

Strahlenschutzforschung

Programmreport 2012

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

Schriften

Claudia Bernhard-Ströl

Ralph Gödde

Claudia Hachenberger

Angelika Löbke-Reinl

Annemarie Schmitt-Hannig

Angela Trugenberger-Schnabel



Bundesamt für Strahlenschutz

BfS-SCHR-52/13

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

urn:nbn:de:0221-2013110811124

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, Dezember 2013

Strahlenschutzforschung

Programmreport 2012

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

Schriften

Claudia Bernhard-Ströl

Ralph Gödde

Claudia Hachenberger

Angelika Löbke-Reinl

Annemarie Schmitt-Hannig

Angela Trugenberger-Schnabel

INHALT

ZUSAMMENFASSUNG	XI
VORBEMERKUNG	XI
EINFÜHRUNG	XI
ZUSAMMENFASSUNG DER FORSCHUNGSERGEBNISSE 2012	XII
SUMMARY	XIX
PREFACE	XIX
INTRODUCTION	XIX
SUMMARY OF RESULTS FROM RECENT RESEARCH PROJECTS	XX

ERGEBNISSE

DER VOM BFS BEGLEITETEN STRAHLENSCHUTZ-FORSCHUNGSVORHABEN DES BMU IM JAHR 2012

RESULTS

OF BFS SUPPORTED BMU RADIATION PROTECTION RESEARCH PROJECTS IN 2012

THEMENBEREICH 01

NATÜRLICHE STRAHLENEXPOSITION

SUBJECT AREA 01

NATURAL RADIATION EXPOSURE

Untersuchungen der Ortsdosisleistung in Flugzeugen unter Berücksichtigung des Sonnenzyklus, der Lageveränderung der magnetischen Pole und der Auswirkung von solaren Ereignissen zur Qualitätssicherung der Dosismessung für das fliegende Personal 2
Verification of dose rate in aircraft taking into account the solar cycle, the dislocation of magnetic poles and solar particle events in order to quality control for radiation dose calculation of air crews
3608S10003

Analyse epigenetischer Effekte (microRNAs) in ehemaligen Wismutbeschäftigten 4
Analysis of epigenetic effects (microRNAs) in former workers of the SAG/SDAG Wismut
3610S10001

Erhebung der medizinischen Strahlenexposition für eine eingebettete Fall-Kontrollstudie zu Leukämie bei Beschäftigten der Wismut AG 10
Collection of the medical radiation exposure for a nested case control study on leukaemia in workers of the Wismut AG
3610S40007

THEMENBEREICH 02

STRAHLENSCHUTZTECHNIK

SUBJECT AREA 02

RADIATION PROTECTION TECHNIQUES

Entwicklung von Verfahren zur zerstörungsfreien Qualitätskontrolle von Prüfkörpern, die im Rahmen von Prüfungen zur Qualitätssicherung nach § 16 Abs. 2 und 3 der Röntgenverordnung von Röntgeneinrichtungen zur Untersuchung von Menschen verwendet werden 14
Development of procedures to determine the conformance of phantoms, used for quality assurance in radiography, with their specification in corresponding standards
 3608S20001

Dosimetrie mit elektronischen Dosimetern in gepulsten Photonenstrahlungsfeldern - Teil 2 19
Dosimetry in pulsed X-ray fields using active electronic dosemeters - part 2
 3610S20001

THEMENBEREICH 03

STRAHLENBIOLOGIE - WIRKUNG VON IONISIERENDER STRAHLUNG, STRAHLENEMPFLINDLICHKEIT

SUBJECT AREA 03

RADIATION BIOLOGY - EFFECTS OF IONISING RADIATION, RADIOSENSITIVITY

2. Strahlen-Proteomics-Workshop 26
2nd International Radiation Proteomics Workshop
 3612S30032

THEMENBEREICH 04

MEDIZINISCHE STRAHLENEXPOSITION / RÖNTGENVERORDNUNG

SUBJECT AREA 04

MEDICAL RADIATION EXPOSURES / X-RAY ORDINANCE

Medizinphysikalische Optimierung und Risikobewertung diagnostischer und therapeutischer Strahlenanwendungen 32
Physical optimisation and risk assessment of diagnostic and therapeutic procedures using ionising or non-ionising radiation
 3608S04001

Erstellung von hybriden Voxelmodellen zur Optimierung von Bildqualität und Dosis in der Radiographie . 40
Construction of hybrid voxel models for optimising image quality and dose in radiography
 3609S40002

