungsbeziehung für die Inzidenz zerebrovaskulärer Erkrankungen verhält sich eher quadratisch als linear.

Bei der Analyse verschiedener Endpunkte (bisher betrachtet: Inzidenz von Schlaganfall, Inzidenz und Mortalität für ischämische Herzerkrankungen) hat sich gezeigt, dass das mechanistische Modell bereits mit altersunabhängigen Parametern die Baseline qualitativ gut beschreibt. Eine den deskriptiven Modellen gleichwertige Beschreibung ist ohne Altersabhängigkeit der Parameter jedoch nicht möglich. Die Signifikanz des Dosis-effekts war in dem mechanistischen Modell nicht höher als im deskriptiven.

5.2 PROTEOMVERÄNDERUNGEN (ISB)

Die Quantifizierungsanalyse des Proteoms aus Gewebeproben des linken Ventrikels ergab signifikante Veränderungen der Herzstruktur in allen exponierten Gruppen einschließlich der Gruppe, die der niedrigsten kumulativen Dosis (<100 mGy) ausgesetzt war. Die Ergebnisse deuten jedoch auf einen dosisabhängigen Anstieg des Levels einiger Proteine hin, die im Zusammenhang mit biologischen Signalwegen stehen, von denen man wiederum weiß, dass sie eine Rolle bei kardiovaskulären Erkrankungen spielen. Zu diesen betroffenen Signalwegen gehören die mitochondriale Dysfunktion, die Glukoneogenese, die oxidative Phosphorylierung, das Calcium-Signalling und der Citratzyklus. Das Proteom-Profil der deregulierten Proteine zeigt, dass der Transkriptionsfaktor der peroxisom-proliferator-aktivierten Rezeptoren (PPAR alpha) maßgeblich in allen exponierten Gruppen beeinträchtigt war, aber dass die Zahl der PPAR-alpha-Zielproteine sich dosisabhängig erhöhte. Der Großteil der deutlich veränderten Proteine stand im Zusammenhang mit verschiedenen Herzkrankheiten, einschließlich ventrikulärer Dysfunktion und Herzhypertrophie.

6. GEPLANTE WEITERARBEIT

Am ISS werden die Analysen mit dem mechanistischen Modell für Atherosklerose fortgeführt. Die Proteomik-Daten werden mit Hilfe von Methoden der Bioinformatik weiter analysiert und durch Transkriptomik oder Immunoblotting validiert. Am SUBI werden auch weiterhin biologische Proben gesammelt.

Themenbereich 04
Medizinische Strahlenexposition / Röntgenverordnung

Subject area 04
Medical radiation exposures / X-ray Ordinance

Thema Erfassung der Häufigkeit bildgebender Diagnostik im stationären Bereich			
Subject <i>Assessment of the frequency of diagnostic imaging in the hospital sector</i>			
Kennzeichen 3613S20020	Beginn 01.04.2014	Ende 31.12.2015	Fördermittel EUR 335.735,-
Forschungs- / Auftragnehmer Deutsches Krankenhausinstitut e.V., Düsseldorf			
Projektleitung Dr. M. Offermanns	Fachbetreuung BfS C. Hahn / AG-SG 2.1	verantwortlich für den Text Dr. M. Offermanns	

1. ZIELSETZUNG

Das Ziel des Forschungsvorhabens ist es, aktuelle Daten über die Häufigkeit bildgebender Untersuchungsverfahren im stationären Bereich in Abhängigkeit von der Untersuchungsregion und dem Alter der Patienten zum Zeitpunkt der Untersuchung sowie deren Geschlecht und möglichst auch deren Versicherungsstatus zu erheben.

Im Hinblick auf eine regelmäßige Übermittlung an das Bundesamt für Strahlenschutz ist die Extraktion der Daten aus bestehenden Datenbeständen zu prüfen und nach Möglichkeit dauerhaft zu etablieren.

2. EINZELZIELSETZUNG

Das Vorhaben setzt sich aus verschiedenen Arbeitspaketen zusammen, von denen 2014 zwei Arbeitspakete vollständig abgearbeitet und ein drittes begonnen wurde.

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

Das Arbeitspaket 1 weist folgende Ziele auf:

- Dokumentation, wie und durch wen die im Rahmen der Abrechnung stationärer Leistungen erhobenen Operationen- und Prozedurenschlüssel (OPS-Codes) erfasst werden.
- Prüfung, ob Erhebung und Methodik der „Fallpauschalenbezogenen Krankenhausstatistik“ sowie die dortige Verwendung von OPS-Codes als Datengrundlage einen Vergleich zu den Ergebnissen des auf der Gebührenordnung für Ärzte (GOÄ-Ziffern) basierenden Forschungsprojektes „Erfassung der Häufigkeit bildgebender Diagnostik, insbesondere strahlendiagnostischer Maßnahmen und der Altersverteilung der Patienten“ (Vorhaben: StSch 4326 des BfS) zulassen.

2.2 ENTWICKLUNG MÖGLICHER METHODEN UND LÖSUNGSWEGE (AP 2)

Ziel dieses Arbeitspakets ist die Ermittlung möglicher Methoden und Lösungswege der Datenlieferung durch Krankenhäuser.

2.3 AUSWERTUNGEN (AP 3)

Die Zielsetzung des Arbeitspaketes 3 ist, dem Auftraggeber Daten für die Häufigkeit röntgendiagnostischer Verfahren und alternativer bildgebender Verfahren zur Verfügung zu stellen.

3. METHODIK

In den Arbeitspaketen werden verschiedene Methoden verwendet.

In Arbeitspaket 1 erfolgt eine Literaturanalyse und Auswertung vorhandener Datenquellen.

Das Arbeitspaket 2 sieht zwei verschiedene methodische Ansätze vor. Im Rahmen von Workshops werden relevante Fragestellungen identifiziert und mögliche Lösungswege skizziert. Aussagefähige Krankenhausdaten werden gesammelt.

Auf der Basis der ermittelten aussagekräftigen Krankenhausdaten werden Auswertungen in Abhängigkeit von der Untersuchungsregion und dem Alter und Geschlecht der Patienten durchgeführt.

4. DURCHFÜHRUNG

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

Es wurde eine händische Literaturrecherche in den einschlägigen Fachzeitschriften für den Zeitraum 2004 bis 2014 durchgeführt. Gesucht wurde nach folgenden Stichworten: „Kodierung“, „Dokumentation“, „Verschlüsselung“, „Erfassung von Erkrankungen/Prozeduren“ und „Kodierfachkräfte“.

Im zweiten Arbeitsschritt wurden die relevanten Datenquellen, die GOÄ und die „Fallpauschalenbezogene Krankenhausstatistik“, beschrieben. Daran schloss sich eine Gegenüberstellung der beiden Datenquellen anhand der Gebührenordnungsziffern bzw. der Operationen- und Prozedurenkodes an. Abschließend erfolgte eine Diskussion über die Vor- und Nachteile der beiden Datenquellen.

4.2 ENTWICKLUNG MÖGLICHER METHODEN UND LÖSUNGSWEGE (AP 2)

Es wurden zwei Workshops mit IT-Verantwortlichen von Krankenhäusern bzw. radiologisch tätigen Krankenhausärzten durchgeführt.

Es konnten tiefgegliederte, einzelfallbezogene Daten von 20 Krankenhäusern akquiriert werden, die hinsichtlich der relevanten Fragestellungen die bestmögliche Datenverfügbarkeit gewährleisten. Die Bereitstellung der Daten der Krankenhäuser liefert eine Stichprobe von 1,6 % aller im Jahr 2012 behandelten Krankenhauspatienten.

4.3 AUSWERTUNGEN (AP 3)

Es wurde mit den Auswertungen der Daten nach Alter, Geschlecht und Untersuchungsregion begonnen.

5. ERGEBNISSE

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

Die Erhebung und Methodik der „Fallpauschalenbezogenen Krankenhausstatistik“ sowie die dort verwendete Datengrundlage lassen nur einen eingeschränkten Vergleich zu den Ergebnissen des BfS-Forschungsprojekts zu. Es gibt deutliche Einschränkungen im Hinblick auf die Leistungen des konventionellen Röntgens, die gemäß den Deutschen Kodierrichtlinien nicht als OPS-Codes verschlüsselt werden, da sich ihr Aufwand in der Diagnose oder in den anderen angewendeten Prozeduren widerspiegelt.

Auf der anderen Seite ist die Aufschlüsselung der GOÄ-Ziffern nach anatomischen Gesichtspunkten - wie sie z. B. von der europäischen Arbeitsgruppe DOSE DATAMED (www.ddmed.eu/_media/background_of_dm1:rp154.pdf) empfohlen wird - in vielen Fällen nicht oder nur unter Zuhilfenahme von Annahmen und Modellen möglich. Eine 1:1-Übersetzung in die Aufschlüsselung gemäß OPS-Codes ist demnach nur begrenzt möglich.

5.2 ENTWICKLUNG MÖGLICHER METHODEN UND LÖSUNGSWEGE (AP 2)

Die Workshops haben gezeigt, dass eine routinemäßige Nutzung von Radiologieinformationssystemen sehr schwierig ist.

Eine Alternative ist die Nutzung von Daten von Krankenhäusern, die am so genannten Kalkulationsverfahren teilnehmen. Die jährliche Pflege und Weiterentwicklung des zur Leistungsabrechnung stationärer Krankenhausleistungen verwendeten Fallpauschalen-Systems (German Diagnosis Related Groups, kurz G-DRG-System) basiert auf den Kosten- und Leistungsdaten einer Stichprobe deutscher Krankenhäuser. Die Erfassung der Leistungsdaten erfolgt nach einem einheitlichen Schema. Die Teilnahme an der Kalkulation ist freiwillig. Die Kalkulationsdaten sind fallbezogen und sehr differenziert. Die einheitliche Vorgehensweise garantiert eine Vergleichbarkeit der Daten. Im Rahmen dieses Kalkulationsverfahrens werden einzelfallbezogene Daten der Radiologie auf der Basis von GOÄ-Ziffern und OPS-Codes erfasst.

6. GEPLANTE WEITERARBEIT

Die Auswertungen der Daten der 20 Kalkulationskrankenhäuser werden entsprechend den Vorgaben vorgenommen.

Bei den Psychiatrischen Fachkliniken sowie den Vorsorge- und Rehabilitationseinrichtungen wird im 1. Quartal eine Stichprobenerhebung durchgeführt. Ziel dieser Erhebung ist die Ermittlung der bildgebenden Diagnostik in diesen Einrichtungen.

Themenbereich 06
Notfallschutz

Subject area 06
Emergency management

Thema

Bewertung und Prognose der Weiterentwicklung eines radiologisch relevanten Ereignisses in einer kerntechnischen Anlage mit Hilfe der Abschätzung von Quelltermen auf Grundlage von Messdaten in der Umgebung

Subject

Assessment and forecast of the development of a radiological incident in a nuclear facility using the estimation of source terms based on measured data in the vicinity

Kennzeichen
3612S60026

Beginn
01.03.2013

Ende
30.09.2015

Fördermittel
EUR 514.913,-

Forschungs- / Auftragnehmer

TÜV SÜD Industrie Service GmbH,
Norwegian Institute for Air Research (NILU)

Projektleitung
Dr. S. Thummerer

Fachbetreuung BfS
N. Zander / SW 2.2

verantwortlich für den Text
Dr. C. Wallner
Dr. S. Thummerer

1. ZIELSETZUNG

Die Schutzmaßnahmen für die Bevölkerung bei einem radiologisch relevanten Ereignis in der Umgebung von kerntechnischen Anlagen basieren entweder auf möglichst zuverlässigen Abschätzungen von Quelltermen in Verbindung mit (auch prognostischer) Ausbreitungsmodellierung oder/und auf bereits gemessenen radiologischen Daten während oder nach dem Durchzug der radioaktiven Wolke. Beim Fehlen von Quellterminformationen - wie es beim Fukushima-Ereignis der Fall war - können kaum Rückschlüsse auf den Anlagenzustand gezogen werden, wodurch auch weitere prognostische Aussagen zu möglichen Freisetzungen in die Umgebung erschwert sind.

Für behördliche Entscheidungen ist die Kenntnis des Anlagenzustandes und seiner möglichen weiteren Entwicklung, insbesondere möglicher weiterer Freisetzungen radioaktiver Stoffe und deren Ausbreitung in der Umgebung, von erheblicher Bedeutung; sie soll durch das im Rahmen des Vorhabens zu erarbeitende Verfahren verbessert werden.

2. EINZELZIELSETZUNG

Wesentliches Ziel des Vorhabens ist die Erarbeitung eines inversen Berechnungsverfahrens, mit dem aus zeitabhängigen Eingabedaten ein Quellterm abgeschätzt werden kann, der eine belastbare Basis zur Beurteilung des aktuellen Anlagenzustands bildet. Entsprechend den Vorgaben für das Vorhaben wird bei der Entwicklung des Verfahrens internationales Vorgehen auf dem Gebiet recherchiert und dargestellt. Vorliegende Erfahrungen aus dem Fukushima-Ereignis werden berücksichtigt.

2.1 ABSCHÄTZUNG EINES QUELLTERMS AUF DER GRUNDLAGE VON VORLIEGENDEN RADIOLOGISCHEN MESSDATEN (AP 1)

Ziel von Arbeitspaket (AP) 1 ist die Entwicklung des inversen Verfahrens zur Abschätzung eines Quellterms auf Basis von vorliegenden radiologischen Messdaten.

2.2 AUSSAGEN ZUM ANLAGENZUSTAND ZUR PROGNOSTIZIERUNG WEITERER FREISETZUNGEN (AP 2)

Im Rahmen des Arbeitspakets 2 sind diejenigen Quelltermparameter zu identifizieren, die eine Diagnose des Anlagenzustandes ermöglichen und eine Prognostizierung der weiteren Freisetzung zulassen, sowie deren Randbedingungen zu spezifizieren.

2.3 NACHWEIS DER ZUVERLÄSSIGKEIT DES VORGESCHLAGENEN VERFAHRENS (AP 3)

Im Arbeitspaket 3 soll die Zuverlässigkeit des in den Arbeitspaketen 1 und 2 entwickelten Verfahrens durch die Anwendung des Verfahrens mit hypothetischen Messdatenpaketen für eine Referenzanlage und mittels Sensitivitätsstudien gezeigt werden.

2.4 ERSTELLUNG EINES HANDBUCHS ZUR NUTZUNG DES VORGESCHLAGENEN VERFAHRENS SOWIE DURCHFÜHRUNG EINER SCHULUNG (AP 4 UND 5)

Im Rahmen des Arbeitspaketes 4 erfolgt die Erstellung eines Handbuchs zur Nutzung des vorgeschlagenen Verfahrens, anhand derer die Mitarbeiter des BfS in der Anwendung des entwickelten Verfahrens geschult werden sollen.

3. METHODIK

Die Eingabedaten des inversen Verfahrens setzen sich aus drei unabhängigen Datensätzen zusammen:

- zeitabhängige Ergebnisse von Messungen der Dosisleistung oder der nuklidspezifischen Aktivitätskonzentrationen in der Luft oder am Boden in der Umgebung der emittierenden Anlagen
- geschätzter Quellterm (sog. a priori-Quellterm), der aus ggf. bekannten Randbedingungen abgeleitet werden kann (sogenannte a priori-Daten)
- zeitliche Entwicklung der meteorologischen Parameter ab dem vermuteten Beginn der Emission radioaktiver Stoffe aus der betroffenen Anlage.

Aus den Datensätzen wird mit Hilfe von atmosphärischer Ausbreitungsrechnung und einem Bayes-Verfahren ein genauere a posteriori-Quellterm ermittelt.

Dieser a posteriori-Quellterm wird dann mit Modellquelltermen verglichen, die bestimmte anlagenspezifische Szenarien nachbilden, um diejenigen Szenarien zu identifizieren, welche die beste Übereinstimmung mit dem a posteriori-Quellterm aufweisen. Dieses Verfahren erlaubt eine abschätzende Diagnose des Anlagenzustandes, aus der dann ein Prognose-Quellterm für die Beurteilung der radiologischen Lage abgeleitet wird.

4. DURCHFÜHRUNG

Im Jahr 2014 erfolgten im Wesentlichen Arbeiten zu den Arbeitspaketen 1b, 1c und 2.

4.1 INVERSE MODELLIERUNG EINES QUELLTERMS AUS NUKLIDSPEZIFISCHEN MESSDATEN (AP 1B)

Innerhalb des Arbeitspaketes 1b erfolgte die Implementierung einer inversen Methode zur Bestimmung des Quellterms anhand eines Bayes-Verfahrens. Das Programm basiert auf einem bereits bestehenden und erfolgreich angewendeten Verfahren und wurde für das laufende Projekt angepasst und erweitert. Dateiformate zur Übergabe der Beobachtungsdaten, Transportmodellierungen sowie der Quellterme wurden definiert und die I/O Schnittstellen des Programms entsprechend angepasst.

4.2 ABSCHÄTZUNG EINES QUELLTERMS AUS ODL-DATEN (AP 1C)

Um die Abschätzung des Quellterms aus ODL-Messdaten zu ermöglichen, wurde das Programm um ein Modul erweitert, welches ODL-Daten zur Verwendung der inversen Modellierung berücksichtigt. Um die ODL-Messdaten verwenden zu können, werden in erster Näherung Nuklidspektren des a priori-Quellterms verwendet.

4.3 AUSSAGEN ZUM ANLAGENZUSTAND ZUR PROGNOSTIZIERUNG WEITERER FREISETZUNGEN (AP 2)

Im Rahmen der Arbeiten zum AP 2 erfolgte die weitgehende Fertigstellung und Dokumentation des Programmmoduls, welches den a posteriori-Quellterm mit den hinterlegten anlagenspezifischen Modellquelltermen vergleicht und daraus eine abschätzende Diagnose des Anlagenzustandes durchführt sowie einen Prognose-Quellterm ausgibt.

5. ERGEBNISSE

5.1 INVERSE MODELLIERUNG EINES QUELLTERMS AUS NUKLIDSPEZIFISCHEN MESSDATEN (AP 1B)

Im Jahr 2014 wurden erste Testläufe des Inversionsprogramms und Sensitivitätsstudien ausgehend von einem hypothetischen Testfall erstellt. Hierzu wurden nuklidspezifische Messungen mit Hilfe des FLEXPART-Transportmodells an ausgewählten Standorten im Umkreis der Anlage modelliert. Die Sensitivitätsstudien umfassten Modelltests, um die Sensitivität des Modells gegenüber diversen Bedingungen wie Anzahl der Messungen und Unsicherheiten von Beobachtungen, Modellen und a priori-Quelltermen zu testen.

5.2 ABSCHÄTZUNG EINES QUELLTERMS AUS ODL-DATEN (AP 1C)

Innerhalb des AP 1c wurden das ODL-Modul implementiert und im Inversionsprogramm eingefügt sowie erste Tests zur Lauffähigkeit des Inversionsprogramms mit dem ODL-Modul durchgeführt.

5.3 AUSSAGEN ZUM ANLAGENZUSTAND ZUR PROGNOSTIZIERUNG WEITERER FREISETZUNGEN (AP 2)

Mit dem Programmmodul zur Analyse des a posteriori-Quellterms und zur Ausgabe des Prognose-Quellterms wurden erste Testanalysen unter Verwendung von hypothetischen Emissionsverläufen durchgeführt. Erste Vorarbeiten zur Implementierung von Emissionsverläufen aus vorliegenden Unfallanalysen wurden fertiggestellt.

6. GEPLANTE WEITERARBEIT

Im Jahr 2015 werden anhand vom BfS modellierten ODL-Messdaten Sensitivitätsstudien der Inversionsmethode mit dem ODL-Modul im Rahmen des AP 1c (Abschätzung eines Quellterms aus ODL-Daten) durchgeführt. Zusätzlich ist die Fertigstellung des AP 2 (Aussagen zum Anlagenzustand) und die Bearbeitung und Fertigstellung des AP 3 (Nachweis der Zuverlässigkeit des Verfahrens) geplant. Mit AP 4 (Erstellung eines Handbuchs zur Nutzung des vorgeschlagenen Verfahrens) und 5 (Durchführung einer Schulung) soll das Forschungsvorhaben abgeschlossen werden.

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</i>			
Kennzeichen 3612S20001	Beginn 01.11.2012	Ende 30.09.2015	Fördermittel EUR 377.250,-
Forschungs- / Auftragnehmer			
Gesellschaft für Anlagen- und Reaktorsicherheit (GRS) mbH			
Projektleitung Dr. T. Stahl	Fachbetreuung BfS Dr. G. Frasch / AG-SG 2.4		verantwortlich für den Text Dr. T. Stahl

1. ZIELSETZUNG

Eine optimierte Arbeitsplanung und -durchführung und die systematische Auswertung gemachter Erfahrungen kann bei Tätigkeiten in kerntechnischen Anlagen, insbesondere in Kernkraftwerken in Betrieb, Nachbetrieb und Stilllegung, zu beträchtlichen Dosisersparungen führen. Um entsprechende Methoden hierzu weiterentwickeln zu können, sind detaillierte Kenntnisse der Expositionsursachen und deren gegenseitiger Abhängigkeiten unabdingbare Voraussetzungen. 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 des 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 sollen, sowie nationale und internationale Erfahrungen zum beruflichen Strahlenschutz. Auf Grundlage der Analyse der gesammelten Informationen werden Vorschläge zur Optimierung der Arbeitseinsätze und verwendeten Arbeitsmittel insbesondere bei wiederkehrenden Prüfungen und bei typischen Arbeitsschritten in der Kerntechnik 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.

Im Nachgang zum kerntechnischen Unfall von Fukushima im März 2011 wurden weltweit verschiedene Initiativen begonnen, um entsprechende Ereignisse künftig zu vermeiden bzw. die radiologischen Folgen so gering wie möglich zu halten. Während sich viele Initiativen auf Maßnahmen des anlageninternen und anlagenexternen Notfallschutzes bezogen, gründete das *ISOE* Ende 2011 eine Expertengruppe (*Expert Group on Occupational Radiation Protection in Severe Accident Management and Post-Accident Recovery – EG-SAM*), die sich mit Fragestellungen des Strahlenschutzes des Personals während kerntechnischer Unfälle beschäftigt. Auf Grund der herausgehobenen Bedeutung dieser Fragestellungen auch für deutsche Kernkraftwerke werden die im Vorgängervorhaben begonnenen Arbeiten in der *ISOE EG-SAM* fortgesetzt.

2. EINZELZIELSETZUNG

Die übergeordneten Zielsetzungen des Vorhabens werden durch die Bearbeitung der nachstehenden, miteinander verknüpften Einzelziele umgesetzt.

2.1 SAMMLUNG, AUFBEREITUNG UND DOKUMENTATION DER TÄTIGKEITSBEZOGENEN STRAHLENEXPOSITION DES EIGEN- UND FREMDPERSONALS IN KERNTÉCHNISCHEN ANLAGEN DEUTSCHLANDS

Für deutsche kerntechnische Anlagen werden 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 2011, 2012 und 2013 erhoben, aufbereitet und in jährlichen Berichten dokumentiert. Die zu erhebenden 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 ANALYSE TÄTIGKEITSBEZOGENER EXPOSITIONSDATEN

Anhand der Informationen und Daten werden die Zusammenhänge zwischen der beruflichen Strahlenexposition und den sie beeinflussenden Faktoren untersucht und die Möglichkeiten der Reduktion der Strahlenexposition dargestellt. Schwerpunkt der Analyse sind die einzelnen durchgeführten Tätigkeiten und die sie begleitenden technischen und arbeitsorganisatorischen Strahlenschutzmaßnahmen. Soweit im Hinblick auf Fragen der Optimierung und Dosisreduzierung sinnvoll, werden hierbei Teilaspekte der durchgeführten Tätigkeiten im Detail analysiert.