Machbarkeitsstudie zur Erhebung der Medizinischen Strahlenexposition in der Helmholtzkohorte (jetzt Nationale Kohorte) 46
Feasibility study for the assessment of medical ionising radiation exposure in the Helmholtz Cohort (German National Cohort)
 3610S40001

Risiko für angeborene Entwicklungsfelddefekte bei Kindern von Mitarbeiterinnen im medizinisch -diagnostischen Bereich, die im Rahmen ihrer beruflichen Tätigkeit mit ionisierender Strahlung arbeiten . 52
Risk for congenital anomalies in the offspring of women occupationally exposed to ionising radiation in the medical-diagnostic field
 3610S40004

THEMENBEREICH 05

RADIOÖKOLOGIE

SUBJECT AREA 05

RADIOECOLOGY

Vergleichende Betrachtung der probabilistischen/stochastischen und deterministischen Modellierung von Expositionen im Hinblick auf die Belastbarkeit des Modellergebnisses und die Anforderung an die Qualität der Eingangsdaten 60

Comparative examination of probabilistic/stochastic and deterministic exposure modelling with regard to the reliability of the modelling results and the requirements concerning the quality of input data
3609S50002

THEMENBEREICH 06

NOTFALLSCHUTZ

SUBJECT AREA 06

EMERGENCY MANAGEMENT

Ermittlung der Zeitabhängigkeit der Resuspension partikelgebundener radioaktiver Kontaminationen von urbanen Oberflächen unter Berücksichtigung unterschiedlicher Umwelteinflüsse und Gegenmaßnahmen 68
Experimental determination of the time dependence of resuspension rates for particle-bound radioactive contamination from urban surfaces, taking into account varying environmental influences and counter-measures
3611S60012

Adaptierung des Programmsystems LASAIR für aktuelle und erweiterte Aufgabenstellungen im Bereich der Nuklearspezifischen Gefahrenabwehr 72
Adaption of the systems program LASAIR for actual and extended tasks in the context of the Defence against Nuclear Hazards
3611S60015

Evaluation der Krisenkommunikation im radiologischen Notfall am Beispiel von Fukushima 77
Evaluation of crisis communication in case of a radiological emergency in the context of the nuclear accident in Fukushima
3612S60020

THEMENBEREICH 07

VORHABEN MIT ALLGEMEINER BEDEUTUNG FÜR DEN STRAHLENSCHUTZ

SUBJECT AREA 07

PROJECTS OF GENERAL IMPORTANCE TO RADIATION PROTECTION

Quantitative Abschätzung des Strahlenrisikos unter Beachtung individueller Expositionsszenarien – Neufassung der Strahlenepidemiologischen Tabellen 82
Quantitative radiation risk assessment under consideration of individual exposure scenarios – update of the radio-epidemiological tables
3607S04570

Vermittlung von Informationen zum Strahlenschutz und deren Wahrnehmung in der Öffentlichkeit 87
Communication of information regarding radiation protection and its public perception
3611S70005

THEMENBEREICH 08

NICHTIONISIERENDE STRAHLUNG

SUBJECT AREA 08

NON-IONISING RADIATION

Einfluss hochfrequenter elektromagnetischer Felder des Mobilfunks auf menschliche Fibroblasten (Gentoxizität) 94
Influence of high frequency electromagnetic fields of mobile phone telecommunication on human fibroblasts (gene toxicity)
3607S04504

Einfluss niederfrequenter elektromagnetischer Felder auf das sich entwickelnde blutbildende System, das Immunsystem und das ZNS in vivo 99
Influence of low frequency electromagnetic fields on the developing hematopoietic system, immune system and CNS in vivo
3608S30006

Entwicklung und Anwendung von Verfahren zur Bestimmung der Exposition gegenüber nichtionisierender Strahlung mit Frequenzen im Terahertzbereich 104
Exposure to non-ionising radiation with frequencies in the terahertz range - development and application of methods
3610S80001

Bestimmung der Exposition der allgemeinen Bevölkerung durch neue Mobilfunktechniken 108
Determination of general public exposure to novel cellular mobile radio technologies
3611S80002

THEMENBEREICH 09

DEUTSCHES MOBILFUNK FORSCHUNGSPROGRAMM

SUBJECT AREA 09

GERMAN MOBILE TELECOMMUNICATION RESEARCH PROGRAMME

Altersabhängige Wirkungen hochfrequenter elektromagnetischer Felder des Mobilfunks auf Entwicklungs- und Differenzierungsprozesse des Zentralnervensystems in juvenilen Labornagern 114
Age dependent effects of high-frequency electromagnetic fields on the development and differentiation of the CNS of juvenile laboratory rodents

STATUSBERICHTE

DER VOM BFS BEGLEITETEN STRAHLENSCHUTZ-FORSCHUNGSVORHABEN DES BMU

STATUS REPORTS

OF BFS SUPPORTED BMU RADIATION PROTECTION RESEARCH PROJECTS 121

THEMENBEREICH 01

NATÜRLICHE STRAHLENEXPOSITION

SUBJECT AREA 01

NATURAL RADIATION EXPOSURE

Untersuchung des Einflusses baulicher Energiesparmaßnahmen (energetische Sanierung, Passivbauweise) auf die Radonkonzentration in Innenräumen - Los 1 122
Influence of structural energy conservation methods (energy remediation, passive house) on indoor radon concentration - Part 1
3611S10015

Untersuchung des Einflusses baulicher Energiesparmaßnahmen auf die Radonkonzentration in Innenräumen - Los 2 124
Influence of structural energy conservation methods on indoor radon concentration - Part 2
3611S10016

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 128
Preparation and revision of technical standards for radiation protection and quality assurance in medical radiology
3611S20006

Entwicklung und Validierung von Algorithmen zur Analyse von Spektren aus Halbleiterdetektoren mit mittlerer Energieauflösung (Raumtemperaturdetektoren) 131

Development and validation of algorithms for analysis of spectra from semiconductor detectors with mean energy resolution (room temperature detector)
3612S20012

THEMENBEREICH 03

STRAHLENBIOLOGIE - WIRKUNG VON IONISIERENDER STRAHLUNG, STRAHLENEMPFLINDLICHKEIT

SUBJECT AREA 03

RADIATION BIOLOGY - EFFECTS OF IONISING RADIATION, RADIOSENSITIVITY

3D/4D Architektur von chromosomalen Bruchpunktregionen in Zellkernen nach Bestrahlung von Normalzellen und Tumorzellen 136

3D/4D architecture of chromosomal break point regions in nuclei after radiation exposure of normal and cancer cells

3610S30015

Entwicklung strahleninduzierter DNA-Schäden während der S-Phase des Zellzyklus 141

Processing of radiation-induced DNA damage during the replicative S-phase of the cell cycle

3610S30016

Bestimmung und Validierung strahleninduzierter Genveränderungen in Brusttumoren zur verbesserten Brustkrebsrisikoabschätzung nach Exposition mit ionisierender Strahlung 146

Detection and validation of radiation-induced gene alterations in breast cancer for an improved assessment of radiation-related risks

3611S30019

Pilotstudie für eine epidemiologische Studie zur Untersuchung des Zusammenhangs von Strahlenbelastung und Katarakterkrankung 149

Pilot study for an epidemiological study on the association between (low dose ionising) radiation and cataract development

3611S30021

Entwicklung kardiovaskulärer Erkrankungen nach Strahlenexposition mit niedrigen Dosen 152

Development of cardiovascular diseases after low dose radiation exposure

3611S30022

Pilotstudie: Sequenzierung und bioinformatische Auswertung von kindlichen Leukämie-Fällen (akute lymphoblastische Leukämie, ALL) 155

Pilot study: Sequencing and bioinformatical analysis of childhood leukemia cases (acute lymphoblastic leukemia, ALL)

3611S70014

THEMENBEREICH 04

MEDIZINISCHE STRAHLENEXPOSITION / RÖNTGENVERORDNUNG

SUBJECT AREA 04

MEDICAL RADIATION EXPOSURES / X-RAY ORDINANCE

Evaluation der Brustkrebsmortalität im deutschen Mammographie-Screening-Programm-Machbarkeitsstudie 160

Evaluation of the breast cancer mortality in the German mammography-screening-program - Feasibility study

3610S40002

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 163

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

THEMENBEREICH 05
RADIOÖKOLOGIE

SUBJECT AREA 05
RADIOECOLOGY

Ergänzende Untersuchungen zur Validierung des Atmosphärischen Radionuklid-Transport
-Modells (ARTM) 168
Complementary Research on Validation of the Atmospheric Radionuclide Transportation Model (ARTM)
3612S50007