2.3 VERGLEICH DER ERGEBNISSE AUF NATIONALER UND INTERNATIONALER EBENE

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

2.4 BEWERTUNG DER TÄTIGKEITSBEZOGENEN EXPOSITIONSDATEN UND ABLEITUNG VON VORSCHLÄGEN ZUR OPTIMIERUNG DER ARBEITSEINSÄTZE UND ARBEITSMITTEL

Auf der Basis der erhobenen Daten sollen Vorschläge zur Optimierung der Arbeitseinsätze und der Arbeitsmittel, insbesondere bei wiederkehrenden Prüfungen und bei typischen Arbeitsschritten der Stilllegung, erarbeitet werden.

2.5 MAßNAHMEN DES BERUFLICHEN STRAHLENSCHUTZES BEI KERNTÉCHNISCHEN UNFÄLLEN

Im internationalen Dialog, insbesondere im Rahmen der Mitarbeit in der Expertengruppe *EG-SAM* des *ISOE*, sollen bisherige Maßnahmen zum beruflichen Strahlenschutz bei kerntechnischen Unfällen und in der sich hieran anschließenden Phase erfasst, analysiert und etwaiges Verbesserungspotential identifiziert werden. Die Ergebnisse sollen in den nationalen Erfahrungsaustausch einfließen und für die deutschen Anlagen aufbereitet werden. Im Gegenzug sind regulatorische Ansätze in Deutschland und Vorgehensweisen in der Praxis der deutschen Kernkraftwerke in die Expertengruppe einzubringen.

3. METHODIK

3.1 METHODIK ZUR UNTERSUCHUNG DER BERUFLICHEN STRAHLENEXPOSITION IN KERNTÉCHNISCHEN ANLAGEN

Die Daten zur Fortschreibung der Zeitreihen für Kernkraftwerke werden mit Hilfe des Datenerfassungssystems des *ISOE* erhoben. Darüber hinaus werden für Teilbereiche die Daten aus weiteren Quellen und durch ergänzende Anfragen bei den jeweiligen Anlagen angereichert. Die bei der Auswertung und Analyse gewonnenen Ergebnisse werden für die verschiedenen Themenbereiche in Berichten dokumentiert. Die in Abschnitt 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.

3.2 METHODIK ZU DEN MAßNAHMEN DES BERUFLICHEN STRAHLENSCHUTZES BEI KERN-TECHNISCHEN UNFÄLLEN

Grundlage für die Bearbeitung der Zielsetzung sind im Wesentlichen die Teilnahme an den Sitzungen der *ISOE-Expertengruppe EG-SAM* sowie die Ermittlung deutscher Vorgehensweisen.

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. Für Kernkraftwerke in Betrieb und Stilllegung werden die *ISOE-Datenerfassungssoftware* und für die Anlagen der Ver- und Entsorgung standardisierte Datenerfassungsbögen eingesetzt, die im Rahmen früheren 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.

4.2 MASSNAHMEN DES BERUFLICHEN STRAHLENSCHUTZES BEI KERNTÉCHNISCHEN UNFÄLLEN

Unter Beteiligung der GRS wurden im Spätherbst 2011 die Zielsetzungen der *ISOE-Expertengruppe EG-SAM* ausgearbeitet und die Arbeitsgruppe mit Zustimmung des Leitungsgremiums des *ISOE*, dem *ISOE Management Board*, Ende 2011 gegründet. Seitdem wurde kontinuierlich an den Arbeitssitzungen teilgenommen. Zur Vorbereitung deutscher Beiträge zu den unterschiedlichen Kapiteln des geplanten *EG-SAM*-Berichtes wurden Arbeitsgespräche zwischen den deutschen Vertretern in der Expertengruppe durchgeführt und fachliche Beiträge zum Bericht geliefert. Gleichzeitig wurde die redaktionelle Zuständigkeit des Kapitels „Overall Approach of Worker Protection“ übernommen.

5. ERGEBNISSE

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

5.1 SAMMLUNG, AUFBEREITUNG UND DOKUMENTATION DER TÄTIGKEITSBEZOGENEN STRAHLENEXPOSITION DES EIGEN- UND FREMDPERSONALS IN KERNTÉCHNISCHEN ANLAGEN DEUTSCHLANDS

Die langjährigen Zeitreihen liegen nunmehr bis 2013 vor. Die nach Abschnitt 2.1 vorgesehenen Jahresberichte mit Übersichten über die berufliche Strahlenexposition in deutschen Kernkraftwerken bis zum Jahr 2013 befinden sich in der Erstellung und mit dem kombinierten Bericht zur beruflichen Strahlenexposition in Anlagen der Ver- und Entsorgung für die Jahre 2012 und 2013 wurde begonnen. Die Berichte sind nicht öffentlich zugänglich.

5.2 ANALYSE TÄTIGKEITSBEZOGENER EXPOSITIONSDATEN

Mit der Auswertung der Daten des Expositionsjahres 2013 wurde begonnen. Diese werden gemeinsam mit den Auswertungen zu den Daten 2011 bis 2013 im Jahr 2015 dokumentiert.

5.3 VERGLEICH DER ERGEBNISSE AUF NATIONALER UND INTERNATIONALER EBENE

Der Vergleich der Expositionen auf internationaler Ebene wurde unter Nutzung der Daten des Jahres 2012 fortgeschrieben. Auf dem europäischen *ISOE*-Symposium in Bern wurden die Entwicklungen der letzten Jahre bezüglich der beruflichen Strahlenexposition in deutschen Kernkraftwerken, die sich im Leistungs-, im Nachbetrieb und in Stilllegung befinden, eingebracht. Insbesondere wurde auf die in 2011 abgeschalteten Anlagen eingegangen.

5.4 BEWERTUNG DER TÄTIGKEITSBEZOGENEN EXPOSITIONSDATEN UND ABLEITUNG VON VORSCHLÄGEN ZUR OPTIMIERUNG DER ARBEITSEINSÄTZE UND ARBEITSMITTEL

Die Bewertung wurde 2014 fortgesetzt.

5.5 MAßNAHMEN DES BERUFLICHEN STRAHLENSCHUTZES BEI KERNTECHNISCHEN UNFÄLLEN

Im Sommer 2014 wurde im Rahmen der *ISOE* Expertengruppe *EG-SAM* ein internationaler Workshop durchgeführt, um den 2013 erstellten Zwischenbericht zu finalisieren. Mit Bestätigung und Verabschiedung des fertiggestellten Berichtes durch das *ISOE* Management Board Ende 2014 wurde die Arbeit in der Arbeitsgruppe *EG-SAM* abgeschlossen.

6. GEPLANTE WEITERARBEIT

Für das Jahr 2015 ist der Beginn der Datensammlung für das Jahr 2014 und die Fortführung der jährlichen Berichterstattung zur Strahlenexposition in kerntechnischen Anlagen, hier mit Schwerpunkt auf dem Jahr 2013, vorgesehen. Ebenso wird die Mitarbeit in den Gremien und Arbeitsgruppen des *ISOE* fortgesetzt. Insbesondere ist seitens *ISOE* derzeit vorgesehen, im Frühjahr 2015 eine neue Expertengruppe zu gründen, die sich speziell mit Fragestellungen der Stilllegung von Kernkraftwerken befassen soll (*ISOE Working Group on Radiological Protection Aspects of Decommissioning Activities at Nuclear Power Plants – WG-DECOM*). Durch die beabsichtigte Teilnahme sollen deutsche Erfahrungen in den internationalen Erfahrungsaustausch und umgekehrt internationale Erfahrungen in den deutschen Erfahrungsaustausch eingebracht werden.

Thema

Optimierung der Empfehlungen zu UV-Strahlung und Vitamin-D-Status durch wissenschaftliche Erfassung alltagsrelevanter Einflüsse auf die Realisierung eines optimalen Vitamin-D-Status bei minimierter solarer UV-Exposition

Subject

Optimisation of recommendations to the public on UV radiation and vitamin D status by investigation of everyday life related influences in realisation of an optimal vitamin D status by minimisation of solar UV radiation

Kennzeichen
3612S70026

Beginn
01.06.2013

Ende
31.05.2015

Fördermittel
EUR 298.489,-

Forschungs- / Auftragnehmer

Technische Universität Dresden, Medizinische Fakultät, Klinik und Poliklinik für Dermatologie

Projektleitung
P. Knuschke

Fachbetreuung BfS
Dr. C. Baldermann / AG-SG 1.5

verantwortlich für den Text
P. Knuschke

1. ZIELSETZUNG

Ziel des Forschungsvorhabens (FV) ist es, aufbauend auf den Ergebnissen des abgeschlossenen FV 3607S04538 unterschiedliche Aspekte der Vitamin-D-Bildungsrate zu betrachten. Untersucht werden Einflussgrößen auf den Vitamin-D-Status im Jahresverlauf und des Weiteren beeinflussende Faktoren auf die Vitamin-D-Bildungswirkung (unter anderem bei unterschiedlicher Fraktionierung der UV-Exposition, bei unterschiedlich hohem UV-A-Anteil in der UV-Strahlung und bei täglicher Nutzung von Creme mit UV-Schutz). Die durch die Ergebnisse verbesserte derzeitige wissenschaftliche Datenlage soll dazu beitragen, die bestehenden Empfehlungen für einen gesundheitsfördernden Schutz vor den negativen Wirkungen solarer UV-Strahlung und die Empfehlungen zur individuellen Verbesserung des ganzjährigen Vitamin-D-Status unter Alltagsbedingungen zu optimieren.

2. EINZELZIELSETZUNG

Folgende Einzelziele werden in Arbeitspaketen bearbeitet:

2.1 AUFARBEITUNG DES RELEVANTEN STANDES VON WISSENSCHAFT UND TECHNIK

Aufbauend auf der „Ausführlichen Literaturstudie 2007/2008“ und dem „Wissenschaftlichen und technischen Stand - Update 2011“ aus FV 3607S04538 wurde eine erweiterte Literaturstudie 2014 vorgenommen.

2.2 AUSWAHL GEEIGNETER PROBANDEN

Die Auswahl erfolgt unter Berücksichtigung des Geschlechts, des Alters, des Gesundheitszustandes und des Hauttyps (Hauttyp 2 und/oder 3). Ausschlusskriterium ist u. a. Solariennutzung - ausgenommen der Teilstudien zum Einfluss von Solariennutzung im Winterhalbjahr. Eine hautärztliche Eingangsuntersuchung stellt sicher, dass ausschließlich hautgesunde freiwillige Teilnehmer einbezogen werden. Sie dürfen keine Medikamente einnehmen, die den Vitamin-D-Stoffwechsel beeinflussen können. Weiterhin sind Medikamente in Verbindung mit den UV-Bestrahlungen ein Ausschlusskriterium, die phototoxische bzw. photosensibilisierende Reaktionen auslösen können. Vor den UV-Bestrahlungen erfolgt für jeden Probanden darüber hinaus eine photodiagnostische UV-Empfindlichkeitstestung.

2.3 ERSTELLEN VON FRAGEBÖGEN

Über Fragebögen werden Aspekte erfasst, die auf den Vitamin-D-Ausgangsstatus der Probanden in der Zeit vor Beginn der einzelnen Teilstudien Einfluss haben, wie typische Aufenthaltszeiten im Freien nebst Bekleidungsstatus, Nutzung von Sonnenschutzcremes, Urlaubsverlauf und Ernährungsgewohnheiten. Während der Teilstudien in den Wintermonaten wird der Fischkonsum dokumentiert. Die Daten werden in Datenbanken erfasst, die dazu eigens programmiert werden, bzw. in vorhandenen Datenbanken erfasst, die entsprechend angepasst werden.

2.4 EXPERIMENTELLE STUDIEN ZUM EINFLUSS NATÜRLICHER (SOLARER) UND KÜNSTLICHER UV-STRAHLUNG AUF DAS AUSMAß DER VITAMIN-D-BILDUNG

- Studie A: Untersuchung der Additivität von effektiven UV-Dosen bezüglich der Vitamin-D-Bildungswirkung durch unterschiedlich fraktionierte UV-Expositionen bei gleicher UV-Gesamtdosis über zwei Wochen:
 - Studie A.1: Gesicht und Hände mit $9 \times 0,133 \text{ MED}^1$) bzw. $4 \times 0,3 \text{ MED}$ bzw. $2 \times 0,6 \text{ MED}$
 - Studie A.2: Ganzkörper mit $9 \times 0,133 \text{ MED}$ bzw. $4 \times 0,3 \text{ MED}$ bzw. $2 \times 0,6 \text{ MED}$
 - Studie A.3: Gesicht und Hände mit $9 \times 0,33 \text{ MED}$ bzw. $4 \times 0,75 \text{ MED}$
- Studie B: Untersuchung von Vitamin-D-Destruktion gegenüber Vitamin-D-Bildung durch UV-Strahlung, insbesondere im UVA-2-Bereich (315 nm - 340 nm)
- Studie C: Untersuchung des Vitamin-D-Status im Jahresverlauf bei:
 - Studie C.0: orientierende Voruntersuchung für Studien C.1 und C.2 zum Vitamin-D-Status bei Nutzern von $0,3 \text{ W/m}^2$ -Solarienstrahlergeräten im Winterhalbjahr
 - Studie C.1 und C.2: Personen mit Solariennutzung (UV-Typ 2 bzw. 3; s. u.) im Winterhalbjahr
 - Studie C.3: Personen (ganzjährig nördlich der Alpen) bei oraler Vitamin-D-Einnahme im Winterhalbjahr
 - Studie C.4: Sommerurlauber am Strand im Süden
 - Studie C.5: beruflich Außenbeschäftigte
 - Studie C.6: Personen (ganzjährig nördlich der Alpen, keine Vitamin-D-Präparate, keine Solariennutzung) - Vergleichsgruppe
- Studie D: Untersuchung des Einflusses von Tagescreme mit UV-Schutz auf die Vitamin-D-Bildung:
 - Studie D.1: Vitamin-D-Bildung nach UV-Exposition mit je $9 \times 0,33 \text{ MED}$ auf Gesicht und Hals:
 - D.1.1: bei DIN-normgerechter Cremeauftragsdicke
 - D.1.2: bei alltagstypischer Auftragsdicke für Tagescreme
 - D.1.3: ohne Cremeauftrag
 - Studie D.2: Vitamin D Status bei unbestrahlter Kontrollgruppe (Bestimmung der Basislinie)
 - Studie D.3: Wiederholungsstudie zur Validierung von D.1.2 und D.1.3.
 - D.3.1: Gesichtshaut ohne Creme
 - D.3.2: alltagstypische Auftragsdicke.

2.5 AUSARBEITUNG VON DIFFERENZIIERTEN EMPFEHLUNGEN FÜR DIE BEVÖLKERUNG ZU AUFENTHALTSZEITEN IM FREIEN

Basierend auf dem aktuellen Stand des Wissens bezüglich des anzustrebenden individuellen Vitamin-D-Status sowie den Ergebnissen der Probandenstudien dieses Forschungsvorhabens werden Verhaltensempfehlungen bezüglich der UV-Exposition für einzelne Bevölkerungsgruppen erarbeitet.

3. METHODIK

3.1 SOLAR SIMULIERTE UV-EXPOSITION UND VITAMIN-D-STATUS (STUDIEN A, B, D)

In jede der einzelnen Teiluntersuchungen der Studien A, B, D werden jeweils $n = 20$ Probanden einbezogen. Der verwendete UV-Strahlertyp Arimed-B entspricht in Spektrum und Intensität gut dem mitteleuropäischen Mittagssonnenspektrum im Sommer. In Studie B kommt darüber hinaus eine UV-Quelle zum Einsatz mit deutlich höherem erythem-wirksamen Strahlungsanteil im UV-A-Bereich (UV-A: 56,2 %, UV-B: 43,8 %), verglichen mit der o. g. simulierten Solarstrahlung (UV-A: 20,0 %, UV-B: 80,0 %). Es erfolgen sub-erythematische UV-Teilkörperbestrahlungen auf das Gesicht bzw. Gesicht und Hände oder Ganzkörperexpositionen. Als repräsentativ für den Vitamin-D-Status wird das 25OH-Vitamin D_3 (25OHD₃) im Serum unmittelbar vor der ersten UV-Bestrahlung sowie 24 Stunden nach der letzten Exposition eines Bestrahlungszyklus mittels direktem

¹⁾ minimale Erythemdosis

kompetitivem Chemolumineszenz-Immunoassay (CLIA) bestimmt. In Studie D.1 erfolgt vor den UV-Bestrahlungen entweder die Applikation einer Gesichtspflegecreme mit Lichtschutzfaktor (LSF) 15 prüfnorm-gerecht mit 2 mg/cm² auf Gesicht und Hals (D.1.1), anwendungsgerecht dünn mit 0,27 mg/cm² (D.1.2) oder es erfolgt kein Cremeauftrag (D.1.3). In der wiederholenden Zusatzuntersuchung D.3 erfolgt zuerst unter D.3.1 kein Cremeauftrag und unter D.3.2 dann ein anwendungsgerecht dünner Cremeauftrag.

3.2 VITAMIN-D-STATUS IM JAHRESVERLAUF (STUDIE C MIT TEILSTUDIEN C.1 BIS C.6)

In fünf Gruppen nicht im Freien beschäftigter Personen (je n = 20) wird der Jahresverlauf des 25OHD₃-Status über zwei Winter und den eingeschlossenen Sommer an sieben Kontrollterminen (Jan./Mrz./Mai/Sep. 2014 und Jan./Mrz./Mai 2015) bestimmt. Untersucht wird der Einfluss:

- in C.1 und C.2 der Nutzung von zwei vermessenen Solariengeräten im Winterhalbjahr 2014/15 in einem Sonnenstudio mit einem Gerät des UV-Typs 2 (mit UV-B- und besonders hoher UV-A-Wirksamkeit) bzw. des UV-Typs 3 (mit UV-B- und UV-A-Wirksamkeit bei begrenzter Intensität über beide UV-Bereiche)
- in C.3 von täglicher Einnahme eines Vitamin-D-Nahrungsergänzungsmittels mit 800 IE¹⁾/d (2 Perlen Cholecalciferol pro Tag) im Winterhalbjahr
- in C.4 von einem Strandurlaub südlich der Alpen von mehr als 2 Wochen Dauer im Sommer 2014
- in C.6 eines ganzjährigen Aufenthaltes in unseren geografischen Breiten nördlich der Alpen ohne Nahrungsergänzungsmittel und ohne Solariennutzung.

In Teilstudie C.5 wird orientierend der Vitamin-D-Status von beruflich Außenbeschäftigten (n = 20) zum Ende des Sommers und zum Ende des Winters (Sep. 2014 und Mrz. 2015) bestimmt. Alle Personen der Teilstudien C.1. bis C.6 machen im Winterhalbjahr keinen Urlaub südlich der Alpen. Für die Teilnehmer aus C.3, C.5 und C.6 gilt das definitiv auch für den Sommerurlaub.

Im Winter 2013/2014 erfolgte eine orientierende Voruntersuchung C. 0 (n = 9) für die Studien C.1 und C.2 (s. o.), inwieweit Solariengeräte mit den gesetzlich vorgeschriebenen 0,3 W/m²-Strahlern prinzipiell zur Vitamin-D-Bildung beitragen können. Den Probanden war freigestellt, ihrem üblichen Solariennutzungsverhalten zu folgen.

Zur Erfassung der individuellen solaren UV-Expositionen der Probanden der Studien C.1 bis C.6 erfolgt ein kontinuierliches UV-Personenmonitoring mittels Erfassung der Aufenthaltszeiten im Freien im Tagesverlauf bei simultaner Messung der erythem-wirksamen Globalstrahlung der Sonne. Die Probanden aus C.1 und C.4 tragen darüber hinaus UV-Personendosimeter (Polysulfonfilm-Dosimeter: Dermatologie/TU Dresden).

4. DURCHFÜHRUNG

Die Studien A.1 bis A.3 wurden experimentell abgeschlossen. Für Studie B, die von Januar bis März 2015 durchgeführt wird, wurde die Probandenrekrutierung abgeschlossen. Für die Teilstudien C.1 bis C.6 erfolgten die 2014 geplanten Untersuchungen. Seit Oktober 2014 erfolgt für Probanden der Studie C.1 und C.2 der Besuch in einem vermessenen UV-Typ-2- bzw. UV-Typ-3-Solariengerät. Die experimentellen Arbeiten zu Studie D.1 und der Kontrollstudie D.2 wurden mit einer wiederholenden Zusatzuntersuchung D.3 im März 2014 abgeschlossen.

5. ERGEBNISSE

An den statistischen Auswertungen der experimentellen Ergebnisse der Studien A und D und deren Abgleich mit der Literatur wird gearbeitet.

Bei den Probanden der Studie C.6 (Innenbeschäftigte mit Aufenthalt ganzjährig nördlich der Alpen) wurden im September 2014 bei mehr als 50 % der Probanden 25OHD₃-Werte im Serum von > 20 ng/ml festgestellt. Bei den Probanden der Studie C.4 (Innenbeschäftigte mit Strandurlaub im Süden) lagen bei 90 % der Probanden die Werte im September 2014 > 20 ng/ml. Zu den anderen Kontrollterminen (s. 3.2) lagen die Werte beider Studiengruppen zu 75 % und mehr unter 20 ng/ml. Innenbeschäftigte der Studie C.3 mit Supplementierung durch 800 IE Vitamin D₃ (Cholecalciferol) pro Tag von Oktober 2013 bis April 2014 zeigten zu den Kontrollterminen im Januar, März und Mai zu nahezu 90 % 25OHD₃-Werte oberhalb von 20 ng/ml. Im September 2014 nach mehreren Monaten ohne Supplementierung erhöhte sich der Anteil der Probanden aus Studie C.3 mit 25OHD₃-Werten < 20 ng/ml. In der orientierenden Voruntersuchung C.0 zu den Studien C.1

¹⁾ internationale Einheit

und C.2, bei der die Probanden im Winterhalbjahr 2013/2014 wöchentlich oder häufiger das Sonnenstudio aufsuchten, lagen zum Kontrolltermin im März 2014 67 % der 25(OH)D₃-Werte oberhalb von 20 ng/ml.

6. GEPLANTE WEITERARBEIT

Bis Ende des Projektes wird Studie B (Untersuchung zum spektralen Einfluss von UV-B- und UV-A-Strahlung auf Bildung und Zerlegung von Vitamin-D in der Haut) durchgeführt und Studie C abgeschlossen.

Thema			
Quantitative Abschätzung des Strahlenrisikos unter Beachtung individueller Expositionsszenarien, Teil 2			
Subject			
<i>Quantitative radiation risk assessment under consideration of individual exposure scenarios, part 2</i>			
Kennzeichen	Beginn	Ende	Fördermittel
3612S70030	01.02.2013	31.10.2015	EUR 390.221,-
Forschungs- / Auftragnehmer			
Helmholtz-Zentrum München, Institut für Strahlenschutz			
Projektleitung	Fachbetreuung BfS	verantwortlich für den Text	
Dr. M. Eidemüller	L. Walsh / AG-SG 1.3	Dr. M. Eidemüller, Dr. A. Ulanowski	

1. ZIELSETZUNG

In diesem Projekt werden die Methoden und das Software Programm ProZES (**P**rogramm zur Berechnung der **Z**usammenhangswahrscheinlichkeit einer **E**rkrankung und einer **S**trahlenexposition) entwickelt um abzuschätzen, welchen Anteil die Strahlenexposition einer Person an einer späteren Krebsentstehung hat. Das aktuelle Projekt führt Entwicklungen aus einer ersten Phase (Vorhaben 3607S04570) fort. Es sollen in diesem Projekt nun alle Krebsarten berücksichtigt werden sowie hoch-LET¹⁾ Strahlung mit Einflüssen von Latenzzeit, Expositionsraten und weiteren Faktoren. Der Risikotransfer auf die deutsche Bevölkerung verlangt zuverlässige und aktuelle Krebsinzidenz- und Bevölkerungsstatistiken. Diese Daten werden im Rahmen dieses Projektes gesammelt und aufbereitet. Das Software Programm ProZES implementiert die Methoden in einer berechnungseffizienten Form als Windows Anwendung mit graphischer Oberfläche und graphischer oder numerischer Ausgabe. Die ProZES-Entwicklung im aktuellen Projekt konzentriert sich insbesondere auf die Implementation neuer Krebsmodelle sowie weiterer Verbesserung der Funktionalität und Benutzerfreundlichkeit der Anwendung.