THEMENBEREICH 06
NOTFALLSCHUTZ

SUBJECT AREA 06
EMERGENCY MANAGEMENT

Weiterentwicklung des elektronischen Meldeverfahrens im radiologisch relevanten Ereignisfall unter
Berücksichtigung der Anforderungen im Rahmen internationaler Meldeverpflichtungen (ECURIE¹)/
EMERCON²) 172
*Further development of the electronical notification procedure in the case of a radiologically relevant
accident under consideration of international notification requirements (ECURIE/EMERCON)*
3610S60002

Generalisierte Konzepte für Maßnahmen bei nuklearen und radiologischen Notfällen 175
Generalised concepts for countermeasures in case of nuclear or radiological emergencies
3610S60014

Fortschreibung des Szenarienkatalogs für behördliche Notfallübungen 178
Extrapolation of the catalogue of exercise scenarios for emergency response planning by authorities
3611S60006

Weiterentwicklung der aero-gammaspektrometrischen Messsysteme des Bundesamtes für
Strahlen-schutz (BfS) und Anpassung der Mess- und Auswerteverfahren an die Anforderungen
des Notfallschutzes 181
*Development of the aero-gamma spectrometric measurement systems of the Federal Office for
Radiation Protection (BfS) and adjusting the measurements and the evaluation of the measurements
to the needs of the emergency management*
3611S60013

Erprobung alternativer, situationsangemessener Kommunikationsstrategien für den nuklearen
Notfallschutz mittels eines web-basierten Informations- und Kommunikationsforums 184
*Testing alternative, situation suited communication strategies for nuclear emergency response using
a web based information and communication forum*
3611S70004

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 - DIN 188

<i>Revision of technical radiation protection standards in the range of the Materials Testing Standards Committee (NMP) - Batch 1 - DIN</i>	
3611S20005	
Messtechnische und theoretische Abschätzung des Eintrags von I-131 in die OSPAR-Regionen auf Grund der nuklearmedizinischen Anwendungen von Radioiod in Deutschland	191
<i>Measurements and modelling of I-131 fluxes from nuclear medical applications in Germany into the OSPAR region</i>	
3611S70013	
Untersuchung des Einflusses von intrakorporalen Feldkomponenten an Gewebegrenzschichten bei der numerischen Bestimmung induzierter Feldstärkeverteilungen in hoch aufgelösten realistischen Computermodellen zu Überprüfung der Einhaltung von Grenzwerten	194
<i>Investigation of the influence of intra-corporal field components at tissue interfaces during numerical determination of induced field strength distributions in realistic high resolution body models for testing compliance with safety limits</i>	
3611S70017	
Machbarkeitsstudie zum Aufbau einer Geburtskohorte und zur Überprüfung genetischer Prädisposition bei kindlichen Leukämien (Prospektive Forschungsansätze)	197
<i>Feasibility study for establishing a birth cohort and for testing genetic predisposition to childhood leukaemia</i>	
3611S70020	
Untersuchungen zum Zusammenwirken umweltbedingter Risikofaktoren mit genetischen und weiteren endogenen Faktoren bei der Entstehung von Leukämie im Kindesalter - Teilvorhaben 4: Pilotstudie zum Vergleich der Inzidenz	200
<i>Pilot to develop a main study protocol for a multinational study of childhood leukaemia investigating the potential aetiological roles of genetic predisposition, biomarkers of infectious exposure and selected environmental factors</i>	
3611S70028	
Nachweis von chromosomalen Translokationen durch genomische PCR zur Identifizierung prä-leukämischer Zellen bei Kindern - Pilotstudie zur Entwicklung und Validierung geeigneter Sonden	202
<i>Detection of chromosomal translocation by genomic PCR aiming the identification of pre-leukemic cells - pilot study for development and validation of sensitive probes</i>	
3612S70019	
Radiologische Altlasten auf ehemaligen militärischen Liegenschaften - Erkundungen an ausgewählten Standorten	204
<i>Radiological residual wastes on former military properties - reconnaissances at select locations</i>	
3612S70023	
Evaluation und Weiterentwicklung von Kommunikationsstrategien in neuen Medien für eine zielgruppengerechte und permanente Präsentation radiologischer Messwerte aus dem Ortsdosisleistungs-Messnetz in Deutschland	207
<i>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</i>	
3612S70024	
Evaluierung des messbaren Nutzens für die Solarienbesucher durch die UV-Schutzverordnung, insbesondere die Unterweisung durch qualifiziertes Personal in Solarien	210
<i>Evaluation of the measurable benefit for tanning salons' customers due to the UV protection regulations, in particular through instructions from qualified staff in tanning salons</i>	
3612S70031	