2. EINZELZIELSETZUNG

Das Thema wird in folgenden Einzelaufgaben bearbeitet:

- Krebserkrankungsrisiko bei den Atombombenüberlebenden von Hiroshima und Nagasaki: Modelle für Leukämie, Schilddrüsenkrebs und „andere“ Krebsarten.
- Weitere Elemente zur Abschätzung des zusätzlichen Krebserkrankungsrisikos nach Strahlenexposition in Deutschland: Modelle für Lungenkrebs nach Radonexposition, Entwicklung eines Datensatzes für Bevölkerungs- und Gesundheitsstatistiken, Übertragung der Krebsrisiken auf deutsche Verhältnisse.
- Berechnungscode der Zusammenhangswahrscheinlichkeit einer Krebserkrankung und einer Strahlenexposition für die verschiedenen Krebsarten, Simulation der Unsicherheitsintervalle.
- Implementierung des Programms zur Berechnung der Zusammenhangswahrscheinlichkeit einer Erkrankung und einer Strahlenexposition, ProZES.

3. METHODIK

Die Zusammenhangswahrscheinlichkeit (Z) stellt die Wahrscheinlichkeit dar, mit der ein diagnostizierter Krebs durch eine vorhergehende Strahlenexposition verursacht wurde, und kann durch das zusätzliche relative Risiko (ERR) oder zusätzliche absolute Risiko (EAR) folgendermaßen ausgedrückt werden:

$$Z = \text{ERR} / (1 + \text{ERR}) = \text{EAR} / (\text{EAR} + \lambda_0),$$

wobei λ_0 die Hintergrund-Inzidenzrate der Zielbevölkerung darstellt. Funktionale Abhängigkeiten des ERR oder EAR basieren auf deskriptiven Modellen von verschiedenen epidemiologischen Studien, z. B. von der Kohorte der Atombombenüberlebenden von Hiroshima und Nagasaki, der gepoolten Studie von 8 Kohorten

¹⁾ linearer Energietransfer

bei Brustkrebs, oder Studien über Minenarbeiter bei Lungenkrebs nach Radonexposition. Typischerweise hängt das Risiko von Geschlecht, erreichtem Alter, Alter bei Exposition oder anderen Faktoren wie z. B. Rauchverhalten bei Lungenkrebs ab. Zusätzlich zu den besten Fit-Parametern für diese Abhängigkeiten wird auch die Kovarianz-Matrix berücksichtigt, so dass stochastische Verteilungen mit angemessenen Unsicherheitsintervallen bestimmt werden können.

Von der Vielzahl der möglichen Modelle werden nur diejenigen berücksichtigt, die die Daten am besten beschreiben unter dem Akaike Informations-Kriterium (AIC) oder unter dem Likelihood-Ratio Test (LRT). Die resultierende Risikofunktion wird bestimmt durch die Methode der „Multi-Model Inference“, d. h. die Verteilung der Risikowerte wird über partielle modellspezifische Verteilungen erzeugt mit einer Häufigkeit, die durch den AIC-Wert gegeben wird.

Die Risikomodelle müssen auf die Zielbevölkerung (Deutschland) übertragen werden. Dazu werden Deutschland-spezifische demographische Daten und Daten für die Krebsinzidenz benutzt.

4. DURCHFÜHRUNG

Zusätzlich zu den bereits in der ersten Phase von ProZES implementierten Risikomodellen für Darm-, Magen-, Lungen- und Brustkrebs werden weitere Krebslokalisationen untersucht. Diese betreffen Schilddrüsenkrebs, Leukämie, Lungenkrebs nach Radonexposition und „andere Krebsarten“:

- Das Risikomodell für Schilddrüsenkrebs basiert auf einer neuen Analyse der LSS¹⁾-Inzidenzdaten (Jacob et al., Radiat Environ Biophys 2014). Ein besonderes Problem ist hierbei, dass bei Exposition in jungen Jahren das ERR auf Grund des geringen Hintergrundrisikos stark variieren kann. Für den Risikotransfer wird eine Mischung zwischen additivem und multiplikativem Übertrag verwendet.
- Leukämie-Modelle werden zur Zeit entwickelt basierend auf den LSS-Inzidenzdaten von 1950-2001. Es werden vier verschiedene Modellgruppen entwickelt, jeweils eine Modellgruppe für
 - Akute lymphatische Leukämie (ALL)
 - Chronische lymphatische Leukämie (CLL), „Hairy cell“ Leukämie und Lymphome (HL, nHL)
 - Chronische myeloische Leukämie (CML)
 - Akute myeloische Leukämie (AML) und sonstige.

Da verschiedene Modelle für jeweils eine Modellgruppe eine ähnliche Qualität des Fits ergeben, werden die Modellunsicherheiten über Multi-Modell-Inferenz berücksichtigt.

- Für Lungenkrebs nach Radonexposition wurden verschiedene Modelle evaluiert. Es wurde entschieden, zwei verschiedene Typen von Modellen zu verwenden. Für Expositionen, wie sie typischerweise in Innenräumen angetroffen werden, sollen die Modelle von Darby et al. (British Medical Journal 2005) verwendet werden. Für Expositionen, die Minenarbeitern entsprechen, soll ein neues Modell vom BfS angepasst werden, das nur die Minenarbeiter ab 1960 berücksichtigt. Es ist geplant, dieses Modell nach Fertigstellung in ProZES zu implementieren.
- Für alle „anderen Krebsarten“ wurden funktionell verwandte Gruppen gebildet. Für diese Gruppen wurden jeweils eigene Risikomodelle entwickelt. Die Gruppen sind: Verdauungstrakt (ohne Magen und Darm), Harnorgane, zwei Gruppen weiblicher Geschlechtsorgane, männliche Geschlechtsorgane, Gehirn und Zentrales Nervensystem, weißer Hautkrebs und die restlichen Organe.

Weitere Elemente in der Entwicklung von ProZES sind:

- Implementierung von neu entwickelten Modellen, Verbesserung der numerischen Algorithmen, Tests und Qualitätsüberprüfung
- Sammeln und Analyse von Krebsinzidenzdaten und Bevölkerungsstatistiken für Deutschland, Japan, Hiroshima und Nagasaki
- Aufbau einer externen Datenbank für diese Daten, um zukünftige Aktualisierungen der Daten zu erleichtern.

¹⁾ Life Span Study

5. ERGEBNISSE

Das neue Modell für Schilddrüsenkrebs (Jacob et al, Radiat Environ Biophys 2014) wurde in ProZES eingebaut. Modelle für Lungenkrebs nach Radonexposition wurden für verschiedene Expositionsszenarien verglichen. Zwei verschiedene Modelle (von Indoor-Studien und den Wismut Minenarbeitern) wurden für ProZES ausgewählt.

Methoden zum Umgang und zur Gruppierung von „allen anderen“ Krebsarten wurden diskutiert. Es wurde entschieden, Risikomodelle für funktionell verwandte Gruppen in ProZES zu implementieren. Risikomodelle für sieben Gruppen von soliden Krebsarten wurden mit dem aktuellen Follow-up der LSS-Daten entwickelt. Diese Modelle wurden überprüft auf Plausibilität und Konsistenz mit Inzidenzraten in Bevölkerungsregistern sowie früher publizierten Risikoabschätzungen.

Erhebliche Änderungen gab es bei den numerischen Routinen von ProZES. Sie wurden umgeschrieben auf die .NET (IL/CLI) Plattform, so dass die Abhängigkeit von proprietärer Software von Drittanbietern reduziert wurde. Eine Testversion von ProZES wurde an die Mitglieder der SSK-Arbeitsgruppe verteilt. Leistungskriterien werden überprüft und alternative Techniken evaluiert.

6. GEPLANTE WEITERARBEIT

Zu erledigende Aufgaben sind:

- Implementierung von Funktionen zur Beschreibung des Risikos für Lungenkrebs nach Radonexposition in ProZES für zwei Expositionsszenarien: für Minenarbeiter mit Expositionen in WLM¹⁾ und für Innenräume als Funktion der Radon Luft-Konzentration in Bq/m³
- Finalisierung der Modelle für Leukämie und Implementierung der Modelle mit Multi-Modell-Inferenz in ProZES
- Entwicklung von Modellen für weißen Hautkrebs
- Weitere Entwicklung von ProZES (Implementation von neuen Modellen und Eigenschaften)
- Entwicklung einer externen Datenbank für Inzidenz- und Bevölkerungsdaten. Weiterentwicklung von ProZES, um eine automatische Aktualisierung der Oberfläche mit den Daten zu erlauben. Es muss mit dem BfS abgestimmt werden, inwieweit eine Aktualisierung möglich ist, gleichzeitig aber verhindert werden kann, dass durch den Nutzer fälschlicherweise modifizierte Daten zu falschen Ergebnissen führen.
- Tests und Qualitätssicherung
- Vorbereitung von wissenschaftlichen und technischen Publikationen über ProZES.

¹⁾ working level month

Thema			
Weiterentwicklung der Internet-Informationsplattform „EMF Portal“ und Ausbau zum WHO Kollaborationszentrum			
Subject			
<i>Advancement of the internet information platform "EMF Portal" and development into a WHO Collaboration Centre</i>			
Kennzeichen	Beginn	Ende	Fördermittel
3612S70033	01.07.2013	31.12.2015	EUR 208.883,-
Forschungs- / Auftragnehmer			
Uniklinik RWTH Aachen, femu - Forschungszentrum für Elektro-Magnetische Umweltverträglichkeit, Aachen			
Projektleitung	Fachbetreuung BfS	verantwortlich für den Text	
Dr. S. Driessen	Dr. A. Dehos / AG-SG	Dr. S. Driessen	

1. ZIELSETZUNG

Mit dem Forschungsvorhaben soll dem Informationsbedürfnis von Bürgerinnen und Bürgern im Bereich der gesundheitlichen Wirkungen elektromagnetischer Felder (EMF) Rechnung getragen werden. Darüber hinaus wird für nationale und internationale Expertengremien ein Hilfsmittel bei der Bewertung der gesundheitlichen Wirkungen elektromagnetischer Felder und bei der Grenzwertsetzung zur Verfügung gestellt. Dazu wird im Rahmen der Internet-Informationsplattform EMF-Portal (www.emf-portal.org) u. a. eine Sammlung wissenschaftlicher Messwerte zur Exposition der Bevölkerung gegenüber niederfrequenten und hochfrequenten Feldern geliefert. Zusätzlich werden tabellarische und grafische Übersichten zur wissenschaftlichen Studienlage sowie allgemeine Hintergrundinformationen zu den bisherigen Erkenntnissen über biologische Wirkungen angeboten. Alle Informationen sind sowohl in deutscher als auch englischer Sprache im EMF-Portal frei zugänglich.

2. EINZELZIELSETZUNG

Die neu erarbeiteten Informationsangebote werden die bereits vorhandenen Übersichten, Grafiken, Zusammenfassungen und Hintergrundinformationen so ergänzen, dass die komplette Breite der wissenschaftlichen Literatur und Informationen im Bereich der elektromagnetischen Umweltverträglichkeit übersichtlich dargestellt wird.

2.1 EXPOSITION DER BEVÖLKERUNG DURCH NIEDER- UND HOCHFREQUENTE FELDER

Ziel ist es, dem Nutzer für den Hoch- und Niederfrequenz-Bereich eine Übersicht über typische dosimetrische Daten von im Alltag auftretenden Feldquellen zur Verfügung zu stellen.

2.2 TIER- UND ZELLEXPIMENTELLE STUDIEN ZU DEN WIRKUNGEN NIEDERFREQUENTER FELDER

Die rund 1600 experimentellen Studien im 50/60 Hz-Bereich sollen dem Nutzer des EMF-Portals im Rahmen von interaktiven Grafiken leichter zugänglich gemacht werden.

2.3 ERARBEITUNG VON NEUEN GRUNDLAGENTEXTEN ZUM THEMA „ELEKTROMAGNETISCHE FELDER“ INKLUSIVE DER THEMATIK „RISIKOKOMMUNIKATION“

Die bisher im EMF-Portal vorhandenen Grundlagentexte zu elektromagnetischen Feldern sollen vollständig überarbeitet, erweitert und an den aktuellen Stand von Wissenschaft und Technik angepasst werden. Ein Grundlagentext zur Risikokommunikation soll ebenfalls integriert werden. Das gesamte Angebot soll auch für englischsprachige Nutzer angeboten, d. h. vollständig übersetzt werden.

3. METHODIK

Die Literaturdatenbank des EMF-Portals enthielt Ende Dezember 2014 mehr als 20 400 Publikationen zu elektromagnetischen Feldern und Strom. Die Umsetzung der einzelnen Arbeitspakete basiert zu einem großen Teil auf dieser Datenlage.

3.1 EXPOSITION DER BEVÖLKERUNG DURCH NIEDER- UND HOCHFREQUENTE FELDER

Die im Rahmen des EMF-Portals bereits existierende Datenbank „Quellen elektromagnetischer Felder“ wird fortlaufend mit wissenschaftlich ermittelten Messwerten ergänzt, aktualisiert und mit erläuternden Texten versehen. Hierzu werden die wissenschaftlichen Publikationen nach darin erhobenen Messwerten durchsucht. Die Messwerte werden den Feldquellen zugeordnet und die Literaturquellen entsprechend verlinkt.

3.2 TIER- UND ZELLEXPIMENTELLE STUDIEN ZU DEN WIRKUNGEN NIEDERFREQUENTER FELDER

Von den rund 1600 Studien, die für das vorliegende Teilprojekt grundsätzlich relevant sein könnten, werden die folgenden Parameter überprüft und systematisch erfasst: Feldquelle, experimenteller Aufbau, Feldstärke, exponiertes System und biologische Endpunkte. Die aufgelisteten Punkte werden systematisch in die Datenbank aufgenommen. Damit werden die Voraussetzungen für eine spätere einheitliche graphische Aufbereitung der Studien geschaffen.

3.3 ERARBEITUNG VON NEUEN GRUNDLAGENTEXTEN ZUM THEMA „ELEKTROMAGNETISCHE FELDER“ INKLUSIVE DER THEMATIK „RISIKOKOMMUNIKATION“

Für die Erarbeitung neuer Grundlagentexte zum Thema „Technik“, „Grenzwerte“, „Risikokommunikation“ und „Wirkungen“ werden zunächst die vorhandenen Angebote geprüft. Unter Berücksichtigung dieser und aktueller, frei zugänglicher Quellen werden neue Informationstexte zusammengestellt, mit Bildmaterial und Tabellen illustriert sowie ggf. mit den thematischen Übersichten und Grafiken im EMF-Portal verlinkt.

4. DURCHFÜHRUNG

2014 wurden folgende Einzelzielsetzungen bearbeitet:

- Exposition der Bevölkerung durch niederfrequente Felder
- Tier- und zellexpimentelle Studien zu den Wirkungen niederfrequenter Felder, insbesondere Untersuchungen im Zusammenhang mit der Krebsentstehung
- Exposition der Bevölkerung durch hochfrequente Felder
- Erarbeitung von neuen Grundlagentexten zum Thema „Elektromagnetische Felder“ inklusive der Thematik „Risikokommunikation“.

5. ERGEBNISSE

5.1 EXPOSITION DER BEVÖLKERUNG DURCH NIEDER- UND HOCHFREQUENTE FELDER

Die Datenbank der Quellen elektromagnetischer Felder (<http://www.emf-portal.de/exposource13/?l=g>) wurde seit Beginn des Projektes kontinuierlich mit wissenschaftlich erhobenen Messwerten ergänzt und aktualisiert. Zur Abschätzung der Exposition der Bevölkerung durch niederfrequente und hochfrequente Felder wurden Studien mit dosimetrischen Untersuchungen zu Feldquellen im persönlichen und häuslichen Bereich recherchiert und die erhobenen Messwerte entsprechend in die Datenbank eingearbeitet. Dabei wurden bisher insbesondere die Themengruppen „Stromnetze“, „Mobilfunk“, „Küchengeräte“ und „Elektromobilität“ aufgearbeitet. Die Recherche nach neuen Messwerten erfasst alle bereits in der Datenbank vorhandenen Publikationen, neue Artikel (z. B. aus der PubMed¹⁾-Datenbank) sowie bei unzureichender Datenlage auch online-gestellte Messdaten nationaler und internationaler Institutionen. Darüber hinaus wurden der Vollständigkeit halber ebenfalls Erläuterungen zu den weiteren Feldquellen angefertigt, auch wenn zu diesen bisher keine Messwerte in der Literatur vorhanden sind, z. B. GSM Extended oder GSM Railway.

¹⁾ bibliographische Datenbank für Medizin und Biomedizin

5.2 TIER- UND ZELLEXPERIMENTELLE STUDIEN ZU DEN WIRKUNGEN NIEDERFREQUENTER FELDER

Um die Voraussetzung für die Aufbereitung der wissenschaftlichen tier- und zellexperimentellen Studien im 50/60 Hz-Bereich in Form interaktiver Grafiken zu schaffen, wurde die Bearbeitung der noch nicht extrahierten Studien aus diesem Bereich fortgesetzt. Von den derzeit 1599 in Frage kommenden Studien sind zum Ende des Berichtszeitraums für 1588 Artikel die notwendigen Parameter in der Datenbank erfasst, d. h. die notwendigen Detailinformationen (z. B. Feldquelle, experimenteller Aufbau, Feldstärke, exponiertes System und sonstige biologische Endpunkte) wurden extrahiert und in die Datenbank eingepflegt. Damit liegen nunmehr alle benötigten Endpunkte für eine konsistente grafische Aufbereitung und das Anlegen von Übersichtstabellen vor.

5.3 ERARBEITUNG VON NEUEN GRUNDLAGENTEXTEN ZUM THEMA „ELEKTROMAGNETISCHE FELDER“ INKLUSIVE DER THEMATIK „RISIKOKOMMUNIKATION“

Im Berichtszeitraum wurden Grundlagentexte zu den Kapiteln „Technik“, „Grenzwerte“ und „Risikokommunikation“ erarbeitet und entsprechend in das EMF-Portal integriert. Alle Inhalte wurden gleichzeitig ins Englische übersetzt.

6. GEPLANTE WEITERARBEIT

Dem Arbeitsplan entsprechend wird an den genannten Einzelzielsetzungen weitergearbeitet. Zur Erfassung der Exposition der Bevölkerung durch niederfrequente und hochfrequente Felder werden weiterhin Studien mit dosimetrischen Untersuchungen zu Feldquellen im persönlichen und häuslichen Bereich recherchiert und die erhobenen Messwerte eingearbeitet und online zur Verfügung gestellt. Zu den tier- und zellexperimentellen Studien aus dem 50/60 Hz-Frequenzbereich werden die grafische Aufbereitung in Form von interaktiven Grafiken sowie das Anlegen der Übersichtstabellen vorgenommen. Die epidemiologischen Studien werden in künftigen Arbeitspaketen entsprechend bearbeitet. Die neuen Inhalte werden nach interner Überprüfung blockweise implementiert und online gestellt.

Thema			
Untersuchungen zur Strahlenexposition der Augenlinse von beruflich strahlenexponiertem Personal			
Subject			
<i>Studies on the radiation exposure of the eye lens of radiation-exposed workers</i>			
Kennzeichen 3613S40011	Beginn 01.01.2014	Ende 30.06.2015	Fördermittel EUR 118.202,-
Forschungs- / Auftragnehmer Karlsruher Institut für Technologie (KIT)			
Projektleitung J. Strohmaier	Fachbetreuung BfS L. Kammerer / AG-SG 2.4	verantwortlich für den Text J. Strohmaier, C. Naber	

1. ZIELSETZUNG

In der europäischen Richtlinie 2013/59 EURATOM DES RATES vom 5. Dezember 2013 wurde der Organ-Äquivalentdosisgrenzwert für die Augenlinse bei beruflicher Strahlenexposition von 150 mSv auf 20 mSv im Kalenderjahr herabgesetzt. Zum Schutz von beruflich strahlenexponiertem Personal und um adäquat auf die Absenkung des Grenzwertes für die Schutzgröße der Augenlinse reagieren zu können, ist es notwendig, über genügend Kenntnisse und fundierte Daten über die Höhe der Strahlenexposition der Augenlinse zu verfügen. Im Rahmen dieser Untersuchung soll eine verbesserte Datenlage geschaffen sowie untersucht werden, für welche Berufsgruppen und welche Tätigkeiten eine höhere Strahlenexposition der Augenlinse auftreten kann und in welcher Größenordnung diese liegt.

2. EINZELZIELSETZUNG

Grundsätzlich ist das Vorhaben in drei Arbeitspakete strukturiert.

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

Zunächst werden wissenschaftliche Publikationen, die sich mit der Thematik Augenlinsendosimetrie befassen, zusammengetragen. Diese werden katalogisiert und kategorisiert. Auch die bisher von amtlichen Messstellen ermittelten Dosiswerte für die Augenlinse werden für dieses Vorhaben betrachtet und dienen als Grundlage für den bestehenden Kenntnisstand der Strahlenexposition unterschiedlicher Berufsgruppen. Anhand der Literaturrecherche und dem bestehenden Kenntnisstand werden mindestens 8 Tätigkeiten identifiziert, bei denen potenziell eine höhere Strahlenexposition der Augenlinse und damit eine höhere Dosisbelastung zu erwarten ist. Für diese identifizierten Tätigkeiten wird eine realistische Abschätzung der Strahlenexposition der Augenlinse mittels einer Messkampagne durchgeführt.

Die Ermittlung der Augenlinsendosis erfolgt unter Berücksichtigung der SSK-Stellungnahme „Überwachung der Augenlinsendosis“ (Strahlenschutzkommission: Überwachung der Augenlinsendosis. Stellungnahme der Strahlenschutzkommission mit wissenschaftlicher Begründung, Bundesanzeiger Nr. 17 vom 01.02.2011) sowie neueren Erkenntnissen und Empfehlungen.

2.2 EXPERIMENTELLE ERMITTLUNG DER AUGENLINSENDOSIS FÜR AUSGEWÄHLTE TÄTIGKEITEN (AP 2)

Für die in AP 1 ermittelten Tätigkeiten sollen mindestens 6 Tätigkeiten aus dem Bereich der Medizin, mindestens 2 Tätigkeiten aus den Bereichen Forschung und Rückbau und mindestens eine Tätigkeit aus dem Bereich Industrie ausgewählt werden. Ergaben sich nach der Literaturrecherche weitere Bereiche, werden diese für die experimentelle Dosisermittlung berücksichtigt.

Die in AP 1 identifizierten Personen erhalten Informationen und eine Einweisung zur Tragerichtung der Augenlinsendosimeter. Hierzu werden Informationsschreiben und Protokollvorlagen zur Erhebung der Häufigkeit der Tätigkeiten erstellt sowie ein Plan für den Dosimeterwechsel.

Für die weitere Vorgehensweise wird zwischen der Strahlungsart am Expositionsort bzw. der mit der Tätigkeit verbundenen Strahlungsart unterschieden. Wie der SSK-Stellungnahme zur „Überwachung der Augenlinsen-

dosis“ zu entnehmen ist, spielen für die Augenlinsendosis vor allem Beta-Strahlung (Elektronenstrahlung mit geringer Eindringtiefe) und Photonen-Strahlung mit niedriger Energie eine Rolle. Die geeignete Messgröße zur Ermittlung der Augenlinsendosis ist die Augenlinsen-Personendosis Hp(3) bzw. die Oberflächen-Personendosis Hp(0,07) in der Einheit Sv bzw. mSv. Dabei ist zu beachten, dass die Oberflächen-Personendosis nur in Photonen-Strahlenfeldern eine gute Abschätzung liefert und nicht geeignet ist in Beta-Strahlenfeldern.

2.3 ERARBEITUNG VON EMPFEHLUNGEN ZUM SCHUTZ DER AUGENLINSE (AP 3)

Im Rahmen des AP 3 soll eine Entscheidungsmatrix erstellt werden, anhand der Risikokollektive innerhalb der beruflich strahlenexponierten Personen identifiziert werden können. Für Berufsgruppen und Tätigkeiten, die auf Grund der Ergebnisse dieser Untersuchung als besonders exponiert eingestuft werden können, sollen Empfehlungen zum Schutz der Augenlinse veröffentlicht werden.

3. METHODIK

Das Verfahren zur „Ermittlung der Augenlinsen-Personendosis“ basiert auf dem langjährig angewandten Verfahren der Teilkörperdosimetrie „Bestimmung der Oberflächen-Personendosis mittels Fingerringdosimeter“ und wurde durch Modifikation entsprechend angepasst. Das verwendete Augenlinsendosimeter wurde im Festkörperdosimetrielabor des KIT entwickelt und zur experimentellen Ermittlung der Augenlinsendosis für das Arbeitspaket 2 eingesetzt. Die Dosimeter bestehen aus einem Detektor, einer Filterkombination und einer Umhüllung, die einerseits zur Halterung aber auch gleichzeitig zum Schutz vor Verschmutzungen dient. Als Detektoren werden Thermolumineszenzdetektoren (TLD) eingesetzt, die je nach Einsatzbereich paarweise über den Augen oder einzeln an der Schläfe, angebracht an einem Stirnband, getragen werden können. Dabei ist die Ausrichtung der Dosimeter am Stirnband zur Strahleneinfallrichtung möglich, um eine repräsentative Exposition zu gewährleisten. Neben der Optimierung des Dosimeters auf die Messgröße der Augenlinsen-Personendosis Hp(3) zeichnet sich das Dosimeter durch eine in einem weiten Energiespektrum relativ konstante Energieabhängigkeit aus. Bei Energien kleiner 100 keV ist das Dosimeter konservativ ausgelegt. Besonders im medizinischen Bereich kann von einem niederenergetischen Spektrum ausgegangen werden, da hier vor allem die Streustrahlung durch den Patienten und die Einrichtung die Augenlinsenexposition ausmacht.

Bei der Entwicklung wurde neben der akkuraten Dosierermittlung auch großes Augenmerk auf die Praktikabilität gesetzt, um so eine hohe Teilnahmebereitschaft zu erreichen. Dabei spielt der Tragekomfort und damit die Größe des Dosimeters, das Gewicht und die Flexibilität in Bezug auf die Ausrichtung des Dosimeters zur Strahleneinfallrichtung eine große Rolle sowie die Tatsache, dass die Teilnehmer durch das Dosimeter im Sichtfeld nicht behindert werden und das Dosimeter auch von Brillenträgern ohne Einschränkungen getragen werden kann. Neben der Befestigung am Stirnband kann das Dosimeter an einer Klammer befestigt an herkömmlichen Brillen oder Bleiglasbrillen getragen werden, um so die Abschirmung durch die Brille zu berücksichtigen.

Die Kalibrierung der Dosimeter erfolgt im akkreditierten Kalibrierlabor des KIT. Dabei werden die Dosimeter am ISO-Quaderphantom in der Messgröße Hp(3) mit einer definierten Dosis bestrahlt und anschließend ausgewertet. Für jeden Detektor wird ein individuelles Ansprechvermögen berücksichtigt.

4. DURCHFÜHRUNG

4.1 MESSKONZEPT

Zur Ermittlung der Augenlinsendosis ist ein dreistufiges Messkonzept vorgesehen.

In Stufe 1 werden wöchentlich personenbezogene Dosimeter ausgegeben, die von den Teilnehmern über die ganze Woche bei sämtlichen durchgeführten Tätigkeit getragen werden. Dies ist sinnvoll, um erste Erfahrungen bezüglich einer sinnvollen Mindestexposition der Dosimeter zu machen.

Der Aufwand für die Teilnehmer ist dabei vergleichsweise gering und sehr praktikabel, was die Akzeptanz der Messkampagne steigert. Dadurch soll eine hohe Datenmenge erreicht werden. Zudem wird in Stufe 1 eine möglichst realistische Abschätzung einer mittleren monatlichen Teilkörperexposition der Augenlinse erhoben. Insgesamt sollen die Messungen über mindestens vier Wochen erfolgen.

In Stufe 2 werden pro Institution mehrere Personen ausgewählt (abhängig von den Ergebnissen aus Stufe 1). Diesen Personen wird für jede Art von Tätigkeit ein zugeordnetes und entsprechend beschriftetes Dosimeter

ausgehändigt. D. h. wenn ein Arzt beispielsweise sowohl Perkutane Transluminale Angioplastien (PTA) als auch Embolisationen durchführt, bekommt er für jede Tätigkeit ein eigenes Dosimeter. Der Expositionszeitraum wird abhängig von der Häufigkeit der durchgeführten Tätigkeiten festgelegt.

In Stufe 3 wird (abhängig von den Ergebnissen aus Stufe 2) pro Person eine Tätigkeit ausgewählt, die an unterschiedlichen Arbeitsplätzen durchgeführt wird. Pro Arbeitsplatz wird ein Dosimeter ausgegeben. D. h. wenn ein Arzt eine Tätigkeit in verschiedenen Operationsräumen (OP) durchführt, bekommt er für jeden OP ein eigenes Dosimeter. Auch hier wird der Expositionszeitraum abhängig von der Häufigkeit der durchgeführten Tätigkeiten festgelegt.

5. ERGEBNISSE

Bisher liegen die Ergebnisse aus AP 1 vor. Für die Literaturrecherche wurden über 159 wissenschaftliche Paper und Veröffentlichungen zusammengetragen, die sich mit der Thematik Augenlinsendosis befassen und bis September 2014 publiziert wurden. Als Grundlage wurden die Veröffentlichungen des FP 7 Projekts ORAMED (Optimization of Radiation Protection of Medical Staff) herangezogen. Auf Grundlage der Literaturrecherche wurden Tätigkeiten identifiziert, die bei den Teilnehmern im Rahmen des AP 2 dosimetrisch überwacht werden. Die Messungen im Rahmen des AP 2 sind derzeit im Gange.

6. GEPLANTE WEITERARBEIT

Zunächst werden die Messungen in allen teilnehmenden Einrichtungen zu Ende geführt, um die Bewertung der Endergebnisse vorzunehmen und im Anschluss Empfehlungen für das exponierte Personal aussprechen zu können.

Thema			
Aktualisierung und Migration der Internet-Plattform STORE von der Uni Cambridge ans BfS			
Subject			
<i>Update and migration of the internet platform STORE from University of Cambridge to BfS</i>			
Kennzeichen	Beginn	Ende	Fördermittel
3613S70035	16.12.2013	31.10.2015	EUR 162.404,-
Forschungs- / Auftragnehmer			
University of Cambridge, Cambridge, UK (Department of Physiology, Development and Neuroscience)			
Projektleitung	Fachbetreuung BfS	verantwortlich für den Text	
Prof. Dr. P.N. Schofield	Dr. B. Grosche / SG 1	Dr. B. Grosche	

1. ZIELSETZUNG

Die Bestimmung des strahlenbedingten Risikos sowohl nach Expositionen mit ionisierender als auch nicht-ionisierender Strahlung macht es notwendig, Daten und biologisches Material, die in öffentlich finanzierten Vorhaben gewonnen wurden, der wissenschaftlichen Gemeinschaft für Analysen zur Verfügung zu stellen, die über die in den jeweiligen Vorhaben eigentliche Fragestellung hinaus gehen. Um dies zu ermöglichen wurden in den beiden EU-geförderten Vorhaben ERA-PRO¹⁾ und STORE²⁾, die beide unter Koordination des BfS durchgeführt wurden, entsprechende Archive erstellt. Während die Datenbank ERA, die aus ERA-PRO hervorgegangen ist, eine statische Datenbank ist, in die keine neuen Daten eingepflegt werden sollen, wurde in dem Vorhaben STORE eine gleichnamige flexible Internet-Plattform entwickelt, die es erlaubt, Daten in unterschiedlichen Formaten oder auch Verweise auf andernorts zur Verfügung stehende Daten und auf Archive biologischen Materials einzustellen. Für eine optimale Nutzung von STORE ist es notwendig, eine einheitliche und international anerkannte Nomenklatur zu verwenden.

Ziel des Vorhabens ist es, die Internet-Plattform STORE, die im Rahmen des genannten EU-Vorhabens von der Universität Cambridge entwickelt wurde, weiter zu entwickeln und schließlich von Cambridge auf Rechner des BfS zu migrieren, damit STORE langfristig der wissenschaftlichen Gemeinschaft zur Verfügung gestellt werden kann.

2. EINZELZIELSETZUNG

Das Vorhaben ist in vier Arbeitspaketen gegliedert, die aufeinander aufbauen, aber sich teilweise in ihrer zeitlichen Abfolge überlappen. Die Arbeitspakete sind:

- Befragung relevanten Forschergruppen (AP 1)
- Standardisierung der verwendeten Nomenklatur (AP 2)
- DV-technische Umsetzung der Ergebnisse von AP 1 und AP 2 (AP 3)
- Migration von STORE zum BfS (AP 4)
- Präsentation von STORE und Durchführung von Nutzertrainings (AP 5).

2.1 BEFRAGUNG RELEVANTER FORSCHERGRUPPEN

Es ist durch Befragung relevanter Forschergruppen aus den Bereichen Strahlenepidemiologie und Strahlenbiologie zu erfassen und inhaltlich umzusetzen, welche Anforderungen und Wünsche hier hinsichtlich der Internet-Plattform bestehen.

2.2 STANDARDISIERUNG DER VERWENDETEN NOMENKLATUR

Es ist eine einheitliche, englischsprachige Nomenklatur zu entwickeln. Dies betrifft die Pathologie, die Benennung von Krankheitsdiagnosen und Begriffe der Strahlenbiologie. Bezüglich der Pathologie und der Benennung von Krankheiten ist auf die Nomenklatur zurückzugreifen, die in PATHBASE³⁾ und in ERA entwickelt

¹⁾ Promotion of the European Radiobiological Archives

²⁾ sustaining access to tissues and data from radiobiological experiments

³⁾ European mutant mouse pathology database

wurde. Hinsichtlich der Strahlenbiologie ist ein offenes Nomenklatorsystem zu entwickeln, das erlaubt, die sich laufend erweiternden Bezeichnungen der Strahlenbiologie aufzunehmen.

2.3 DV-TECHNISCHE UMSETZUNG DER ERGEBNISSE VON 2.1 UND 2.2

Die Ergebnisse aus 2.1 und 2.2 sind DV-technisch umzusetzen und die bereits bestehende Struktur von STORE ist entsprechend zu optimieren.

2.4 MIGRATION VON STORE ZUM BFS

Die im Rahmen des Vorhabens weiterentwickelte Internet-Plattform STORE ist so zu erstellen, dass sie auf der IT-Umgebung des BfS eingesetzt werden kann. Die Möglichkeit einer Benutzerverwaltung ist zu realisieren.

2.5 PRÄSENTATION VON STORE UND DURCHFÜHRUNG VON NUTZERTRAININGS

STORE ist auf relevanten internationalen Tagungen vorzustellen. Ferner sind bei Bedarf Trainings bei Nutzern durchzuführen.

3. METHODIK

3.1 BEFRAGUNG RELEVANTER FORSCHERGRUPPEN

Die spezifischen Bedürfnisse und die für Nutzer relevanten Informationen sowohl zum Inhalt als auch zur Benutzeroberfläche werden durch Interviews und durch Nutzer-Workshops erfasst. Die Ergebnisse werden in der Entwicklung von STORE berücksichtigt.

3.2 STANDARDISIERUNG DER VERWENDETEN NOMENKLATUR

Da die Nutzer ihre Daten in annotierter Form einzugeben haben, muss Sorge dafür getragen werden, dass dieses Annotieren standardisiert erfolgt. Dazu ist die verwendete Nomenklatur, die in STORE verwendet und die auf der Benutzeroberfläche vorgegeben wird, so zu standardisieren, dass sie internationalen Begrifflichkeiten entspricht.

3.3 DV-TECHNISCHE UMSETZUNG DER ERGEBNISSE VON AP 1 UND AP 2

Die Ergebnisse aus AP 1 und AP 2 werden kontinuierlich DV-technisch umgesetzt und in der abschließenden Fassung von STORE vollständig realisiert.

3.4 MIGRATION VON STORE ZUM BFS

Nach Abschluss der Arbeiten zu AP 1-3 migriert STORE von der Universität Cambridge ans BfS. IT-seitige Vorgaben des BfS müssen dabei berücksichtigt werden.

3.5 PRÄSENTATION VON STORE UND DURCHFÜHRUNG VON NUTZERTRAININGS

STORE und seine Funktionalitäten sind auf relevanten internationalen Tagungen vorzustellen. Dies kann durch Poster, Vorträge oder Workshops geschehen. Sollten Nutzer bei der Anwendung von STORE Unterstützung benötigen, so wird diese in Form von Trainingseinheiten vor Ort zur Verfügung gestellt.

4. DURCHFÜHRUNG

Die Durchführung des Vorhabens erfolgt entsprechend den Arbeitspaketen, wobei AP 1-3 teilweise parallel durchgeführt werden, während AP 4 nach Abschluss der anderen Arbeitspakete erfolgt.

5. ERGEBNISSE

5.1 BEFRAGUNG RELEVANTER FORSCHERGRUPPEN

Konsultationstreffen wurden durchgeführt bei CREAL¹⁾, Spanien, und bei PHE²⁾, Großbritannien. Mit CEA³⁾, Frankreich, konnte ein Interview in Cambridge stattfinden.

Mit NIRS⁴⁾, Japan, wurde auf einem Treffen im BfS über Möglichkeiten der Verknüpfung des neu zu entwickelnden J-SHARE Projekts zu Tierversuchen aus Japan und STORE diskutiert.

5.2 STANDARDISIERUNG DER VERWENDETEN NOMENKLATUR

Die von Nature Publication Group (NPG) neu herausgegebene Zeitschrift „Scientific data“ enthält einen Standard für die Beschreibung von Daten und Datensätzen, der mit dem in STORE verwendeten konvergiert. Da der NPG-Standard für Metadaten auch ORCID⁵⁾-IDs für Forscher enthält, wurde die Möglichkeit für diese IDs auch in STORE integriert. ORCID IDs erlauben die zweifelsfreie Zuordnung von Forschern zu deren Daten. Dies ist für eventuelle Nachfragen zu einzelnen Datensätzen hilfreich.

Gemeinsam mit den Kuratoren von PATO, der Phenotype and Trait Ontology and the Units Ontology, wurde die in STORE verwendete Ontologie mit der allgemein gebräuchlichen Ontologie verglichen. Dabei wurde die von PATO verwendete Ontologie um Begrifflichkeiten aus dem Bereich der Strahlung ergänzt und eine Kongruenz zwischen den beiden Ontologien hergestellt, so dass die beschreibenden Metadaten, die in STORE verwendet werden, direkt aus PATO bezogen werden können. Dies stellt eine weitest mögliche Standardisierung der Nomenklatur dar.

5.3 DV-TECHNISCHE UMSETZUNG DER ERGEBNISSE VON AP 1 UND AP 2

Mit der DV-technischen Umsetzung der Ergebnisse aus AP 1 und AP 2 wurde begonnen. Die Benutzeroberfläche wurde entsprechend angepasst.

5.4 MIGRATION VON STORE ZUM BFS

Mit der Umsetzung der STORE-Internet-Plattform auf die IT-seitigen Anforderungen des BfS wurde begonnen.

5.5 PRÄSENTATION VON STORE UND DURCHFÜHRUNG VON NUTZERTRAININGS

Am 8. Juli 2014 fanden in den Räumen des BfS eine Präsentation von STORE und ein Nutzertraining statt mit dem Ziel, STOREs Funktionalität sowie mögliche Verbesserungen zu diskutieren. An diesem Nutzertraining nahmen Vertreter folgender Institutionen teil: AWE (UK), Großbritannien; BfS, Deutschland; Brunel University, Großbritannien; CREAL, Spanien; CEA, Frankreich; DIT⁶⁾, Irland; JCET, Japan; PHE, Großbritannien; SCK·CEN, Belgien; SURO, Tschechische Republik; Uni Sofia, Bulgarien; Uni der Bundeswehr München, Deutschland.

Ein individuelles Nutzertraining wurde bei CEA, Frankreich, durchgeführt.

STORE wurde auf dem 41. Annual Meeting der European Radiation Research Society, Rhodos, im September 2014 und dem 6. MELODI⁷⁾-Workshop, Barcelona, im Oktober 2014 vorgestellt. Es zeigte sich dabei, dass auch seitens der biologischen Dosimetrie (Zytogenetik) und der Radioökologie Interesse besteht, STORE für die je eigenen Belange zu nutzen.

6. GEPLANTE WEITERARBEIT

Die Arbeiten im Arbeitspaket 2 sind abgeschlossen, die in den anderen Arbeitspaketen werden fortgesetzt. Insbesondere werden weitere Konsultationstreffen, z. B. mit ENEA⁸⁾ in Italien, und ggf. Nutzertrainings stattfinden. Es ist zu prüfen, inwieweit im Rahmen des jetzigen Vertrags die Wünsche der Zytogenetik und der Radioökologie berücksichtigt werden können.

¹⁾ Centre de Recerca en Epidemiologia Ambiental

²⁾ Public Health England

³⁾ Commissariat à l'énergie atomique et aux énergies

⁴⁾ National Institute of Radiological Science

⁵⁾ Open Researcher and Contributor ID

⁶⁾ Dublin Institute of Technology

⁷⁾ Multidisciplinary European Low Dose Initiative

⁸⁾ Ente Nazionale per l'Energia Atomica

Thema			
Überarbeitung der Strahlenschutzverordnung bez. der Regelungen zur Freigabe künstlicher radioaktiver Stoffe zur Umsetzung der neuen Euratom-Grundnormen in deutsches Recht - Konzept zur Umsetzung			
Subject			
<i>Revision of the radiation protection ordinance with respect to clearance of material with artificial contamination for the transposition of the new EURATOM Basic Safety Standards into German legislation - concept for implementation</i>			
Kennzeichen 3614R03520	Beginn 01.09.2014	Ende 31.08.2016	Fördermittel EUR 128.782,-
Forschungs- / Auftragnehmer Brenk Systemplanung GmbH, Aachen			
Projektleitung Dr. S. Thierfeldt	Fachbetreuung BfS Dr. R. Merk / SW 1.6	verantwortlich für den Text Dr. S. Thierfeldt, Dr. R. Kunz	

1. ZIELSETZUNG

Bedingt durch die im Dezember 2013 erfolgte Verabschiedung der neuen europäischen Grundnormen im Strahlenschutz (Euratom-Grundnormen, Richtlinie 2013/59/Euratom des Rates vom 5. Dezember 2013) wird sich in Deutschland eine Neustrukturierung des Strahlenschutzrechts ergeben, welche auch die bisherigen Regelungen zu Freigrenzen und zur Freigabe radioaktiver Stoffe betreffen wird. Die Thematik ist insofern besonders in Deutschland von Bedeutung, als sie zeitlich mit dem Ausstieg aus der Nutzung der Kernenergie zusammenfällt. Der Rückbau kerntechnischer Anlagen wird auch zu großen Mengen potenziell freigegebenen Materials führen. In den Euratom-Grundnormen ist für die Freigrenzen und die uneingeschränkte Freigabe ein gemeinsamer Wertesatz (radionuklidspezifische, massenbezogene Aktivitätswerte) vorgesehen. Die Zahlenwerte basieren auf den Empfehlungen SR 44 und RS-G-1.7 der IAEA (Safety Reports Series No. 44: Derivation of Activity Concentration Values for Exclusion, Exemption and Clearance, International Atomic Energy Agency, Vienna, 2005 und Safety Guide No. RS-G-1.7, Application of the Concepts of Exclusion, Exemption and Clearance, International Atomic Energy Agency, Vienna, 2004).

Deutschland hat mit den derzeitigen Regelungen in § 29 i. V. m. Anl. III und Anl. IV StrlSchV auch eine sehr detaillierte zweckgerichtete Freigabe. Die Euratom-Grundnormen sehen neben den konkreten Regelungen für die uneingeschränkte Freigabe auch die Beibehaltung der zweckgerichteten Freigabe in den Mitgliedsstaaten vor. Dieses Forschungsvorhaben untersucht, ob die in Deutschland vorhandenen Regelungen zur zweckgerichteten Freigabe kompatibel sind mit den Vorgaben der Euratom-Grundnormen in der Weise, dass die bei dieser Freigabe entstehenden Stoffe entweder unmittelbar die Freigrenzen der Euratom-Grundnormen einhalten oder mit den dort unterstellten Annahmen kompatibel sind.

2. EINZELZIELSETZUNG

2.1 PRÜFUNG DER FREIGABEWERTE DER ANL. III TAB. 1 SP. 10A STRLSCHV ZUR METALLREZYKLIERUNG AUF KONSISTENZ MIT DEN NEUEN FREIGRENZEN DER EURATOMGRUNDNORMEN

In diesem Punkt wird geprüft, ob die bei der Freigabe von Metall zum Einschmelzen entstehenden Stoffe (Produktmetall sowie die Nebenprodukte Schlacke und Staub) in der in Abschnitt 1 beschriebenen Weise kompatibel zu den neuen Freigrenzen der Euratom-Grundnormen sind. Sofern Konflikte identifiziert werden, werden diese benannt und es wird untersucht, ob eine Anpassung der Freigabewerte nach Anl. III Tab. 1 Sp. 10a StrlSchV oder lediglich eine Anpassung der Randbedingungen in Anl. IV Teil G StrlSchV erfolgen müsste, um Kompatibilität wieder herzustellen.

2.2 WERTE ZUR UNEINGESCHRÄNKTEN FREIGABE VON BAUSCHUTT, BODENAUSHUB UND BODENFLÄCHEN

In diesem Punkt erfolgt eine analoge Prüfung zu Punkt 2.1 bez. der Kompatibilität der Materialien aus der Freigabe von Bauschutt und Bodenaushub unter Anwendung der Freigabewerte nach Anl. III Tab. 1 Sp. 6

StrlSchV sowie der Freigabe von Bodenflächen unter Anwendung der Freigabewerte nach Anl. III Tab. 1 Sp. 7 StrlSchV.

2.3 WERTE ZUR FREIGABE VON GEBÄUDEN ZUM ABRISS

In diesem Punkt erfolgt eine analoge Prüfung zu Punkt 2.1 bez. der Kompatibilität des Bauschutts, der aus Abriss von Gebäuden stammt, die unter Anwendung der Freigabewerte nach Anl. III Tab. 1 Sp. 10 StrlSchV freigegeben wurden.

2.4 FREIGABE VON FLÜSSIGKEITEN

Gegenstand dieses letzten Punkts ist zunächst die Prüfung der Entwicklung abdeckender Szenarien für die Freigabe von Flüssigkeiten (im Unterschied zu Ableitungen im Sinne von § 44 StrlSchV). Im Unterschied zu den bestehenden Freigaberegulungen gem. § 29 Abs. 2 StrlSchV für nicht-wässrige Flüssigkeiten sollen hierbei auch Flüssigkeiten auf Wasserbasis (wie z. B. verdünnte Säuren oder Laugen) betrachtet werden, da es hierbei (anders als bei Ölen und vielen organischen Flüssigkeiten) zu Aufkonzentration kommen kann.

Sofern es gelingt, abdeckende Szenarien für solche Flüssigkeiten zu erstellen, erfolgt anschließend ein Vergleich von auf dieser Basis neu entwickelten abdeckenden Freigabewerten für die Freigabe von Flüssigkeiten mit den neuen Freigrenzen der Euratom-Grundnormen.