THEMENBEREICH 08
NICHTIONISIERENDE STRAHLUNG

SUBJECT AREA 08
NON-IONISING RADIATION

- Auswirkungen niederfrequenter Magnetfelder auf die Entstehung und den Verlauf von neurodegenerativen Erkrankungen im experimentellen Modell 214
Effects of low frequency electromagnetic fields on the induction and progress of neurodegenerative diseases in an animal model
3608S03008
- Erweiterungsstudie zu multinationaler Fall-Kontroll-Studie zu Hirntumoren durch Radiofrequenzstrahlung bei Kindern und jungen Erwachsenen (MOBI-KIDS) 217
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 220
Tumor promotion by radiofrequency electromagnetic fields in combination with carcinogenic substances - synergistic effects
3611S30017
- Ergänzende Analysen von Daten zur Exposition durch RFID¹ Technologien aus FV 3609S80002 und Untersuchungen an Warensicherungsanlagen 222
Supplementary analyses of the data obtained in FV 3609S80002 concerning personal exposure caused by RFID devices and investigations of electronic article surveillance systems
3612S80004

THEMENBEREICH 09
DEUTSCHES MOBILFUNK FORSCHUNGSPROGRAMM

SUBJECT AREA 09
GERMAN MOBILE TELECOMMUNICATION RESEARCH PROGRAMME

- Einfluss hochfrequenter Felder des Mobilfunks auf das blutbildende System in vitro 226
Influence of high frequency electromagnetic fields of mobile communications on the hematopoietic system in vitro

IM JAHR 2012 BEGONNENE FORSCHUNGSVORHABEN, DEREN ERGEBNISSE NOCH NICHT VORLIEGEN 229

Research projects initiated in 2012 of which the results are not available yet

- Untersuchung des Brustkrebsrisikos nach Radioiodtherapie eines Schilddrüsenkarzinoms bei Jugendlichen und jungen Frauen 230
Assessment of breast cancer risk following radioiodine treatment for thyroid cancer among female adolescents and young women
3611S40006
- Bestimmung von Nuklidvektoren und Verteilung von Masse und Aktivität als Funktion der Aerosolpartikeldurchmesser in der Fortluft bei im Rückbau befindlichen kerntechnischen Anlagen 231
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

Fortschreibung der Untersuchung und Bewertung der tätigkeitsbezogenen Strahlenexposition in Anlagen nach AtG, standortnahen Zwischenlagern für radioaktive Abfälle und abgebrannte Brennelemente und nichtkerntechnischen Einrichtungen nach StrlSchV und RbV	232
<i>Update and evaluation of task-related exposure in nuclear facilities and other radiation relevant installations</i>	
3612S20001	
Ermittlung der Zuverlässigkeit von Dosiskoeffizienten für Radiopharmaka	232
<i>Assessment of the reliability of dose coefficients for radiopharmaceuticals</i>	
3612S20013	
Übersicht über vorhandene Tiermodelle, die für die Leukämieforschung angewandt werden können	233
<i>Overview about available murine models applicable for leukemia research</i>	
3612S70029	
Kontaktadressen	235

ZUSAMMENFASSUNG

Das Bundesamt für Strahlenschutz (BfS) vergibt im Auftrag des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (BMU) 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 die 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 BMU-Umweltforschungsplans im Jahr 2012.

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 und Reaktorsicherheit (BMU) und des Bundesamtes für Strahlenschutz (BfS). 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 die zulässige Strahlenexposition der Bevölkerung. Dabei wird auf der Grundlage bisheriger wissenschaftlicher Erkenntnisse angenommen, dass eine Exposition unterhalb des Grenzwertes zu keiner bedeutenden Erhöhung des natürlichen Strahlenrisikos führt. Im Interesse eines möglichst umfassenden Strahlenschutzes ist es notwendig, die vorliegenden Erkenntnisse ständig zu aktualisieren und dem neuesten Stand naturwissenschaftlicher und medizinischer Forschung anzupassen. Hierzu muss die **Wirkung ionisierender Strahlung** auf den Menschen weiter untersucht und bewertet werden, um zuverlässigere Aussagen zum Strahlenrisiko, insbesondere bei kleinen Dosen, zu gewinnen. Diese Wirkung kann individuell sehr unterschiedlich sein. Es müssen deshalb Verfahren zur Erkennung individueller **Strahlenempfindlichkeit** entwickelt werden.