3. METHODIK

Zur Erreichung der in Abschnitt 2 genannten Ziele werden folgende Methoden eingesetzt:

3.1 PRÜFUNG DER FREIGABEWERTE DER ANL. III TAB. 1 SP. 10A STRLSCHV ZUR METALL-REZYKLIERUNG AUF KONSISTENZ MIT DEN NEUEN FREIGRENZEN DER EURATOM-GRUNDNORMEN

Zur Berechnung wird zunächst untersucht, für welche Radionuklide und unter welchen Bedingungen es bei Anwendung der Freigabewerte in Anl. III Tab. 1 Sp. 10a StrlSchV und sämtlicher Anl. IV Teile A und G StrlSchV formulierter Randbedingungen zu einer Überschreitung der neuen Freigrenzen der Euratom-Grundnormen im Schmelzgut kommen kann. Hierbei wird in mehreren Stufen vorgegangen:

- Die Freigabewerte nach Sp. 10a werden direkt mit den neuen Freigrenzen für jedes Nuklid verglichen. Ist der Freigabewert niedriger als die Freigrenze, kann für das betreffende Nuklid kein Konflikt eintreten.
- Für die verbleibenden Nuklide wird der Vermischungsfaktor 1:10 nach Anl. IV Teil G Nr. 3 StrlSchV berücksichtigt. Die Aktivität im eingeschmolzenen Metall entspricht auf Grund dieser Bedingung höchstens einem Zehntel des Freigabewerts nach Sp. 10a. Ist dieser Wert niedriger als die Freigrenze, besteht für das betreffende Nuklid kein Konflikt.
- Für die verbleibenden Nuklide wird untersucht, ob ihre Aktivität als Bestandteil von Nuklidvektoren für die massenmäßig bedeutsamen Stoffströme der Freigabe aus Kernkraftwerken durch die Aktivität von Schlüsselnukliden begrenzt ist (z. B.: Ni-63 kann den hohen Freigabewert nie ausschöpfen, da es mit Co-60 korreliert ist). Ist der sich ergebende Wert niedriger als die Freigrenze, besteht für das betreffende Nuklid kein Konflikt.
- Für dieselben Nuklide erfolgt bei Herkunft aus nach § 7 StrlSchV genehmigtem Umgang eine Untersuchung der maximal vorliegenden Massen und ein Vergleich mit den Grundannahmen des radiologischen Modells für die Exposition und der Ausschöpfung des Dosisrichtwerts 10 μ Sv/a. Ist der sich ergebende Wert niedriger als die Freigrenze, besteht für das betreffende Nuklid kein Konflikt.
- Für die immer noch verbleibenden Nuklide wird untersucht, welche Konservativitäten durch die Messverfahren gem. DIN 25457 Teile 1 und 4 entstehen. Derartige Konservativitäten führen dazu, dass der nominelle Ausschöpfungsgrad der Freigabewerte durch die real vorhandene Aktivität zwangsläufig deutlich unterschritten wird. Ist der sich ergebende Wert der real höchstens vorhandenen Aktivität niedriger als die Freigrenze, besteht für das betreffende Nuklid kein Konflikt.

Nach Durchlaufen dieses mehrstufigen Verfahrens kann entschieden werden, ob Nuklide existieren, für die auch nach dem letzten Schritt noch ein Konflikt mit den neuen Freigrenzen auftreten könnte, wenn bei der Freigabe die Freigabewerte nach Sp. 10a angewendet werden. In diesem Fall müssten dann entweder die betreffenden Freigabewerte nach Sp. 10a oder die Randbedingungen in Anl. IV Teil G angepasst werden.

3.2 WERTE ZUR UNEINGESCHRÄNKTEN FREIGABE VON BAUSCHUTT, BODENAUSHUB UND BODENFLÄCHEN

Für die in Punkt 2.2 genannten Stoffe erfolgt eine analoge Untersuchung, wie sie für Metallschrott in Punkt 3.1 dargestellt wurde. Es werden dann allerdings die jeweiligen Randbedingungen nach Anl. IV Teile A, F bzw. E einbezogen.

3.3 WERTE ZUR FREIGABE VON GEBÄUDEN ZUM ABRISS

Für die in Punkt 2.3 genannten Gebäude zum Abriss bzw. den daraus hervorgehenden Bauschutt erfolgt eine analoge Untersuchung, wie sie für Metallschrott in Punkt 3.1 dargestellt wurde. Es gelten dann allerdings die jeweiligen Randbedingungen nach Anl. IV Teil D. Eine Umrechnung von flächenbezogen angegebenen Freigabewerten in massenbezogene Werte erfolgt analog zur Formel in Anl. IV Teil E Nr. 5, so dass ein Vergleich überhaupt möglich ist.

3.4 FREIGABE VON FLÜSSIGKEITEN

Die Aufstellung abdeckender Szenarien für (alle Arten von) Flüssigkeiten erfolgt analog zur Vorgehensweise in RP¹⁾ 65, RP 122 Teil 1 oder SR 44, indem versucht wird, einige wenige abdeckende Szenarien zu finden, die alle Expositionsmöglichkeiten (externe Bestrahlung, direkte und ggf. Sekundär-Ingestion, Inhalation und ggf. Hautkontamination) abdeckend beschreiben. Hierbei werden auch Aufkonzentrationen und Filtrationen berücksichtigt. Sofern ein solcher Szenariensatz erstellt werden kann, werden Freigabewerte auf Basis eines Richtwerts von 10 µSv/a für die effektive Individualdosis in gleicher Weise wie in den genannten Untersuchungen berechnet (Auswertung zunächst jedes Szenarios einzeln, ggf. Zusammenfassung mehrerer Szenarien zur Beschreibung einer Expositionssituation mit mehreren Beiträgen, Bildung des maximalen Dosisbeitrags, Ermittlung derjenigen Aktivität, die im Maximum-Szenario gerade zu einer Ausschöpfung von 10 µSv/a führt; Wiederholung der Schritte für jedes Nuklid).

4. DURCHFÜHRUNG

4.1 PRÜFUNG DER FREIGABEWERTE DER ANL. III TAB. 1 SP. 10A STRLSCHV ZUR METALLREZYKLIERUNG AUF KONSISTENZ MIT DEN NEUEN FREIGRENZEN DER EURATOMGRUNDNORMEN

Die Prüfung für den Satz der Freigabewerte der Anl. III Tab. 1 Sp. 10a StrlSchV zur Metallrecycling wurde durchgeführt. Hierbei wurde der - ggf. bei Aufgabenstellung und in der Anfangsphase des Vorhabens nicht ausreichend gewürdigte - Umstand berücksichtigt, dass SR 44 sowie RS-G-1.7 und somit auch die neuen Euratom-Grundnormen nicht davon ausgehen, dass die Nebenprodukte Schlacke und Staub, die beim Einschmelzen anfallen könnten, jeweils die berechneten Freigrenzen unterschreiten könnten. Vielmehr wird hierbei das jeweils individuelle Aufkonzentrationsverhalten aller Radionuklide in beiden Stoffen durch Auswertung der Massenanteile im Schmelzprozess sowie der Partitionierungsfaktoren in vollem Umfang berücksichtigt und in die Modellierung bez. des Dosisrichtwerts 10 µSv/a einbezogen. Es ist somit aus den Szenarien in SR 44 sowie RS-G-1.7 intrinsischen Gründen nicht möglich zu zeigen, dass für alle Radionuklide die Aktivität in Schlacken und Stäuben die neuen Freigrenzen der Euratom-Grundnormen unterschreiten würde.

4.2 WERTE ZUR UNEINGESCHRÄNKTEN FREIGABE VON BAUSCHUTT, BODENAUSHUB UND BODENFLÄCHEN

Mit der analogen Betrachtung und Modellierung der Freigabewerte für Bauschutt wurde unter Anwendung der in Punkt 3.2 genannten Methodik begonnen.

5. ERGEBNISSE

Im Berichtszeitraum erfolgte die Prüfung der Freigabewerte der Anl. III Tab. 1 Sp. 10a StrlSchV zur Metallrecycling auf Konsistenz mit den neuen Freigrenzen der Euratom-Grundnormen.

In dem in Punkt 3.1 genannten mehrstufigen Verfahren konnte dargestellt werden, dass für kein Radionuklid bei Freigabe unter Anwendung der Freigabewerte nach Anl. III Tab. 1 Sp. 10a StrlSchV ein Konflikt mit den

¹⁾ Radiation Protection

neuen Freigrenzen besteht. Es sind daher weder Anpassungen der Freigabewerte der Sp. 10a noch der Randbedingungen in Anl. IV Teil G StrlSchV notwendig.

6. GEPLANTE WEITERARBEIT

Die Weiterarbeit in der ersten Jahreshälfte 2015 wird sich in Übereinstimmung mit dem Zeitplan dieses Vorhabens auf die Betrachtung der Freigabe von Bauschutt/Bodenaushub sowie Bodenflächen (Einzelziel 2.2) konzentrieren. Parallel wird mit der analogen Betrachtung für Gebäude zum Abriss (Einzelziel 2.3) begonnen werden.

Thema

Überarbeitung der Strahlenschutzverordnung bez. der Freigrenzen von radioaktiven Stoffen zur Umsetzung der neuen EURATOM-Grundnormen in deutsches Recht

Subject

Revision of the Radiation Protection Ordinance with respect to the exemption values for radioactive substances for the transposition of the new EURATOM Basic Safety Standards into German legislation

Kennzeichen
3614S70051

Beginn
01.08.2014

Ende
31.07.2017

Fördermittel
EUR 220.174,-

Forschungs- / Auftragnehmer
Brenk Systemplanung GmbH, Aachen

Projektleitung
Dr. S. Thierfeldt

Fachbetreuung BfS
Dr. R. Merk / SW 1.6

verantwortlich für den Text
Dr. S. Thierfeldt, Dr. R. Kunz

1. ZIELSETZUNG

Auf Grund der im Dezember 2013 erfolgten Verabschiedung der neuen europäischen Grundnormen im Strahlenschutz (Euratom-Grundnormen) wird sich in Deutschland eine Neustrukturierung des Strahlenschutzrechts ergeben, welche auch die bisherigen Regelungen zu Freigrenzen und zur Freigabe radioaktiver Stoffe betreffen wird. In den Euratom-Grundnormen ist für die Freigrenzen und die Freigabewerte ein gemeinsamer Wertesatz (radionuklidspezifische, massenbezogene Aktivitätswerte) vorgesehen. Die Zahlenwerte basieren auf den Empfehlungen Safety Guide RS-G-1.7 und Safety Report 44 (SR 44) der IAEA.

Für Radionuklide, für die in den Euratom-Grundnormen keine Freigrenzen bereitgestellt werden, sollen im Rahmen des vorliegenden Forschungsvorhabens (FV) solche in der gleichen Weise wie SR 44 der IAEA abgeleitet werden. Darüber hinaus ist bei einer Umsetzung der neuen Freigrenzen in deutsches Recht sicherzustellen, dass die Schnittstelle zur Freigabe fachlich und rechtlich widerspruchsfrei hergestellt wird.

2. EINZELZIELSETZUNG

2.1 BERECHNUNG NEUER FREIGRENZEN UND VERGLEICH MIT BEREITS EXISTIERENDEN FREIGRENZEN

Da die Berechnung von Freigrenzen in SR 44 nur für solche Radionuklide erfolgte, für die auch in den gegenwärtigen Grundnormen der IAEA Freigrenzen existieren (dies entspricht im Wesentlichen dem Satz von Freigrenzen der Empfehlung RP¹⁾ 65 der Europäischen Kommission), enthalten die neuen Euratom-Grundnormen ebenfalls nur Freigrenzen bzw. Freigabewerte für ca. 250 Radionuklide. Die in diesem FV durchgeführten Rechnungen erweitern den Satz von Freigrenzen bzw. Freigabewerten auf die vollständige Liste der Anl. III Tab. 1 StrlSchV, welche ca. 800 Radionuklide umfasst.

2.2 UNTERSUCHUNG VON FACHLICHEN RANDBEDINGUNGEN

Zu den fachlichen Randbedingungen, die bei der Berechnung des vollständigen Satzes der Freigrenzen bzw. Freigabewerte zu klären sind, gehört die Rolle der natürlich vorkommenden Radionuklide (K-40 und Nuklide der Zerfallsreihen von U-238, U-235 und Th-232), die in SR 44 und RS-G-1.7 nur pauschal mit nicht auf Szenarien basierten Freigrenzen/Freigabewerten von 10 Bq/g bzw. 1 Bq/g aufgeführt sind, die Betrachtung des zweiten Szenariensatzes, der sog. „Low-probability“-Szenarien in SR 44, welche gegen eine effektive Individualdosis von 1 mSv/a gerechnet sind und deutlich konservativer als die „realistischen“ Szenarien auf Basis von 10 µSv/a sind, die Untersuchung der Behandlung verschiedener Stoffsorten, insbesondere flüssiger Abfälle, in den Szenarien, und die Behandlung der Tochternuklide bei der Berechnung der Freigrenzen/Freigabewerte.

¹⁾ Radiation Protection

2.3 ANALYSE DER KONSEQUENZEN EINER ANWENDUNG NEUER FREIGRENZEN

Die Analyse der Konsequenzen einer Anwendung neuer Freigrenzen bezieht sich insbesondere auf die Bewertung der Auswirkungen des neuen Satzes von Freigrenzen der Euratom-Grundnormen auf die Vollzugspraxis, d. h. wie sich der bisherige operationelle oder administrative Aufwand im Bereich der Industrie sowie der Medizin und Forschung darstellt und mit welchem Aufwand künftig zu rechnen wäre. Hierbei wird insbesondere untersucht, ob bisher die massenbezogenen Freigrenzen oder die Freigrenzen der Gesamtaktivität angewendet werden. Fälle, in denen die Regelungen oder Genehmigungen nicht auf der Basis der Gesamtaktivität sondern auf Basis der massenbezogenen Aktivität getroffen wurden, sind für diese Analyse besonders relevant. Des Weiteren bezieht sich diese Analyse auf den Umgang mit Funden radioaktiv kontaminierter Stahls sowie allgemein auf Funde radioaktiver Stoffe im Sinne von § 71 StrlSchV.

2.4 PRÜFUNG DER DEN BISHERIGEN WERTEN FÜR DIE UNEINGESCHRÄNKTE FREIGABE UND DEN FREIGRENZEN (RP 65) ZUGRUNDE LIEGENDEN SZENARIEN AUF KONSISTENZ UND VOLLSTÄNDIGKEIT

In diesem Rahmen werden die chronologische und fachliche Entwicklung der bisherigen Expositionsszenarien zu Freigrenzen und zur uneingeschränkten Freigabe vollständig zusammengetragen und erläutert. Analog wird die parallel verlaufende Entwicklung der rechtlichen Situation bei Freigrenzen und bei der uneingeschränkten Freigabe in Deutschland vollständig zusammengetragen. Die Expositionsszenarien in diesem Zusammenhang werden mit denjenigen aus den SR 44 und RP 65 verglichen und es werden evtl. Inkonsistenzen herausgearbeitet. In diesem Fall wird geprüft, ob durch die Umsetzung der Euratom-Grundnormen hier Abhilfe geschaffen werden kann oder ob weitere Ergänzungen zu den Regelungen der EU-Grundnormen im neuen Strahlenschutzrecht erforderlich wären.

3. METHODIK

Zur Erreichung der in Abschnitt 2 genannten Ziele werden folgende Methoden eingesetzt:

3.1 BERECHNUNG NEUER FREIGRENZEN UND VERGLEICH MIT BEREITS EXISTIERENDEN FREIGRENZEN

Die Berechnung des vollständigen Satzes von Freigrenzen erfolgt mit exakt denselben Szenarien, Parameterwerten und Randbedingungen, wie sie auch in SR 44 angewendet wurden. Die Excel-Arbeitsblätter wurden erstellt und auf den vollständigen Satz von Freigrenzen/Freigabewerten erweitert.

3.2 UNTERSUCHUNG VON FACHLICHEN RANDBEDINGUNGEN

Die in 2.2 genannten fachlichen Randbedingungen werden z. T. durch Vergleich von Szenarien und Parametern für die beiden Sätze von Szenarien, z. T. durch Untersuchung von erweiterten Szenarien für weitere Stoffsorten untersucht. Für die Diskussion des Begriffs "moderate quantities" erfolgt eine Sichtung aller vorliegenden Primärliteratur sowie die Analyse der den betreffenden Szenarien zu Grunde liegenden Annahmen (Parameter).

3.3 ANALYSE DER KONSEQUENZEN EINER ANWENDUNG NEUER FREIGRENZEN

Zur Analyse der Konsequenzen einer Anwendung neuer Freigrenzen erfolgt die Abfrage der Auswirkungen der in 2.3 genannten Änderungen in verschiedenen Bereichen, in denen genehmigter Umgang mit Radionukliden erfolgt bzw. in denen eine Freistellung von einer solchen Genehmigung erfolgte. Insbesondere wird erfragt, ob sich die Notwendigkeit der Genehmigung bzw. die Freistellung auf Grund massenbezogener Freigrenzen oder der Freigrenzen für die Gesamtaktivität ergibt. Daneben werden die typischen Funde radioaktiver Stoffe im Sinne von § 71 StrlSchV analysiert und der Aktivitätsgehalt von Gegenständen des täglichen Bedarfs im Hinblick auf evtl. Überschreitungen der neuen Freigrenzen der Euratom-Grundnormen untersucht. Würde sich beispielsweise herausstellen, dass der Aktivitätsgehalt von H-3 oder C-14 in handelsüblichen Materialien die neuen Freigrenzen überschritte, würde derartiges Material in dem Fall, dass § 71 StrlSchV auf den neuen Freigrenzen basieren würde, bei einem „Fund“ meldepflichtig sein.

3.4 PRÜFUNG DER DEN BISHERIGEN WERTEN FÜR DIE UNEINGESCHRÄNKTE FREIGABE UND DEN FREIGRENZEN (RP 65) ZUGRUNDE LIEGENDEN SZENARIEN AUF KONSISTENZ UND VOLLSTÄNDIGKEIT

Zu diesem Punkt erfolgen im Wesentlichen eine Durchsicht aller Szenarien und ein Vergleich der Parameterwerte, jeweils unter Berücksichtigung des Geltungsbereichs (Menge der Stoffe, auf die sie sich beziehen).

4. DURCHFÜHRUNG

4.1 BERECHNUNG NEUER FREIGRENZEN UND VERGLEICH MIT BEREITS EXISTIERENDEN FREIGRENZEN

Die Arbeiten zu Punkt 2.1 wurden vollständig durchgeführt. Ein vollständiger Satz von Freigrenzen/Freigabewerten liegt für alle ca. 800 Nuklide vor. Dieser Wertesatz entspricht exakt der Vorgehensweise gem. SR 44. Eine Konsistenzprüfung erfolgte dadurch, dass die in SR 44 vorhandenen Werte reproduziert werden konnten. Für sehr kurzlebige Radionuklide (Halbwertszeit im Bereich von Tagen und kürzer) wurde formal die Berechnung analog zu den Radionukliden mit längeren Halbwertszeiten durchgeführt. Da sich auf Grund der Annahmen zum radioaktiven Zerfall vor Beginn des jeweiligen Szenarios und während dessen Dauer allerdings für sehr kurzlebige Radionuklide keine sinnvollen Berechnungsergebnisse erzielen lassen, wurde in diesem Fall empfohlen, die bisherigen massenbezogenen Freigrenzen anzuwenden.

Die Ergebnisse wurden nach verschiedenen Gesichtspunkten (führende Szenarien, Abhängigkeit von den Halbwertszeiten usw.) ausgewertet und in Berichtsform dargestellt.

4.2 UNTERSUCHUNG VON FACHLICHEN RANDBEDINGUNGEN

Die Untersuchungen zu diesem Punkt wurden begleitend zu der Berechnung des neuen Wertesatzes durchgeführt, da diese z. T. notwendige Voraussetzungen enthalten (z. B. Festlegung der Vorgehensweise zur Einbeziehung von Tochternukliden, Umgang mit Radionukliden mit sehr kurzer Halbwertszeit usw.). Diese Randbedingungen wurden dargestellt.

5. ERGEBNISSE

Im Berichtszeitraum erfolgte der Abschluss der Berechnung neuer Freigrenzen und der Vergleich mit bereits existierenden Freigrenzen (Einzelziel 2.1) sowie die Bearbeitung wesentlicher fachlicher Randbedingungen hierzu (Einzelziel 2.2), deren Darstellung für die Berechnung der Werte der Freigrenzen notwendig sind.

5.1 BERECHNUNG NEUER FREIGRENZEN UND VERGLEICH MIT BEREITS EXISTIERENDEN FREIGRENZEN

Die Berechnung der neuen Freigrenzen ist abgeschlossen. Auf Grund ihres Umfangs kann die vollständige Tabelle hier nicht reproduziert werden. Die in SR 44 bereits vorhandenen Werte werden reproduziert. Alle anderen Werte beruhen auf demselben Rechenverfahren.

5.2 UNTERSUCHUNG VON FACHLICHEN RANDBEDINGUNGEN FÜR DIE BERECHNETEN FREIGRENZEN

Im Rahmen der bereits untersuchten Randbedingungen ist vor allem hervorzuheben, dass für Radionuklide mit kurzer Halbwertszeit die Anwendung der bisherigen massenbezogenen Freigrenzen notwendig ist, da keine sinnvollen Werte auf Basis der Szenarien nach SR 44 berechnet werden können. Für Radionuklide, die in SR 44 und RS-G-1.7 ausschließlich als "natürlich" behandelt wurden, liegen nun ebenfalls auf der Basis von Szenarien abgeleitete Werte vor. Diese sind nun als konsistent zu den übrigen Freigrenzen anzusehen und können bei Freigaben etwa aus Anlagen des Brennstoffkreislaufs für U-238 und Th-232 verwendet werden.

6. GEPLANTE WEITERARBEIT

Die Weiterarbeit in der ersten Jahreshälfte 2015 wird sich in Übereinstimmung mit dem Zeitplan dieses Vorhabens auf den Abschluss der Arbeiten zur Untersuchung von fachlichen Randbedingungen (Einzelziel 2.2)

sowie die Analyse der Konsequenzen einer Anwendung neuer Freigrenzen in der Praxis des Vollzugs der StrlSchV (Einzelziel 2.3) beziehen. Durch den Abschluss von Einzelziel 2.2 wird sichergestellt, dass nicht nur die Werte, sondern auch alle Randbedingungen für deren Anwendung zur Verfügung stehen.

In der ersten und zweiten Jahreshälfte 2015 ist die Bearbeitung der Prüfung der den bisherigen Werten für die uneingeschränkte Freigabe und den Freigrenzen (RP 65) zu Grunde liegenden Szenarien auf Konsistenz und Vollständigkeit (Einzelziel 2.4) geplant.

Themenbereich 08
Nichtionisierende Strahlung

Subject area 08
Non-ionising radiation

Thema			
Einfluss hochfrequenter elektromagnetischer Felder auf Gehirnaktivität, Schlaf und kognitive Leistungsfähigkeit älterer Frauen			
Subject			
<i>Effect of high frequency electromagnetic fields on brain activity, sleep and cognitive performance in elderly women</i>			
Kennzeichen	Beginn	Ende	Fördermittel
3614S30012	15.08.2014	30.04.2016	EUR 349.143,-
Forschungs- / Auftragnehmer			
Kompetenzzentrum Schlafmedizin, Charité - Universitätsmedizin, Campus Benjamin Franklin, Berlin			
Projektleitung	Fachbetreuung BfS	verantwortlich für den Text	
Prof. Dr. H. Danker-Hopfe	PD Dr. B. Pophof / AG-SG 1.4	Prof. Dr. H. Danker-Hopfe, Dr. H. Dorn	

1. ZIELSETZUNG

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 Frauen 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 gemessene Hirnaktivität und die kognitive Leistungsfähigkeit unter einer mehrstündigen Exposition mit simulierten Signalen der Endgeräte nach dem GSM- und dem TETRA-Standard. Das Schlaf-EEG¹⁾ 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 (3613S30012)) zu diesem Forschungsvorhaben.