Die heutige „Philosophie“ des Strahlenschutzes wird entscheidend durch die Grundsätze bestimmt, Tätigkeiten und Arbeiten, die zu zivilisatorischen Strahlenexpositionen führen, nur im erforderlichen Maße zuzulassen (sog. Rechtfertigungsgebot) und 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 Zweckmäßigkeitssupervision überprüft.

Da die zivilisatorische Strahlenexposition der Bevölkerung zum überwiegenden Teil durch die medizinische Strahlenexposition durch Diagnosemethoden bestimmt wird, ist diese ein weiterer Schwerpunkt der Projekte im BMU-Umweltforschungsplan 2012. Hier kommt es vor allem darauf an, Nutzen und Risiken von Untersuchungsverfahren abzuwägen, nach risikoärmeren Alternativverfahren zu suchen und die Strahlenexposition durch geeignete Verfahren zu reduzieren.

Für die Abschätzung der Strahlenexposition 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 Vorsorgemaßnahmen 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 sind 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 2012

Im Folgenden wird über die Ergebnisse ausgewählter, in 2012 abgeschlossener Forschungsvorhaben berichtet:

THEMENBEREICH 01 - NATÜRLICHE STRAHLENEXPOSITION

Für Personal deutscher Luftfahrtbetriebe ist die effektive Dosis durch kosmische Strahlung während des Fluges zu bestimmen. Dies erfolgt durch Rechenprogramme unter Angabe der Flugroute, der Flughöhe und der Flugzeit sowie des Flugdatums. Ein wesentlicher Parameter für die Programme ist dabei die Aktivität der Sonne. Im Vorhaben „**Untersuchungen der Ortsdosisleistung in Flugzeugen unter Berücksichtigung des Sonnenzyklus, der Lageveränderung der magnetischen Pole und der Auswirkung von solaren Ereignissen zur Qualitätssicherung der Dosisermittlung für das fliegende Personal (3608S10003)**“ wurde überprüft, ob die in Deutschland zugelassenen Programme im aktuellen Sonnenzyklus auf den üblichen Flugrouten und Flughöhen die effektive Dosis im Rahmen der erlaubten Abweichungen korrekt berechnen. Dazu wurden drei Dosimetriesysteme in Airbus-Flugzeugen vom Typ A340 der Deutschen Lufthansa AG eingebaut und die Dosis zwischen 9 km und 12,5 km Höhe insgesamt während 18 000 Stunden gemessen. Zusätzlich sollte der Einfluss von sog. Solar Flares auf die Höhenstrahlung untersucht werden, allerdings konnte während des Vorhabens kein dosisrelevantes Ereignis registriert werden.

Ziel des Vorhabens „**Analyse epigenetischer Effekte (microRNAs) in ehemaligen Wismutbeschäftigten (3610S10001)**“ war die Entwicklung und Etablierung einer Oligonukleotid-Microarray Methode zur Analyse der Expression von micro-Ribonukleinsäuren (miRNAs) im Vollblut ehemaliger Uranbergarbeiter.

Mittels der Microarrays wurden Proben von hoch- und niedrigexponierten Probanden auf die Expression von 703 humanen miRNAs gescreent, um mögliche Biomarker einer Strahlenexposition zu identifizieren. Dazu wurden 60 RNA-Proben aus dem Vorhaben „Aufbau einer Bioproben-Bank von ehemaligen Beschäftigten der SAG/SDAG Wismut - Pilotstudie“ (3607S04532) mit den selbst hergestellten Microarrays analysiert und potenziell geeignete Biomarker anschließend mittels der quantitativen Real-Time Polymerase Chain Reaction (qRT-PCR) verifiziert.

Durch das Screening konnte mit miRNA-548d-5p ein möglicher Biomarker identifiziert werden, der im Vergleich zwischen hoch- und niedrigexponierten Probanden eine signifikant veränderte Expression aufweist. In der Verifizierung mittels qRT-PCR zeigte sich zwar ebenfalls ein Unterschied zwischen den beiden untersuchten Gruppen, allerdings war dieser nicht signifikant.

Ziel des Vorhabens „**Erhebung der medizinischen Strahlenexposition für eine eingebettete Fall-Kontrollstudie zu Leukämie bei Beschäftigten der Wismut AG (3610S40007)**“ war die Erhebung von Daten zur medizinischen Strahlenexposition für eine in die Wismut-Kohorte eingebettete Fall-Kontroll-Studie zur Leukämiemortalität. Hierzu wurden die Akten des Gesundheitsdatenarchiv Wismut (GDAW) für rund 600 Probanden identifiziert und die relevanten Daten, insbesondere bezüglich der bei Uranerzarbeitern regelmäßig durchgeführter Röntgenreihenuntersuchungen, erfasst. Die dem BfS übergebene Datei umfasst insgesamt 15 581 Datensätze zu 640 Probanden.

THEMENBEREICH 02 - STRAHLENSCHUTZTECHNIK

Prüfkörper nehmen im Rahmen der technischen Qualitätssicherung von Röntgeneinrichtungen eine zentrale Rolle ein. Bislang gibt es gleichwohl keine Herstellerunabhängige Kontrolle der Konformität von auf dem Markt verfügbaren Prüfkörpern mit deren in Normen vorgegebenen Spezifikationen. Im Rahmen des Vorhabens „**Entwicklung von Verfahren zur zerstörungsfreien Qualitätskontrolle von Prüfkörpern, die im Rahmen von Prüfungen zur Qualitätssicherung nach § 16 Abs. 2 und 3 der Röntgenverordnung von Röntgeneinrichtungen zur Untersuchung von Menschen verwendet werden (3608S20001)**“ wurden zerstörungsfreie Methoden entwickelt, die es ermöglichen, die Norm-Konformität von Prüfkörpern zu überprüfen. Die entwickelten Methoden wurden im Rahmen einer Stichprobe an auf dem Markt verfügbaren Prüfkörpern angewendet. Innerhalb der Stichprobe wurden bei einem auffallend hohen Anteil an Prüfkörpern qualitative und quantitative Mängel festgestellt. Die Mängel sind in etlichen Fällen so groß, dass sie relevanten Einfluss auf die Prüfergebnisse haben.

Direktablesbare, aktive elektronische Personendosimeter (EPD) werden zur alleinigen oder ergänzenden personendosimetrischen Überwachung zahlreicher Personengruppen eingesetzt. Aus vorhergehenden Untersuchungen ist bekannt, dass das Ansprechvermögen von EPD dosisleistungsabhängig ist. Im Rahmen des Vorhabens „**Dosimetrie mit elektronischen Dosimetern in gepulsten Photonenstrahlungsfeldern Teil 2 (3610S20001)**“ wurde überprüft, ob das Ansprechvermögen der EPD im Bereich der Dosisleistungen, die an Arbeitsplätzen in der human-, zahn- und veterinärmedizinischen Röntgendiagnostik auftreten, für den Einsatzzweck ausreichend ist.

Die Dosisleistungsabhängigkeit des Ansprechvermögens von EPD der Typen Mk 2.3 und DMC2000X wurde unter Laborbedingungen untersucht. Bei einer Dosisleistung unterhalb von etwa 1 Sv/h¹⁾ liegt das Ansprechvermögen der EPD über von 80%, was als ausreichend für den Einsatzzweck anzusehen ist.

Für sämtliche relevanten Arbeitsplätze der Human-, Zahn- und Veterinärmedizin wurde die maximal mögliche Dosisleistung am Ort der EPD abgeschätzt. Die Konservativität der Abschätzung wurde durch Messungen überprüft. Es zeigte sich, dass mit einer Ausnahme an diesen Arbeitsplätzen die Dosisleistung deutlich unterhalb von 1 Sv/h liegt. Es ist damit anzunehmen, dass EPD in den betrachteten Arbeitsbereichen uneingeschränkt einsatzfähig sind.

¹⁾Die Maßeinheit Sievert pro Stunde (Sv/h) ist gebräuchlich zur Kennzeichnung des Messbereichs von Dosimetern. In gepulsten Feldern treten scheinbar sehr hohe Dosisleistungen auf (im Bereich von einigen Sv/h). Dabei ist zu beachten, dass die tatsächliche Strahlenexposition nur während der kurzen Dauer der Pulse erfolgt, die im Bereich von Milli- oder Mikrosekunden liegt.