2.1 DOSIMETRISCHE ANALYSE UND TECHNISCHE BETREUUNG DER EXPOSITIONSANLAGE

Im Pilotprojekt zu diesem Forschungsvorhaben wurde von der Firma Seibersdorf Labor GmbH eine Expositionsanlage entwickelt, die für den Einsatz in diesem Projekt dosimetrisch charakterisiert werden muss. Dazu zählen

- eine Basisdosimetrie und Unsicherheitsanalyse für die Expositionsanlage
- eine Hirnregion-spezifische dosimetrische Analyse (inkl. thermischer Berechnungen)
- eine messtechnische Erfassung der Hintergrundfelder am Probandenplatz.

Darüber hinaus wird die Expositionsanlage bis zum Ende der Studiendauer technisch von der Seibersdorf Labor GmbH betreut und gewartet.

¹⁾ Elektroenzephalogramm

2.2 PROBANDINNENREKRUTIERUNG UND DATENERHEBUNG

Es sollen 20 Frauen im Alter von 60 bis 80 Jahren in die Studie eingeschlossen werden. Um an der Studie teilnehmen zu können, muss eine Probandin Rechtshänderin und Nichtraucherin sein, sie darf keine Medikamente einnehmen, die auf das zentrale Nervensystem wirken, sie darf subjektiv keine Schlafstörung haben sowie keine psychische Erkrankung aktuell und in der Vorgeschichte.

3. METHODIK

3.1 EXPOSITION UND DOSIMETRIE

Für die effiziente doppelt verblindete und randomisierte Befeldung der Probandinnen wurde eine Doppel-Expositionsanlage entwickelt. Diese Anlage erlaubt die parallele Befeldung des Probandinnenkollektivs an zwei unabhängigen Testplätzen, d. h. die gesamte Hardware der Anlage ist zweifach ausgeführt. Auch die zugehörige Steuer- und Monitoringsoftware ist zweifach (auf zwei unterschiedlichen Laptop Computern) vorhanden, wobei, zur Sicherstellung der Konsistenz des Befeldungsschemas, beide Softwaremodule aber auf einen zentralen Datensatz für die Zulosung und Speicherung der Expositionsdaten zugreifen. Die Befeldung der Probandinnen erfolgt mittels einer am Kopf der Probandinnen 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 PROBANDINNEN

Nach erfolgreichem Screening und Einschluss in die Studie durchlaufen alle Probandinnen 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 Probandinnen durchlaufen alle Expositionsbedingungen (cross-over Design).

4. DURCHFÜHRUNG

4.1 PROBANDINNEN

Die 20 gesunden Probandinnen müssen zwischen 60 und 80 Jahren alt sein. Die Gewöhnungsnacht, die gleichzeitig auch als Screeningnacht gilt, darf keinen Anhalt für das Vorliegen einer schlafbezogene Atmungs- oder Bewegungsstörung ergeben. Die Person muss einen geregelten Schlaf-Wach-Rhythmus ohne Schichtdienst (bei denjenigen, die noch berufstätig sind) 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, leichten 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 Vormittag 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

Nach Konzeptionierung und Aufbau der Expositionsanlage sowie Validierung des Antennenmodells erfolgten umfangreiche numerische Berechnungen für die detaillierte Analyse und Unsicherheitsabschätzung bezüglich der Absorption im Kopf der Probandinnen. Als potenzielle Einflussgrößen wurden einerseits anatomische Variationen durch Verwendung zweier deutlich unterschiedlicher Kopfmodelle (Erwachsenenmodell „Ella“ als typisches weibliches Modell und das Modell des 14-jährigen Knaben „Louis“ Repräsentant einer sehr zierlichen erwachsenen Person; beide Modelle aus der Virtual Population der IT'IS Foundation, Schweiz) mit zusätzlicher Skalierung der Kopfgröße in anatomisch realistischen Bereichen und andererseits Unsicherheiten bezüglich der dielektrischen Gewebeeigenschaften, Hautfeuchteschwankungen im Bereich der Antenne, Variationen der Antennenposition am Kopf, Einfluss der EEG-Elektroden sowie Schwankungen des Antenneneingangreflexionsfaktors betrachtet. Die ermittelte resultierende Gesamtunsicherheit der Exposition (SAR 10 g im Gehirn) beträgt $< \pm 40\%$ für TETRA-Exposition und $< \pm 45\%$ für GSM900-Exposition.

Des Weiteren wurden numerische Berechnungen der Gewebetemperaturerhöhungen zufolge der Exposition bzw. des Tragens der Antenne durchgeführt. An der Hautoberfläche (zwischen Antenne und Hautoberfläche) konnten die numerischen Berechnungen validiert werden. Die an der Hautoberfläche berechneten bzw. gemessenen Temperaturerhöhungen während der Exposition betragen weniger als 1 °C (TETRA) bzw. weniger als $0,8\text{ °C}$ (GSM900). Im temporalen Kortex (Gehirnregion mit größter Absorption) lagen die berechneten Temperaturerhöhungen zufolge der Exposition bei weniger als $0,05\text{ °C}$ (TETRA) bzw. $0,025\text{ °C}$ (GSM900).

5.2 REKRUTIERUNG UND UNTERSUCHUNG DER PROBANDINNEN

Für die Studie haben sich bis Ende Dezember 2014 39 Interessentinnen gemeldet. Davon haben 24 Frauen die Fragebögen ausgefüllt, die notwendig sind, um zu überprüfen, ob sie für eine Studienteilnahme geeignet sind. Die restlichen 15 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 11 Frauen zur medizinischen Voruntersuchung eingeladen, 9 davon konnten zur Gewöhnungsnacht aufgenommen werden, vier Probandinnen konnten nach der Gewöhnungsnacht bisher in die Studie eingeschlossen werden.

6. GEPLANTE WEITERARBEIT

Die Datenerhebung wird für geeignete Probandinnen fortgeführt. Parallel dazu werden neue Probandinnen für die Studie rekrutiert. Die erhobenen Daten werden einer Qualitätskontrolle unterzogen und unter Wahrung der Anonymität vorausgewertet.

Thema

Analyse des öffentlichen Diskurses zu gesundheitlichen Auswirkungen von Hochspannungsleitungen - Handlungsempfehlungen für die strahlenschutzbezogene Kommunikation beim Stromnetzausbau

Subject

Analysis of public discourse on health effects of high voltage power lines - recommendations for radiation protection-related communication in current grid expansion

Forschungs- / Auftragnehmer

Hochschule Weihenstephan-Triesdorf, Lehrgebiet Ländliche Entwicklung/Regionalmanagement, Freising

Projektleitung

Prof. Dr. Dr. O. Kühne

Fachbetreuung BfS

C. Eglomassé-Roidl / AG-SG 1.4

verantwortlich für den Text

Prof. Dr. Dr. O. Kühne,
Dr. F. Weber, C. Jenal, T. Sanio

1. ZIELSETZUNG

Gegenstand der Untersuchung ist die diskurstheoretische Analyse zentraler Argumentationsmuster innerhalb des öffentlichen Diskurses zum Stromnetzausbau mit einem Schwerpunkt auf wahrgenommenen gesundheitlichen Auswirkungen von Hochspannungsleitungen unter Berücksichtigung verschiedener Akteursgruppen. In den Mittelpunkt rücken dabei die Fragen nach der Konstitution bestimmter Deutungen und die Wirkmächtigkeit spezifischer Argumentationsmuster, die zur Machtentfaltung bestimmter Positionen führen. Ein Verständnis dieser Prozesse kann die Grundlage dafür bilden, Problemlagen bei Kommunikationsstrategien und Dialogprozessen in Richtung einer bestimmten Position zu verstehen und einzuordnen sowie gar stereotyp verlaufende Debatten in konstruktivere Richtungen zu lenken, um darüber vor diesem Hintergrund eine gesundheitspolitische Aufklärung durch Handlungsempfehlungen für die strahlenschutzbezogene Kommunikation beim Stromnetzausbau aufbauen zu können.

2. EINZELZIELSETZUNG

Das Vorhaben beinhaltet innerhalb des ersten Arbeitspaketes (November 2014 bis einschließlich Januar 2015) folgende Einzelzielsetzungen:

- Darstellung des theoretischen Zugriffs über eine konstruktivistische Herangehensweise und diskurstheoretische Ausrichtung
- quantitative und in Auszügen qualitative Analyse frei zugänglicher wissenschaftlicher Studien und Publikationen zum Thema Stromnetzausbau ab dem Jahr 2009, ergänzend ab dem Jahr 2000 zur Herausstellung dominanter Schwerpunkte in den Studien, um Vergleiche zu Diskursen zu ermöglichen, die mit dem Stromnetzausbau in Beziehung gesetzt werden können
- Überblick über Öffentlichkeitsarbeit und Kampagnen im Kontext des Stromnetzausbaus und gesundheitlicher Aufklärung sowie Detailanalyse von fünf Fallstudien zur Untersuchung von Vorgehensweisen und (wiederkehrenden) Argumentationsmustern
- regional-geographischer Überblick über Bürgerinitiativen und deren Aktionen zur Identifikation regionaler Schwerpunkte des Widerstandes
- Zusammenstellung bisheriger Untersuchungen, in Auftrag gegeben von Bundes- und Landesministerien sowie deren angeschlossenen Bundesämtern, -anstalten, -agenturen und -instituten als Überblicksdarstellung.

3. METHODIK

- Korpuszusammenstellung auf Grundlage einer internet-basierten Online-Recherche frei zugänglicher Dokumente. Zur Analyse des Diskurses zu gesundheitlichen Auswirkungen von Hochspannungsleitungen in wissenschaftlichen Studien und Publikationen sowie Öffentlichkeitsarbeit und Kampagnen erfolgt eine Triangulation quantitativer und qualitativer Methoden, die den Prämissen der Diskurstheorie von Ernesto Laclau und Chantal Mouffe folgen.
- Internet-basierte Online-Recherche und quantitative Auswertung inkl. kartographischer Darstellung.

4. DURCHFÜHRUNG

- Zusammenstellung digitaler Textkorpora als Grundlage für PC-gestützte quantitativ-lexikometrischer Analysen. Anhand von Frequenzanalysen wurde ermittelt, wie absolut oder relativ häufig Wörter und Wortfolgen im Gesamtkorpus sowie in einem bestimmten Segment des Korpus vorkommen und damit konstitutiv für das Korpus sind. Mittels der Analyse narrativer Muster wurde qualitativ textbasiert im Detail auf ausgewählte Argumentationsmuster geblickt, um die quantitativen Ergebnisse ergänzend zu rahmen und einzuordnen.
- Qualitative Analyse narrativer Muster sowie diskurstheoretisch-orientierte Bild- und Filmanalyse von ausgewählten Ansätzen der Öffentlichkeitsarbeit und Kampagnen zur Erfassung wiederkehrender Argumentationslogiken, mit der aktuelle Bedeutungen fixiert werden.
- Clusterung der ermittelten Bürgerinitiativen nach regionalen Kriterien, Erfassung genereller Ziele und Argumentationslinien sowie Überblicksdarstellung durchgeführter Aktionen.
- Einordnung der erhobenen Studien nach verschiedenen administrativen Ebenen und Themenfeldern.

5. ERGEBNISSE

Vereinfachend lassen sich zwei Lager identifizieren, die einander antagonistisch gegenüber stehen und sich in der Art und Weise, wie sie ihre Zielsetzungen kommunizieren, teilweise markant ausschließen: Befürworter des Netzausbaus bilden die eine Seite. Sie argumentieren stark kognitiv über die technische Notwendigkeit des Netzausbaus, ohne den die zukünftige Versorgungssicherheit nicht zu gewährleisten sei und die Energiewende nicht gelinge. Hegemonial verankert ist das Argument, dass der Netzausbau erfolgen muss, da sonst das derzeitige Energieversorgungssystem einer umfänglichen Energieversorgung nicht mehr aufrechtzuerhalten sei. Gesundheit, elektrische und magnetische Felder und Strahlenschutz stehen dabei nicht im Fokus - entscheidend ist die technische Umsetzung. Auf der anderen Seite stehen Skeptiker und Gegner, die stärker gesundheitsbezogene Fragestellungen und gesundheitliche Risiken thematisieren. Als Konfliktfelder dominieren die diskursiven Verknüpfungen des Netzausbaus zu Gesundheit, Landschaft, Wirtschaft und Tourismus sowie Naturschutz, die immer wieder auf vergleichbare Weise (re)produziert werden. Bei den Veröffentlichungen gerät Gesundheit bei solchen in den Mittelpunkt, die einen Fokus auf Gesundheitsaspekte und Strahlenschutz legen und in denen wiederum teilweise ein Expertendiskurs dominiert, der nur begrenzt für Laiinnen und Laien anschlussfähig ist beziehungsweise von ihnen rezipiert wird.

Während bei der Öffentlichkeitsarbeit der Bundesnetzagentur und den Übertragungsnetzbetreibern Amprion GmbH und TenneT TSO GmbH gesundheitsbezogene Argumente in weitere Erläuterungen eingebunden sind und nicht zentral im Fokus stehen, sind bei der Internetkommunikation der Bürgerinitiative „Trassenwahn“ Gesundheit und ‚Strahlung‘ hegemonial als Begründung zur Ablehnung der Stromtrasse verankert. Die Gewichtung bei der Bundesnetzagentur und den Übertragungsnetzbetreibern scheint diesem Ergebnis bisher nicht vergleichbar Rechnung zu tragen.

Während sich die Gegner der Trassen insbesondere in Bayern zur gänzlichen Verhinderung der Stromtrassen formieren, da sie als eine im Rahmen der Energiewende nicht notwendige Maßnahme erachtet wird, setzen sich die Bürgerinitiativen in Niedersachsen und Nordrhein-Westfalen mehrheitlich für eine Umsetzung der Trasse in Form einer Erdverkabelung ein. In Baden-Württemberg dagegen werden im Kontext der Energiewende dezentrale Lösungen und die weitere Erforschung von Alternativen zum Bau einer neuen Trasse - gleich ob als Freileitung oder Erdverkabelung - favorisiert. Als dominierende Beweggründe für den Widerstand lassen sich Landschafts- und Gesundheitsaspekte identifizieren, die von ökonomischen und naturschutzfachlichen Argumenten flankiert werden.

Eine Aufgliederung nach administrativen Ebenen zeigt eine deutliche Schwerpunktbildung der Herausgeber-schaft auf Seiten der Bundesebene. Die Schwerpunkte der von Ministerien, angeschlossenen Bundesämtern und -instituten veröffentlichten Untersuchungen liegen deutlich im Bereich des Netzausbaus, gefolgt von Veröffentlichungen aus den Feldern ‚Magnetfelder/Gesundheit‘ und ‚Windkraft‘.

6. GEPLANTE WEITERARBEIT

Vor dem Hintergrund bisheriger Ergebnisse gilt es für das weitere Forschungsvorhaben, gerade die Einbettung, die Verankerung und die Bedeutung gesundheitsbezogener Fragestellung sowie des Strahlenschutzes im Detail zu untersuchen.

Zur Erfassung des medialen sowie des Internetdiskurses werden im zweiten Arbeitspaket (AP 2) online verfügbare Artikel von Zeitungen und Wochenmagazinen sowie Internetseiten zum Stromnetzausbau auf Basis einer Google-Recherche ausgewertet. Darüber hinaus werden Talkshows einbezogen, die Meinungen mit verfestigen. Mit diesem Fokus wird gerade auch der Bedeutung von Massenmedien Rechnung getragen, die für die gesamtgesellschaftliche Konstruktion von Wirklichkeit eine besondere Bedeutung aufweisen.

Mittels Interviews mit unterschiedlichen Vertretern von Institutionen und Initiativen sollen aktuelle Informationen erfasst werden, gleichzeitig sollen Argumentationsmuster im Detail identifiziert und analysiert werden, um so auch bisher nicht nachgezeichneten Deutungen nachzuspüren beziehungsweise gerade Muster zu beleuchten, die vielleicht weniger offiziell kommuniziert werden. Neben Befürwortern sollen gerade auch Gegner befragt werden. So soll untersucht werden, welche Positionen zu Gesundheitsrisiken eingenommen werden und welchen Argumenten gesundheitlicher Aufklärung die jeweiligen Gesprächspartner zugänglich scheinen, um eine Grundlage für die Ableitung von Kommunikationsempfehlungen und Verfahren zum Strahlenschutz im dritten Arbeitsschritt zu schaffen.

Ergänzend werden verschriftliche Diskurse von Gemeinden und Bürgerinitiativen einer Detailanalyse unterzogen, um so zu beleuchten, wer sich in seinen Argumentationen auf wen mit welchen Informationen bezieht. Inwieweit kommt es auch zur Zusammenarbeit von Kommunen, Landkreisen und Bürgerinitiativen? Neben einer quantitativen Auswertung wird zwei Gemeinden und zwei Bürgerinitiativen hier besondere Aufmerksamkeit geschenkt werden.

Im dritten Arbeitspaket (AP 3) werden darauf aufbauend Empfehlungen für die gesundheitliche Aufklärung abgeleitet. In besonderem Maße wird auf die praktische Anwendbarkeit der Empfehlungen und angepasste Vorgehensweisen geachtet - auch mit dem Ziel, größtmögliche Verfahrensgerechtigkeit zu wahren beziehungsweise zu erreichen. Es wird anschließend geprüft, inwieweit sich Empfehlungen und Vorgehensweisen auch auf andere Konfliktfelder - hier konkret bezogen auf die Endlagersuche - übertragen lassen. Während im zweiten Arbeitspaket aus analytischer Perspektive der Diskurs und die normativen Implikationen rund um den Stromnetzausbau ausdifferenziert werden, wird in Arbeitspaket drei nach konkreten, zielorientierten Handlungs- und Kommunikationsmöglichkeiten gesucht.

2014 begonnene Forschungsvorhaben, zu denen noch keine Ergebnisse vorliegen

Research projects initiated in 2014 of which results are not available yet

THEMENBEREICH 03 / STRAHLENBIOLOGIE - WIRKUNG VON IONISIERENDER STRAHLUNG, STRAHLENEMPFLINDLICHKEIT

Thema

Validierung eines genomischen PCR-Verfahrens zum Nachweis von chromosomalen Translokationen zur Identifizierung prä-leukämischer Zellen bei Kindern - Pilotstudie

Subject

Validation of a genomic PCR approach to detect chromosomal translocations to identify pre-leucemic cells in children - Pilot study

Kennzeichen 3614S30034	Beginn 01.12.2014	Ende 31.05.2015	Fördermittel EUR 75.277,-
----------------------------------	-----------------------------	---------------------------	-------------------------------------

Forschungs- / Auftragnehmer

Universitätsklinikum Heinrich-Heine-Universität, Düsseldorf

Projektleitung Prof. Dr. A. Borkhardt Dr. U. Fischer	Fachbetreuung BfS Dr. S. Hornhardt / AG-SG 1.2
---	--

Die akute lymphoblastische Leukämie (ALL) bei Kindern ist gekennzeichnet durch das Auftreten wiederkehrender chromosomaler Translokationen. Die häufigste dieser Translokationen, die in 25 % der von B-Lymphozyten gebildeten ALLs im Kindesalter anzutreffen ist, führt zur Fusion der Gene ETV6 und RUNX1 zu dem chimären Transkriptionsfaktor ETV6-RUNX1. Diese Translokation scheint der erste Anstoß zu sein, damit sich eine normale hämatopoetische Vorläufer- oder Stammzelle in eine prä-leukämische Zelle umwandelt.

Man geht davon aus, dass prä-leukämische Vorläufer-Zellen bereits in utero gebildet werden und über lange Zeit persistieren können, bevor sie durch eine sekundäre Mutation zum Ausbruch einer akuten Leukämie führen können. Diese sekundären Mutationen entstehen möglicherweise spontan oder durch Umwelteinwirkungen. In einer retrospektiven Studie konnte gezeigt werden, dass ETV6-RUNX1 positive, prä-leukämische Klone bereits in neonatalen Blutproben von Kindern vorhanden waren (Mori et al., PNAS 2002; 99:8242-8247). Die Inzidenz dieser Zellen legte nahe, dass das Vorhandensein Leukämie-spezifischer Translokationen 100fach höher sein könnte als die allgemeine Inzidenzrate für ALL (≈ 1 in 2000). Dies würde bedeuten, dass ETV6-RUNX1 positive Klone natürlicherweise ausgelöscht werden bzw. durch weitere Faktoren zur Entwicklung von Leukämie führen können. Daten von Lausten-Thomsen et al. (Blood 2011; 117 (1): 186-189) bestätigen die Daten bisher nicht. Um die tatsächliche Inzidenz der prä-leukämischen ETV6-RUNX1-Translokation festzustellen, soll eine retrospektive, bevölkerungsbasierte Studie an Blutproben von 1000 gesunden Neugeborenen durchgeführt werden. Ein geeignetes Verfahren dazu ist die GIPFEL¹⁾-Technik, die in einem vom Bundesamt für Strahlenschutz (BfS) geförderten Projekt entwickelt wurde und durch die relativ schnell viele Proben untersucht werden können.

Die Arbeitsgruppe von Prof. Kjeld Schmiegelow vom Rigshospitalet in Kopenhagen wird geeignete, konservierte Nabelschnurblutproben als Materialquelle für das standardisierte populationsbasierte Screening zur Verfügung stellen. In Dänemark werden seit 1942 Krebsregister geführt, mit deren Hilfe die Tumorinzidenz in dieser Kohorte überprüft werden kann.

¹⁾ Genomic inverse PCR for exploration of ligated breakpointse

THEMENBEREICH 04 / MEDIZINISCHE STRAHLENEXPOSITION / RÖNTGENVERORDNUNG

Thema			
Evaluation der Brustkrebsmortalität im deutschen Mammographie-Screening-Programm - Machbarkeitsstudie I und II			
Subject			
<i>Evaluation of the breast cancer mortality in the German mammography-screening-program - Feasibility study I and II</i>			
Kennzeichen	Beginn	Ende	Fördermittel
3610S40002	01.07.2012	30.09.2014	EUR 471.769,-
3614S40002	01.01.2015	30.06.2016	EUR 484.645,-
Forschungs- / Auftragnehmer			
Westfälische Wilhelms-Universität Münster, Institut für Epidemiologie und Sozialmedizin, Bereich Klinische Epidemiologie/ Institut für Klinische Radiologie, Universitätsklinikum Münster, Münster			
Projektleitung		Fachbetreuung BfS	
Prof. H. W. Hense		Prof. G. Brix / SG 2	

Ziel der Machbarkeitsstudien ist es, unter den aktuellen rechtlichen Gegebenheiten zu prüfen, welche Möglichkeiten bestehen, die an verschiedenen Stellen vorliegenden Informationen aus dem Gesundheitssystem für eine Evaluation der Brustkrebsmortalität im deutschen Mammographie-Screening-Programm (MSP) zu nutzen. Ausgewählte Daten sollen dazu in einer Datenzusammenführenden Stelle (DZS) verknüpft und anonymisiert an eine im BfS angesiedelte Evaluierende Stelle (ES) weitergeleitet werden, die diese später auch externen Forschern für Auswertungen bereitstellen soll. Die entstehenden Datensätze sollen dabei hinreichend umfangreich und detailtief sein, um epidemiologische Studien und geeignete Begleitstudien für die Evaluation durchzuführen zu können.

Die erste Phase der Machbarkeitsstudie (Mach I) wurde in drei parallel zu bearbeitende Teilprojekte unterteilt:

- Im Teilprojekt „EKR NRW“ wurden die bereits etablierten und geprüften Verfahren kryptographischer Prozesse des epidemiologischen Krebsregister (EKR) in NRW so weiterentwickelt, dass ein tragfähiges, erweiterbares Konzept zur datenschutzgerechten Datenzusammenführung verschiedener Datenlieferanten entstanden ist.
- Im Teilprojekt „GKV-Daten“ wurde die wissenschaftliche Nutzbarkeit der Leistungs- und Diagnosedaten der gesetzlichen Krankenkassen bestätigt; dieser Ansatz bietet u. a. Optionen für eine Erweiterung der Evaluationsstudie auf Bundesländer-übergreifende Strukturen.
- Das Teilprojekt „Klinische Daten“ zur Einbindung klinischer Daten in den Gesamtdatenbestand konnte auf Grund erheblicher datenschutzrechtlicher und organisatorischer Hürden nicht wie vorgesehen durchgeführt werden.

Im Rahmen einer ergänzenden Begleitstudie wurde zudem bestätigt, dass die Strahlenexposition innerhalb und außerhalb des MSP abgeschätzt werden kann. Hierzu wurden die Daten zur Strahlenexposition für alle am MSP beteiligten Betreiber in der Modellregion NRW erfasst. In freiwillig teilnehmenden kurativen Einrichtungen wurden die gerätespezifischen Parameter sowie die Expositionsdaten von Patientenuntersuchungen erfasst.

Im Verlauf der Mach I ergab sich eine Reihe zusätzlicher Fragen, die im Studienzeitraum nicht hinreichend beantwortet werden konnten. Daher wurde die Machbarkeitsphase um 18 Monate verlängert (Mach II). Der Schwerpunkt wird nun auf der Einbindung klinischer Daten sowie der Identifizierung und Berücksichtigung von Störfaktoren liegen.

THEMENBEREICH 06 / NOTFALLSCHUTZ

Thema Ergänzung der Quelltermdatenbank des Entscheidungshilfesystems RODOS für Freisetzungen aus Brennelement-Lagerbecken in Kernkraftwerken			
Subject <i>Complement of the source term data bank of the decision support system RODOS for releases from spent fuel pools in nuclear power stations</i>			
Kennzeichen 3614S60033	Beginn 06.10.2014	Ende 31.12.2016	Fördermittel EUR 230.002,-
Forschungs- / Auftragnehmer Gesellschaft für Anlagen- und Reaktorsicherheit (GRS) gGmbH			
Projektleitung H. Löffler	Fachbetreuung BfS N. Zander / Fachgebiet SW 2.2		

Im Falle einer möglichen Krisensituation in einer kerntechnischen Anlage sind zuverlässige Lagebewertungen für die Einleitung von effektiven Schutzmaßnahmen für die Bevölkerung essentiell. Zu einer derartigen Lagebewertung gehört auch eine Prognose über die aus der Anlage zu erwartenden Radionuklidfreisetzungen in die Umgebung (sogenannter Quellterm).

Eine dementsprechende prognostische Lagebewertung enthält u. a. die folgenden zwei Elemente: Zum einen die Beschreibung der möglichen unterschiedlichen Quellterme nach Zeitverlauf, Menge und Zusammensetzung der freigesetzten Radionuklide, und zum anderen Angaben über die Wahrscheinlichkeit des Eintritts der einzelnen grundsätzlich möglichen Quellterme.

In früheren Arbeiten der GRS sind diese Elemente einer Lagebewertung für Unfallabläufe mit Schäden am Reaktorkern bearbeitet worden. Dabei wurden u. a. die beim BfS geführte Quelltermbibliothek für das Entscheidungshilfesystem RODOS ergänzt sowie ein Rechenprogramm („QPRO“) zur schnellen Ermittlung der Wahrscheinlichkeiten der unterschiedlichen Abläufe und Quellterme entwickelt.

Gegenwärtig liegen keine belastbaren Abschätzungen für mögliche Freisetzungen aus BE¹⁾-Becken vor. Das Gefährdungspotential - wie die Ergebnisse des BfS-Vorhabens StSch 60006 „Bewertung der radiologischen Relevanz der sich am Standort eines KKW befindenden Inventare (außer Kerninventar) als Input für das Entscheidungshilfesystem RODOS“ gezeigt haben und was auch das Fukushima-Ereignis bestätigt hat - kann jedoch mit dem des Reaktorkerns vergleichbar sein.

Deshalb zielt das vorgesehene Vorhaben darauf ab, Freisetzungen bei relevanten Unfallabläufen im BE-Becken als Input für RODOS zu ermitteln. Ferner soll das Rechenprogramm QPRO ergänzt werden, damit die Wahrscheinlichkeiten der verschiedenen möglichen Quellterme aus dem Brennelementbecken während eines Unfallablaufes prognostiziert werden können.

Mit diesen Arbeiten soll die Lagebewertung, die mit Hilfe des RODOS-Systems vorgenommen wird, auf eine solidere Grundlage gestellt werden, so dass der erforderliche Schutz der Bevölkerung bei einem Unfall in einem Kernkraftwerk verbessert wird.

¹⁾ Brennelemente

THEMENBEREICH 07 / VORHABEN MIT ALLGEMEINER BEDEUTUNG FÜR DEN STRAHLENSCHUTZ

Thema Internationaler Vergleich der rechtlichen Regelungen im nicht-ionisierenden Bereich			
Subject <i>International comparison of the statutory regulations governing non-ionising radiation</i>			
Kennzeichen 3614S80010	Beginn 17.11.2014	Ende 17.08.2015	Fördermittel EUR 121.499,-
Forschungs- / Auftragnehmer Bietergemeinschaft (Stefan Missling (BBH), Dr. Dörte Fouquet (BBH); Prof. Dr. Ing. Matthias Wuschek (EM Institut)) in Zusammenarbeit mit Prof. Dr. Ing. Hans-Dieter Reidenbach			
Projektleitung S. Missling	Fachbetreuung BfS C. Eglomassé-Roidl / AG-SG 1.4		

Das Bundesamt für Strahlenschutz, Deutschland, beabsichtigt, in Zusammenarbeit mit der Kanzlei Becker Büttner Held (BBH), Prof. Dr.-Ing. Matthias Wuschek (EM Institut) sowie Prof. Dr.-Ing. Hans-Dieter Reidenbach eine Analyse und vergleichende Bewertung der internationalen Regelungen im gesamten Bereich der nicht-ionisierenden Strahlung zu erstellen. Da aktuell eine vollständige Übersicht zu den jeweiligen länderspezifischen Regelungen in den Bereichen elektromagnetischer Felder sowie optischer Strahlung fehlt, ist die Erstellung eines wissenschaftlichen internationalen Vergleichs der rechtlichen Regelungen Ziel des Vorhabens.

Die Bietergemeinschaft wird sich mit den Regelungen im gesamten Bereich der nicht-ionisierenden Strahlung - vor allem im Bereich der elektrischen Energieversorgungsanlagen und der Funkanlagen - auseinandersetzen. Hierzu werden die entsprechenden Länderregelungen aller europäischer Staaten sowie wichtiger außereuropäischer Staaten erhoben und kategorisiert.

Es soll untersucht werden, worin sich die deutschen Regelungen von den übrigen europäischen sowie den relevanten außereuropäischen Regelungen unterscheiden. Als Basiswert werden die derzeitigen ICNIRP-Leitlinien herangezogen.

Die gefundenen Unterschiede der Regelungen werden herausgearbeitet und auf ihre technischen Aspekte sowie ihre rechtliche Grundlage hin geprüft. In einer abschließenden Analyse werden die Regelungen in einem gegenüberstellenden Bericht dargestellt. Dieser Bericht wird für die Risikokommunikation im BfS, aber auch im BMUB eingesetzt werden können.

Verzeichnis der Abbildungen und Tabellen

ERGEBNISSE

Themenbereich 02

Strahlenschutztechnik

Erstellung und Überarbeitung von technischen Normen für den Strahlenschutz und die Qualitätssicherung in der medizinischen Radiologie / **3611S20006**

Tabelle 1: Projektübersicht

2

Ermittlung der Zuverlässigkeit von Dosiskoeffizienten für Radiopharmaka / **3612S20013**

Tabelle 1: Daten der verwendeten Phantome

9

Themenbereich 03

Strahlenbiologie - Wirkung von ionisierender und nichtionisierender Strahlung, Strahlenempfindlichkeit

Bestimmung und Validierung strahleninduzierter Genveränderungen in Brusttumoren zur verbesserten Brustkrebsrisikoabschätzung nach Exposition mit ionisierender Strahlung / **3611S30019**

Abbildung 1: Genomische Kopienzahlveränderungen in 84 exponierten und nicht exponierten Mammakarzinomen. Grüne Bereiche zeigen DNA-Zugewinne, rote Bereiche DNA-Verluste, blaue Bereiche Amplifikationen auf einzelnen Chromosomen an. Die Fälle wurden durch hierarchische Clusteranalyse auf Grund ihrer Veränderungsmuster in Gruppen eingeteilt. Cluster 1 zeigt eine starke Anhäufung von exponierten Fällen.

25

Abbildung 2: Expression der miRNAs miR26b-5p, miR221-3p, miR222-3p in exponierten und nicht exponierten Mammakarzinomen. In den sog. „violin plots“ ist links in hellblau die Expression in nicht exponierten Fällen und rechts in violett die Expression in exponierten Fällen dargestellt. Eingezeichnet ist jeweils auch die mediane Expression in jeder Gruppe

26

Abbildung 3: Immunhistochemische Färbung des TRPS-1-Proteins in Tumorzellen von Mammakarzinom-Schnitten eines exponierten (links) und eines nicht exponierten (rechts) Falls. Die verringerte TRPS-1-Expression in den Zellen des nicht exponierten Falles ist eindeutig zu erkennen

27

Abbildung 4: Immunhistochemische Färbung des TRPS-1-Proteins in nicht exponierten (hellblau) und exponierten (violett) Fällen. In den sog. „violin plots“ sind auch die medianen Expressionen von TRPS-1 für jede Gruppe eingetragen

27

Pilotstudie für eine epidemiologische Studie zur Untersuchung des Zusammenhangs von Strahlenbelastung und Katarakterkrankung / **3611S30021**

Tabelle 1: Übersicht der rekrutierten Teilnehmer mit Ein- und Ausschlussquote

31

Tabelle 2: Zuordnung von Teilnehmern zu den verschiedenen Standorten von Augenkliniken mit Anzahl der durchgeführten Untersuchungen

32

Nachweis von chromosomalen Translokationen durch genomische PCR zur Identifizierung prä-leukämischer Zellen bei Kindern - Pilotstudie zur Entwicklung und Validierung geeigneter Sonden / **3612S70019**

Abbildung 1: Ablaufdiagramm der genomischen, inversen PCR für die Erfassung von ligierten Bruchpunkten (GIPFEL). Der Schlüsselschritt der GIPFEL-Methode ist die Detektion eines, für jede Translokation charakteristischen, Ligationsprodukts, das nach Restriktionsspaltung und Religation von genomischer DNA entsteht und dessen Sequenz exakt und unabhängig von der genauen Lage des Bruchpunktes vorhergesagt werden kann. Damit werden kurze Amplikons möglich, die sich auch über TaqMan-Proben oder SYBR-Green basierte Methoden sehr genau quantifizieren lassen.

34

Tabelle 1: Zur Validierung der GIPFEL-Methodik eingesetzte ALL-Primärproben

38

Abbildung 2: Die Abbildung zeigt exemplarisch das Ergebnis einer GIPFEL-Analyse einer Patientenprobe mit MLL-AF4 Translokation. (A) RealTime-PCR Amplifikationskurven, (B) RealTime-PCR Dissoziationskurven. Verwendung des Primers AF4 B8f führt zur Synthese eines spezifischen Produktes, das bereits nach 13 Zyklen den Schwellenwert übersteigt (gelbe Kurve). Eine positive Kontrolle (Nachweis des endogenen MLL-Gens als interner Standard, blaue Kurve) wird in jedem Versuch mitgeführt. Andere Primerpaare führen nicht zur Synthese spezifischer Produkte. Die zugehörigen Amplifikationskurven übersteigen den Schwellenwert daher erst nach mehr als 30 Zyklen und sind in der Dissoziationskurvendarstellung gut von spezifischen Signalen zu unterscheiden. (C) Validierung des Ergebnisses mittels Agarosegelelektrophorese. Spezifische Produkte entstanden nur mit dem Primerpaar MLL/AF4 B8f sowie dem internen Standard (MLL).

38

Sequenzielle Exposition durch UVB- und UVA-Strahlung: Bedeutung für DNA-Schädigung, Reparatur, Gen-Expression und epigenetische Regulation in menschlichen Hautzellen / **3613S30042**

Abbildung 1: CPD-Reparaturkinetik nach Vorbestrahlung mit UVA-Strahlung und Bestrahlung mit UVB (grün, $\Delta t = 24$ h). Reparaturkinetik nach UVB-Strahlung allein (schwarz). τ = Reparaturzeitkonstante. Dargestellt sind die Ergebnisse aus zwei Versuchen (jeweils Doppelbestimmung). Die Fehlerbalken geben die Standardabweichung an.

42

Tabelle 1: CPD-Reparaturzeitkonstanten für UVA-Vorbestrahlung plus UVB-Bestrahlung

43

Tabelle 2: CPD-Reparaturzeitkonstanten für UVB-Bestrahlung plus UVA- oder SSUV-Nachbestrahlung

43

Abbildung 2: Promotormethylierungsstatus des Tumorsuppressors P16^{INK4a} nach sequenzieller Bestrahlung mit UVA + UVB (AB-Serie, Versuch-AB-I und AB-II). Die Abbildungen zeigen die Ergebnisse der sechs Bestrahlungskombinationen mit Bestrahlungspause (Δt) und der Reparaturzeit (t).

44

Abbildung 3: Transkriptionsänderungen von microRNAs nach sequenzieller Bestrahlung mit UVA + UVB (AB-Serie). Die Abbildungen zeigen die Ergebnisse der sechs Bestrahlungskombinationen mit Bestrahlungspause (Δt) und der Reparaturzeit (t). Die Daten wurden aus zwei Versuchen gemittelt, die Fehlerbalken geben die Standardabweichung an. Der „fold change“ bezieht sich auf die Veränderung im Vergleich zur Expression der microRNAs in nicht bestrahlten Proben.

46

Themenbereich 04

Medizinische Strahlenexposition / Röntgenverordnung

Etablierung eines IT-gestützten Verfahrens zur Erfassung von Untersuchungsparametern (IVEU) durch die Ärztlichen Stellen und deren Übermittlung an das BfS und Auswertung der erhobenen Daten im Rahmen einer Querschnittsstudie / **3611S40008**

Abbildung 1: Mittelwerte der CTDIvol-Angaben (nach Altersgruppen) für CT-Untersuchungsarten (n = 4183 CT-Serien mit Dosisangaben aus 2013 und 2014)

60

Abbildung 2: Verteilung der CTDIvol - Dosiswerte bei Thorax-CTs (2013 / 2014)

60

Themenbereich 05

Radioökologie

Ergänzende Untersuchungen zur Validierung des Atmosphärischen Radionuklid-Transport-Modells (ARTM) / **3612S50007**

Abbildung 1: Beispiel einer Visualisierung des Windfeldes mit GO-ARTM

67

Abbildung 2: Einfluss der Rauigkeitslänge (RL) auf die bodennahe Konzentration bei sonst gleichen Ausbreitungsbedingungen (siehe Bildtitel, 1m/s Westwind in Quellhöhe, Quellstärke: 100 Bq/s, Aerosolgrößenklasse 1). Bei kleinen Rauigkeitslängen ist die Fahne schmal und die maximale Konzentration hoch, bei großen Rauigkeitslängen ist die Fahne breiter und die maximale Konzentration niedriger. Das Gauß-Fahnenmodell liefert nur für große Rauigkeitslängen und hohe Quellen konservative Ergebnisse

68

Themenbereich 06

Notfallschutz

Weiterentwicklung der aero-gammaspektrometrischen Messsysteme des Bundesamtes für Strahlenschutz (BfS) und Anpassung der Mess- und Auswerteverfahren an die Anforderungen des Notfallschutzes / **3611S60013**

Abbildung 1: Benutzeroberfläche des Programms zur Berechnung der Geometriefaktoren bzw., unter Verwendung der Kalibrierdaten, zur Berechnung der Zählraten im Photopiek

78

Abbildung 2: Beispiel für ein Ergebnis aus den Kalibriermessungen: Ausbeuten in cm^2 für Detektor 1 (Germanium-Detektor) mit den Messpunkten für die Gammaenergie von Cs-137 und für den halbvollen Tank

78

Abbildung 3: Ein Beispiel für berechnete Geometriefaktoren in Abhängigkeit von der Energie der Gammastrahlung. Die Kontamination lag dabei an der Oberfläche bzw. im Erdreich mit der Relaxationsmassenflächendichte von $\zeta = 1 \text{ g/cm}^2$ bzw. 10 kg/m^2 . Das Gelände wurde als ungeneigt bzw. unter einem Winkel von 20° geneigt betrachtet. Es ist ersichtlich, dass der Geometriefaktor bei geneigtem Gelände jeweils höher ist. Auf Grund des Abstandsgesetzes erhöht die auf der einen Seite näher liegende Kontamination den Geometriefaktor stärker als er auf Grund einer größeren Entfernung zu der Kontamination auf der anderen Seite vermindert wird.

79

Abbildung 4: Die Nachweisgrenze bei optimaler Messzeit als Funktion der Flugzeit für eine abzusuchende Fläche von 50 km^2 und verschiedene Kombinationen aus Flughöhe und -geschwindigkeit

80

Abbildung 5: Zählratenverhältnis der NaI-Detektoren „hinten“ zum Ge-Detektor als Funktion der Flughöhe für die Szenarien Boden- und Luftkontamination bei Tankfüllständen von 0 %, 50 % und 100 %

81

14. Koordinierungs- und Planungstreffen der WHO-REMPAN-Kollaborationszentren und Liaison Institutionen in Würzburg im Jahr 2014 / **3614I02275**

Abbildung 1: Flyer zu allgemeinen Informationen

86

Themenbereich 07

Vorhaben mit allgemeiner Bedeutung für den Strahlenschutz

Bestimmung von Nuklidvektoren und Verteilung von Masse und Aktivität als Funktion der Aerosolpartikeldurchmesser in der Fortluft bei im Rückbau befindlichen kerntechnischen Anlagen / **3611S70018**

Tabelle 1: Messkampagnen im Kraftwerk

98

Abbildung 1: Partikelanzahlkonzentration C_N (in 1/l) und typische Größenverteilung für Partikel mit einem Durchmesser von größer als $0,28 \mu\text{m}$ während Kampagne 2

99

Abbildung 2: Massenkonzentration der quantitativ bestimmten Elemente mit den größten Beiträgen aller Impaktorfilter-Proben aus den Kampagnen 4 und 5. Die relativen Beiträge der Elemente Barium (Ba) und Blei (Pb) sind in ihrer Reihenfolge (Kampagne 4: Pb höher als Ba, mit linken Beschriftungen; Kampagne 5: Ba höher als Pb, mit rechten Beschriftungen)

100

Tabelle 2: Gammaspektrometrisch gemessene Aktivitäten auf den Impaktorfiltern in Bq

100

Tabelle 3: Gesamtalpha- und Gesamtbetaaktivitäten auf den Impaktorfiltern in Bq

101

Radiologische Altlasten auf ehemaligen militärischen Liegenschaften - Erkundungen an ausgewählten Standorten / **3612S70023**

Tabelle 1: Vor-Ort-Begehung und Probenahme

104

Evaluierung des messbaren Nutzens für die Solarienbesucher durch die UV-Schutz-Verordnung, insbesondere die Unterweisung durch qualifiziertes Personal in Solarien / **3612S70031**

Abbildung 1: Angaben über die Inhalte des zuletzt erhaltenen Dosierungsplans aus Sicht der befragten Solariumnutzer, die einen solchen Plan erhalten hatten, 2012 und 2014

116

Abbildung 2: Zeitpunkt und Art der letzten Hauttypbestimmung aus Sicht der befragten Solariumnutzer, die eine Hauttypbestimmung erhalten hatten, 2014

117

Abbildung 3: Einflüsse der eigenen Kenntnisse über mögliche Risiken der Solariumnutzung auf die Solariumnutzung und/oder die Meinung darüber aus Sicht der befragten Solariumnutzer, denen mindestens ein Risiko der Solariumnutzung bekannt war, 2012 und 2014

118

Abbildung 4: Einflussstärke der erhaltenen Beratung im Hinblick auf eine veränderte Solariumnutzung und/oder Meinung aus Sicht der befragten Solariumnutzer, die davon ausgehen, dass ihre Kenntnisse über mögliche Risiken ihr Verhalten und/oder ihre Meinung beeinflusst haben, 2012 und 2014

119

Abbildung 5: Wünsche und Erwartungen an ein gutes Beratungsgespräch aus Sicht der befragten Solariumnutzer, 2012 und 2014

120

Themenbereich 08

Nichtionisierende Strahlung

Erweiterungsstudie zu multinationaler Fall-Kontroll-Studie zu Hirntumoren durch Radiofrequenzstrahlung bei Kindern und jungen Erwachsenen (MOBI-Kids) / **3609S30010**

Tabelle 1: Charakteristika der Studienteilnehmer

132

Tabelle 2: Kumulative Mobiltelefonnutzung der Populationskontrollen (Gesamtzahl- und Dauer der bisherigen Telefonate)

133

Tabelle 3: Aktuelle Mobiltelefonnutzung der Populationskontrollen (Anzahl und Dauer der Telefonate pro Monat)

134

Tumorpromotion durch hochfrequente elektromagnetische Felder in Kombination mit kanzerogenen Substanzen - synergistische Wirkungen / **3611S30017**

Tabelle 1: Lebenswoche, in der die ENU-positiven Mäuse das 75 %-Mortalitätskriterium erreicht haben, sowie die mittlere Überlebenszeit (Wochen) nach Kaplan-Meier-Analyse

137

Abbildung 1: Überlebensfunktionen der schein-exponierten und exponierten Gruppen sowie der Käfigkontrolle. „Zensiert“ bedeutet, dass die Tiere der entsprechenden Gruppe zu diesem Zeitpunkt getötet wurden

137

Abbildung 2: Prozentuale Häufigkeiten von Neoplasien in der Lunge in allen Gruppen: Bronchioloalveoläre Karzinome (linke Seite) und Bronchioloalveoläre Adenome (rechte Seite). * $p < 0,05$; ** $p < 0,01$; *** $p < 0,001$ vs. 0 W/kg + ENU

138

Abbildung 3: Prozentuale Häufigkeiten von Neoplasien in der Leber in allen Gruppen: Hepatozelluläre Karzinome (linke Seite) und hepatozelluläre Adenome (rechte Seite). * $p < 0,05$; ** $p < 0,01$ vs. 0 W/kg + ENU

138

Abbildung 4: Prozentuale Häufigkeiten von singulären und multiplen Tumoren in der Lunge in den mit ENU behandelten Gruppen. ** $p < 0,01$ vs. 0 mW/kg + ENU

139

Abbildung 5: Prozentuale Häufigkeiten von Lymphomen in allen Gruppen. ** $p < 0,01$ vs. 0 mW/kg + ENU

139

Tabelle 2: Häufigkeit von Neoplasien in den untersuchten Organen der Käfigkontrolle, sham und exponierten Gruppen

140

Tabelle 3: Anzahl von Neoplasien in den Organen Lunge und Leber der ENU-positiven Gruppen, aufgeschlüsselt nach singulären und multiplen Tumoren

141

Darstellung der technischen Möglichkeiten zur Minimierung elektrischer und magnetischer Felder von Niederfrequenz- und Gleichstromanlagen nach dem Stand der Technik / **3614S80020**

Tabelle 1: Beispiel zum Betriebsmittel Freileitungen-Maßnahme Phasenoptimierung

146

Tabelle 2: Bewertung des Standes der Technik am Beispiel Freileitungen

147

Themenbereich 09

Deutsches Mobilfunk-Forschungsprogramm

Einfluss hochfrequenter Felder des Mobilfunks auf das blutbildende System in vitro / **FM8851**

Abbildung 1: Versuchsaufbau für die Feldexposition

155

Abbildung 2: CST-Modell der mit vier Probencontainern beladenen μ TEM-Zelle

156

Abbildung 3: Externer Messrechnerzugriff

157

Abbildung 4: CST-Simulation mit vier Probenbehältern (Sarstedt, 1-Well Chamber Slides, Polystyrol): Variation der SAR-Werte im Zellmedium bei 1950 MHz und 1 W effektiver Eingangsleistung

158

Abbildung 5: Ergebnisse der Kurz- und Langzeitexpositionen von HL-60-Zellen (A, B) und hämatopoetischen Stammzellen (C, D) für den Endpunkt Apoptose. Dargestellt sind die Mittelwerte der Negativkontrollen (grün) und Positivkontrollen (rot) sowie die Mittelwerte der GSM-/UMTS-/LTE-Expositionen mit 0/0,5/1/2/4 W/kg aus drei unabhängigen Replikaten

159

Untersuchung der Möglichkeiten des besseren Wissenstransfers/Wissensmanagements - im Hinblick auf das DMF-Forschungsprogramm - über Generationen hinweg bzw. über Themenzyklen/Aufmerksamkeitszyklen hinweg / **FM 8853**

Tabelle 1: Verknüpfung von Wissensquellen und -senken mit den Anwendungsszenarien

163

STATUSBERICHTE

Themenbereich 02

Strahlenschutztechnik

Entwicklung und Umsetzung von Konzepten zur Charakterisierung klinischer CT-Systeme unter Einbeziehung von Bildqualität und Dosis / **3613S20007**

Abbildung 1: Verschiedene Methoden zur Bewertung der Bildqualität von CT-Röntgenaufnahmen

191

Evaluierung neuer CT-Techniken und Bestimmung der mit ihnen erzielten Strahlenreduktion bei verschiedenen CT-Betreibern in Deutschland / **3613S20025**

Tabelle 1: Fachzeitschriften mit hoher Anzahl Beiträge

194

Tabelle 2: Anzahl der Arbeiten über CT-Techniken bzw. CT-Protokolle

195

Tabelle 3: verwertbare Datensätze

195

Abkürzungen

Abbreviations

ATG	Atomgesetz
cDNA/cRNA	complementäre DNA/RNA
CT	Computertomographie
DAB	digital audio broadcasting
DECT	Digital Enhanced Cordless Telecommunications
DIN	Deutsches Institut für Normung e.V./ the German institute for standardisation
DNA	Desoxyribonukleinsäure (desoxyribosenucleic acid)
DTX	discontinuous transmission
DVB-T	digital video broadcast-terrestrial
EMF	elektromagnetische Felder
EPR	Lumineszenz- und paramagnetische Elektronenresonanz
FDTD	finite - difference time - domain
GSM	global system mobile communication
HF/RF	high/radio frequency
IAEA	International Atomic Energy Agency
ICNIRP	International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection
ICRP	International Commission on Radiological Protection
ISO	International Organization for Standardization
KKW	Kernkraftwerk
LET	linearer Energietransfer
MMS	multimedia messaging service
mRNA	messenger RNA
MRT/MRI	Magnetresonanztomographie / Magnet Resonance Imaging
ODL	Ortsdosisleistung
OECD	Organisation for Economic Co-operation and Development
PCR	polymerase chain reaktion
PET-CT	Positronen-Emissions-Tomographie (PET) - Computertomographie
PTB	Physikalisch-Technische Bundesanstalt
RBW	resolution band width
RNA	Ribonukleinsäure (ribonucleic acid)
ROC	receiver operating characteristic
RöV	Röntgenverordnung
RT-PCR	reverse transkription-polymerase chain reaction
SAR	spezifische Absorptionsrate
siRNA	small interfering RNA
SSK	Strahlenschutzkommission
StrlSchV	Strahlenschutzverordnung
TETRA	terrestrial trunked radio
UMTS	universal mobile telecommunication system
UVI	UV-Index
WAP	wireless application protocol
WHO	World Health Organization
WLAN	wireless local area network

Kontaktadressen

Fragen nach näheren Informationen über die in diesem Programmreport genannten Projekte können an folgende Stellen gerichtet werden:

Bundesamt für Strahlenschutz
Verwaltungsmäßige Bearbeitung der Ressortforschung AG-F3
Postfach 10 01 49
D-38201 Salzgitter
Tel.: (030) 18333 1520
Fax.: (030) 18333 1525

Bundesamt für Strahlenschutz
Fachbereich Strahlenschutz und Gesundheit
Fachliche Koordinierung der Ressortforschung im Bereich Strahlenschutz AG-F2
Postfach 10 01 49
38201 Salzgitter
Tel.: (030) 18333-2119

Bisher erschienene BfS-Schriften

BfS-SCHR-1/90

Warnecke, E.; Odoj, R.; Simon, R. (Editors)

Requirements for Waste Acceptance and Quality Control.

Proceedings of the 2nd International Seminar on Radioactive Waste Products.

28 May - 1 June 1990, Research Centre Jülich, Federal Republic of Germany.

Salzgitter 1990

BfS-SCHR-2/91

Sicherheitsreihe Nr. 6.

IAEO-Empfehlungen für die sichere Beförderung radioaktiver Stoffe. Ausgabe 1985.

(Diese Übersetzung enthält auch die von der IAEO im Nachtrag 1988 zu den Empfehlungen vorgenommenen Ergänzungen).

Salzgitter 1991

BfS-SCHR-3/91

Schüttmann, W.; Aurand, K.

Die Geschichte der Außenstelle Oberschlema des Kaiser-Wilhelm-Instituts für Biophysik Frankfurt am Main.

Salzgitter 1991

BfS-SCHR-4/91

Bornemann, O. (mit einem Beitrag von *R. Fischbeck*)

Zur Geologie des Salzstocks Gorleben nach den Bohrergebnissen.

Salzgitter 1991

BfS-SCHR-5/92

Herrmann, A.G.

Endlager für radioaktive Abfälle Morsleben (ERAM).

Lösungszuflüsse in den Grubenfeldern Marie und Bartensleben: Stoffbestand, Herkunft, Entstehung. Eine Dokumentation.

Zweiter Bericht. Abschlußbericht für den Zeitabschnitt 1. Januar bis 31. Dezember 1991. Clausthal-Zellerfeld, den 29. Februar 1992.

Salzgitter 1992

BfS-SCHR-6/92

Bestandsaufnahme IMIS-IT.

Seminar zum Projektstand IMIS am 3. Mai 1991.

Salzgitter 1992

BfS-SCHR-7/92

Empfehlungen der Reaktor-Sicherheitskommission (RSK) 1987 - 1991 (Band 7).

Zusammengestellt von der RSK-Geschäftsstelle.

Salzgitter 1992

BfS-SCHR-8/92

Radiologische Erfassung, Untersuchung und Bewertung bergbaulicher Altlasten.

Abschlußbericht zum ersten Teilprojekt.

Salzgitter 1992

BfS-SCHR-9/93

Grosche, B.; Burkart, W. (Editors)

Radiation epidemiology after the Chernobyl accident.

Proceedings of a workshop held at the Institute for Radiation Hygiene, Federal Office of Radiation Protection, Neuherberg, October 23-25, 1991

Bisher erschienene BfS-Schriften

BfS-SCHR-10/93

von Borstel, L.E.

Lösungen in marinen Evaporiten.

Salzgitter 1993

BfS-SCHR-11/93

Herrmann, A.G.

Endlager für radioaktive Abfälle Morsleben (ERAM).

Lösungsvorkommen in den Grubenfeldern Marie und Bartensleben: Stoffbestand, Herkunft, Entstehung.

Eine Dokumentation.

Abschlußbericht für den Zeitabschnitt 1. Januar bis 31. Dezember 1992. Clausthal-Zellerfeld, den 29. Februar 1992.

Salzgitter 1993

BfS-SCHR-12/93

IMIS-Statusgespräch.

Seminar zum Projektstand IMIS am 1. Februar 1993.

Salzgitter 1993

BfS-SCHR-13/94

Przyborowski, S.; Röhnsch, W.

ICRP-Publikation 65

über den Schutz gegenüber Radon-222 in Wohnung und an Arbeitsplätzen und die Situation in der Bundesrepublik Deutschland.

Salzgitter, 1994

BfS-SCHR-14/95

Kammerer, L.; Peter, J.; Burkhardt, J.; Trugenberger-Schnabel, A.; Bergler, I.

Umweltradioaktivität in der Bundesrepublik Deutschland 1992 und 1993. Daten und Bewertung.

Bericht der Leitstellen des Bundes und des Bundesamtes für Strahlenschutz.

Salzgitter, Dezember 1995

BfS-SCHR-15/96

Solare terrestrische UV-Strahlung in Deutschland.

Meßergebnisse und strahlenhygienische Bewertung der Daten aus dem UV-Meßnetz des BFS/UBA für den Zeitraum Januar bis Dezember 1994.

Salzgitter, März 1996

BfS-SCHR-16/98

Kammerer, L.

Umweltradioaktivität in der Bundesrepublik Deutschland 1994 bis 1995. Daten und Bewertung.

Bericht der Leitstellen des Bundes und des Bundesamtes für Strahlenschutz.

Salzgitter, März 1998

BfS-SCHR-17/98

Radiologische Erfassung, Untersuchung und Bewertung bergbaulicher Altlasten.

Abschlußbericht zum zweiten Teilprojekt.

Salzgitter, März 1998

BfS-SCHR-18/98

Sonnek, C.

Die Euratom-Grundnormen für den Strahlenschutz 1996 und 1997.

Ausblick auf zukünftiges Strahlenschutzrecht in Deutschland.

Salzgitter, Juli 1998

Bisher erschienene BfS-Schriften

BfS-SCHR-19/99

Strahlenschutz und Sicherheit in der Medizin.

ICRP-Veröffentlichung 73.

Ein Bericht einer Arbeitsgruppe des Komitees 3 der Internationalen Strahlenschutzkommission.

Von der Kommission angenommen im März 1996.

Salzgitter, Mai 1999

BfS-SCHR-20/99

WORKSHOP

Strahlenüberwachung von Arbeitsplätzen mit erhöhten Konzentrationen von Radon und Radonzerfallsprodukten und Qualitätssicherung der Überwachungsmessungen.

22. bis 24. Juni 1998, Berlin.

Salzgitter, November 1999

BfS-SCHR-21/00

Kammerer, L.

Umweltradioaktivität in der Bundesrepublik Deutschland 1996 und 1997. Daten und Bewertung.

Bericht der Leitstellen des Bundes und des Bundesamtes für Strahlenschutz.

Salzgitter, Oktober 2000

BfS-SCHR-22/01

Ettenhuber, E.; Gehrcke, K.

Radiologische Erfassung, Untersuchung und Bewertung bergbaulicher Altlasten.

Abschlussbericht.

Salzgitter, März 2001

BfS-SCHR-23/01 (ist nicht als Druck erschienen, nur im Internet)

Steinmetz, M.

UV-Index in practical use

Proceedings of an International Workshop

Institute of radiation hygiene, Munich, Germany, December 4-7, 2000

Salzgitter, 2001

BfS-SCHR-24/02

Peter J.; Schneider G.; Bayer A.; Trugenberg-Schnabel A.

High Levels of Natural Radiation and Radon Areas:

Radiation Dose and Health Effects

Proceedings of the 5th International Conference on High Levels of Natural Radiation and Radon Areas held in Munich, Germany on September 4 to 7 2000

Neuherberg, März 2002

BfS-SCHR-25/02

Brix, J.; Matthes, R.; Schulz, O.; Weiss, W.

Forschungsprojekte zur Wirkung elektromagnetischer Felder des Mobilfunks.

Bundesamt für Strahlenschutz

21. und 22. Juni 2001

Salzgitter, Juni 2002

BfS-SCHR-26/02

Bruchertseifer, F.; Pohl, H.

Fachgespräch

Begrenzung der Strahlenexposition als Folge von Störfällen bei kerntechnischen Anlagen und Einrichtungen.

1. und 2. März 2001

Salzgitter, Juni 2002

Bisher erschienene BfS-Schriften

BfS-SCHR-27/03

*Trugenberger-Schnabel, A.; Peter J.;
Kanzliwius, R.; Bernhard, C.; Bergler, I.*
Umweltradioaktivität in der Bundesrepublik Deutschland 1998 bis 2001
Daten und Bewertung
Bericht der Leitstellen des Bundes und des Bundesamtes für Strahlenschutz
Salzgitter, Januar 2003

BfS-SCHR-28/03

Walter, H.
2.Fachgespräch SODAR
19. u. 20. März 2003
Im Auftrag des Bundesministeriums für Umwelt,
Naturschutz und Reaktorsicherheit
Zusammenfassung der Vorträge
Salzgitter, Juni 2003

BfS-SCHR-29/03

Bergler, I.; Bernhard, C.; Gödde, R.; Schmitt-Hannig, A.
Strahlenschutzforschung
- Programmreport 2001 -
Bericht über das vom Bundesamt für Strahlenschutz fachlich und verwaltungsgemäß begleitete
Ressortforschungsprogramm Strahlenschutz des Bundesumweltministeriums
Salzgitter, Juni 2003

BfS-SCHR-30/04

Lennartz, H.-A.; Mussel, Ch.; Thieme, M.
Beteiligung der Öffentlichkeit bei der Standortauswahl für die Endlagerung radioaktiver Abfälle
Abschlussbericht
Salzgitter, April 2004

BfS-SCHR-31/04

Weiß, D.; Bönigke, G.; Spoden, E.; Warnecke, E.
Übersicht zu stillgelegten kerntechnischen Anlagen in Deutschland und in Europa – Januar 2004
Salzgitter, September 2004

BfS-SCHR-32/04

Bergler, I.; Bernhard, C.; Gödde, R.; Löbke-Reinl, A.; Schmitt-Hannig, A.
Strahlenschutzforschung
Programmreport 2003
Bericht über das vom Bundesamt für Strahlenschutz fachlich und administrativ begleitete
Ressortforschungsprogramm Strahlenschutz des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz und
Reaktorsicherheit
Salzgitter, Dezember 2004

BfS-SCHR-33/05

Hartmann, M.; Beyer, D.; Dalheimer, A.; Hänisch, K.
Ergebnisse der In-vitro-Ringversuche: S-35 in Urin sowie Am-241 und Pu-Isotope in Urin
Workshop zu den In-vitro-Ringversuchen 2001 und 2002 der Leitstelle Inkorporationsüberwachung
des BfS am 1. Juli 2003 im Bayerischen Landesamt für Umweltschutz, Kulmbach
Salzgitter, Januar 2005

BfS-SCHR-34/05 (nur als CD vorhanden)

Trugenberger-Schnabel, A.; Peter, J.; Kanzliwius, R.; Bernhard, C.; Bergler, I.
Umweltradioaktivität in der Bundesrepublik Deutschland
Bericht der Leitstellen des Bundes und des Bundesamtes für Strahlenschutz
Daten und Bewertung für 2002 und 2003
Salzgitter, Juni 2005

Bisher erschienene BfS-Schriften

BfS-SCHR-35/05 (nur als CD vorhanden)

Bergler, I.; Bernhard, C.; Gödde, R.; Löbke-Reinl, A.; Schmitt-Hannig, A.

Strahlenschutzforschung

Programmreport 2004

Bericht über das vom Bundesamt für Strahlenschutz fachlich und administrativ begleitete

Ressortforschungsprogramm Strahlenschutz des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz und

Reaktorsicherheit

Salzgitter, August 2005

BfS-SCHR-36/05 (nur als CD vorhanden)

Steinmetz, M.

200 Jahre solare UV-Strahlung

Geschichte und Perspektiven

Wissenschaftliches Kolloquium

Salzgitter, Oktober 2005

BfS-SCHR-37/05

Facharbeitskreis Probabilistische Sicherheitsanalyse für Kernkraftwerke

Methoden zur probabilistischen Sicherheitsanalyse für Kernkraftwerke

Stand: August 2005

Salzgitter, Oktober 2005

BfS-SCHR-38/05

Facharbeitskreis Probabilistische Sicherheitsanalyse für Kernkraftwerke

Daten zur probabilistischen Sicherheitsanalyse für Kernkraftwerke

Stand: August 2005

Salzgitter, Oktober 2005

BfS-SCHR-39/06

Borrmann, F.; Brennecke, P.; Koch, W.; Kugel, K.; Rehs, B.; Steyer, S.; Warnecke, E.

Management of Decommissioning Waste in Germany

Contribution to the IAEA CRP on „Disposal Aspects of Low and Intermediate level Decommissioning

Waste“! (T2.40.06)

Stand: August 2006

Salzgitter, Dezember 2006

BfS-SCHR-40/06

Bergler, I.; Bernhard, C.; Gödde, R.; Löbke-Reinl, A.; Schmitt-Hannig, A.

Strahlenschutzforschung

Programmreport 2005

Bericht über das vom Bundesamt für Strahlenschutz fachlich und administrative begleitete

Forschungsprogramm Strahlenschutz des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz und

Reaktorsicherheit

Salzgitter, Dezember 2006

BfS-SCHR-41/07

Schkade, U.-K.; Arnold, D.^{)}; Döring, J.; Hartmann, M.; Wershofen, H.^{*)}*

^{*)} *Physikalisch-Technische Bundesanstalt*

Gammaspektrometrische Bestimmung der spezifischen Aktivitäten natürlicher Radionuklide
in Umweltproben

7. Vergleichsanalyse „Boden 2006“

Leitstelle für Fragen der Radioaktivitätsüberwachung bei erhöhter natürlicher Radioaktivität

Berlin, Dezember 2006

Salzgitter, Januar 2007

BfS-SCHR-42/07

Dushe, C.; Ettenhuber, E.; Gehrcke, K.; Kümmel, M.; Schulz, H.^{)}*

^{*)} *IAF-Radioökologie GmbH Dresden*

Ein neues Verfahren zur Ermittlung der Radonexhalation großer Flächen

Salzgitter, Februar 2007

Bisher erschienene BfS-Schriften

BfS-SCHR-43/07

Richtlinie für die physikalische Strahlenschutzkontrolle zur Ermittlung der Körperdosis
Teil 2: Ermittlung der Körperdosis bei innerer Strahlenexposition; Inkorporationsüberwachung
(§§ 40, 41 und 42 Strahlenschutzverordnung)
Rundschreiben vom 12.01.2007 RS II 3 – 15530/1 (GMBI 2007 S. 623)
Salzgitter, September 2007

BfS-SCHR-44/07

Bernhard, C.; Gödde, R.; Löbke-Reinl, A.; Schmitt-Hannig, A.; Trugenberg-Schnabel, A.
Strahlenschutzforschung
Programmreport 2006
Bericht über das vom Bundesamt für Strahlenschutz fachlich und administrativ begleitete
Forschungsprogramm Strahlenschutz des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz und
Reaktorsicherheit
Salzgitter, Dezember 2007

BfS-SCHR-45/09

urn:nbn:de:0221-2009011200
Bernhard-Ströl, C.; Gödde, R.; Hachenberger, Claudia, Löbke-Reinl, A.; Schmitt-Hannig, A.
Strahlenschutzforschung
Programmreport 2007
Bericht über das vom Bundesamt für Strahlenschutz fachlich begleitete und administrativ umgesetzte
Forschungsprogramm Strahlenschutz des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz und
Reaktorsicherheit
Salzgitter, Januar 2009

BfS-SCHR-46/09

urn:nbn:de:0221-2009082120
Bernhard-Ströl, C.; Gödde, R.; Hachenberger, Claudia, Löbke-Reinl, A.; Schmitt-Hannig, A.
Strahlenschutzforschung
Programmreport 2008
Bericht über das vom Bundesamt für Strahlenschutz fachlich begleitete und administrativ umgesetzte
Forschungsprogramm Strahlenschutz des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz und
Reaktorsicherheit
Salzgitter, November 2009

BfS-SCHR-47/09

urn:nbn:de:0221-2009082154
Die Empfehlungen der Internationalen Strahlenschutzkommission (ICRP) von 2007
ICRP-Veröffentlichung 103, verabschiedet im März 2007
Deutsche Ausgabe
Salzgitter, November 2009

BfS-SCHR-48/10

urn:nbn:de:0221-201009153217
Bernhard-Ströl, C.; Gödde, R.; Hachenberger, Claudia, Löbke-Reinl, A.; Schmitt-Hannig, A.
Strahlenschutzforschung
Programmreport 2009
Bericht über das vom Bundesamt für Strahlenschutz fachlich begleitete und administrativ umgesetzte
Forschungsprogramm Strahlenschutz des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz und
Reaktorsicherheit
Salzgitter, November 2010

Bisher erschienene BfS-Schriften

BfS-SCHR-49/11

urn:nbn:de:0221-201111236640

Bernhard-Ströl, C.; Gödde, R.; Hachenberger, Claudia, Löbke-Reinl, A.; Schmitt-Hannig, A.

Strahlenschutzforschung

Programmreport 2010

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

Salzgitter, November 2011

BfS-SCHR-50/12

urn:nbn:de:0221-2012120510259

Beyermann, M.; Bünger, T.; Guttmann, A.; Schmidt, K.; Wershofen, H.; Winterfeldt, I.; Labahn, A.

Ringversuch zur Bestimmung von Radon-222, Radium-226, Radium-228, Uran-238, Uran-234 und der Gesamt- α -Aktivität in Trinkwasser – Ringversuch 4/2012

Salzgitter, Dezember 2012

BfS-SCHR-51/13

urn:nbn:de:0221-2013012210275

Bernhard-Ströl, C.; Gödde, R.; Hachenberger, Claudia, Löbke-Reinl, A.; Schmitt-Hannig, A.

Strahlenschutzforschung

Programmreport 2011

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

Salzgitter, Dezember 2012

BfS-SCHR-52/13

urn:nbn:de:0221-2013110811124

Bernhard-Ströl, C.; Gödde, R.; Hachenberger, Claudia, Löbke-Reinl, A.; Schmitt-Hannig, A.;

Trugenberger-Schnabel, A.

Strahlenschutzforschung

Programmreport 2012

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

Salzgitter, Dezember 2013

BfS-SCHR-53/14

urn:nbn:de:0221-2014010911155

Schmitt-Hannig, A.; Peter, J.; Bernhard-Ströl, C.; Trugenberger-Schnabel, A.; Hachenberger, C,

Löbke-Reinl, A.; Schulte-Büttner, B.

International Cooperation and Research

Report on International Cooperation and Research Activities at the Federal Office for Radiation Protection

Status 2013

Salzgitter, Januar 2014

BfS-SCHR-54/14

urn:nbn:de:0221-2014081211479

Schmitt-Hannig, A.; Gödde, R.; Löbke-Reinl, A.; Hachenberger, C.; Trugenberger-Schnabel, A.

Strahlenschutzforschung

Programmreport 2013

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

Salzgitter, September 2014

Bisher erschienene BfS-Schriften

BfS-SCHR-55/14

urn:nbn:de:0221-2015021712440

*Walter, H.; Gering, F.; Arnold, K.; Gerich, B.; Heinrich, G.; Welte, U. *)*

**) Strahlenschutzkommission*

Simulation potentieller Unfallszenarien für den Notfallschutz in der Umgebung von Kernkraftwerken mit RODOS

Salzgitter, Dezember 2014

BfS-SCHR-56/15

urn:nbn:de:0221-2015052612750

*Brendebach, B. *); Imielski P. *); Kühn, K.; Rehs, B.*

**) Gesellschaft für Anlagen- und Reaktorsicherheit*

Stilllegung kerntechnischer Anlagen in Europa

Stand: Dezember 2014

Salzgitter, Mai 2015

BfS-SCHR-57/15

urn:nbn:de:0221-2015082013351

Schmitt-Hannig, A.; Löbke-Reinl, A.; Peter, J.; Gödde, R.; Hachenberger, C.;

Trugenberger-Schnabel, A.

Strahlenschutzforschung

Programmreport 2014

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

Salzgitter, September 2015

| Verantwortung für Mensch und Umwelt |

Kontakt:

Bundesamt für Strahlenschutz

Postfach 10 01 49

38201 Salzgitter

Telefon: + 49 (0)3018 333 0

Telefax: + 49 (0)3018 333 1885

Internet: www.bfs.de

E-Mail: ePost@bfs.de

Gedruckt auf Recyclingpapier aus 100 % Altpapier.



Bundesamt für Strahlenschutz