THEMENBEREICH 03 - STRAHLENBIOLOGIE - WIRKUNG VON IONISIERENDER STRAHLUNG, STRAHLENEMPFLINDLICHKEIT

Im Rahmen des Vorhabens „**2. Strahlen-Proteomics-Workshop (3612S30032)**“ diskutierten Strahlenbiologen und Proteomics-Spezialisten am 30. und 31. Januar 2013 neue Methoden, Herausforderungen sowie den aktuellen Stand der Strahlen-Proteomforschung. Die zentrale Fragestellung lautete: Wie können Proteomanalysen zu den strahlenbiologischen Themen wie „individuelle Strahlenempfindlichkeit“, „systemische Effekte der ionisierender Strahlung“, „biologische Auswirkungen der niedrigen Dosen und Dosisraten“ und „strahlenverursachte epigenetische Änderungen“ beitragen? Im Vergleich zu der hoch-dosierten Strahlung ist das Gesundheitsrisiko der niedrigen Dosen wenig erforscht - entscheidende Antworten stehen noch aus. Um diese wichtige Frage zu klären steht der Ansatz, das gesamte Proteom zu untersuchen, immer mehr im Mittelpunkt der strahlenbiologischen Gemeinschaft. Neue Informationen über die Signalwege und zelluläre Reaktionsmechanismen im Niedrigdosisbereich werden in Zukunft Hochdurchsatz-Verfahren der Proteomforschung liefern; diese erlauben es, Einblick in die Physiologie der durch Strahlung geschädigten Zellen und Organe zu nehmen. An der Organisation des Workshops war neben dem Helmholtz Zentrum München das BfS - Bundesamt für Strahlenschutz beteiligt.

THEMENBEREICH 04 - MEDIZINISCHE STRAHLENEXPOSITION / RÖNTGENVERORDNUNG

Im ersten Teilprojekt des Vorhabens „**Medizinphysikalische Optimierung und Risikobewertung diagnostischer und therapeutischer Strahlenanwendungen (3608S04001)**“ wurden drei funktionelle Bildgebungstechniken für die biologisch-adaptierte Strahlentherapie implementiert und anhand von Phantomuntersuchungen sorgfältig optimiert und validiert, nämlich (1.) das H-1-Chemical-Shift-Imaging (H-1-CSI) an einem 3-T-MR-System, sowie (2.) die dynamische Positronen-Emissions-Tomographie (PET) unter Verwendung von F-18-Fluorodesoxyglukose (FDG) in Kombination mit (3.) der dynamischen kontrastverstärkten (DCE) CT an einem modernen hybriden PET/CT-System. Auf Grund der geringen Ortsauflösung von ca. 12 mm ist das H-1-CSI als funktionelle Bildgebungstechnik für die biologisch-adaptierte Strahlentherapie nur sehr eingeschränkt tauglich. Hierfür ist die PET/CT auf Grund der deutlich besseren Ortsauflösung von bis zu 4,6 mm wesentlich besser geeignet. Die Hybridtechnologie erlaubt darüber hinaus dynamische FDG-PET- und DCE-CT-Messungen für die quantitative Charakterisierung des Energiestoffwechsels bzw. der Mikrozirkulation in einer Sitzung. Mit der Anwendung und Erprobung der entwickelten medizinphysikalischen Methoden im Rahmen einer Strahlentherapiestudie an Patienten mit Hirntumoren wurde begonnen. Im zweiten Teilprojekt sollte die Wirkung statischer Magnetfelder auf die Mikrozirkulation in der Muskulatur von Probanden an drei MR-Systemen mit magnetischen Flussdichten von 1,5, 3 und 7 T untersucht werden. Hierzu wurden an den drei Systemen geeignete Messverfahren implementiert und validiert. Leider konnte die Probandenstudie nicht wie geplant durchgeführt werden, da die hierfür benötigte Ganzkörperspule unerwarteterweise nicht zur Verfügung stand.

Im Rahmen des Vorhabens „**Erstellung von hybriden Voxelmodellen zur Optimierung von Bildqualität und Dosis in der Radiographie (3609S40002)**“ wurden folgende Ergebnisse erreicht: Hochaufgelöste Aufnahmen der anatomischen Präparate, ein Programm zur Einpassung der hoch aufgelösten Teilkörpermodelle in die vorhandenen Referenzvoxelmodelle, ein Monte-Carlo-Programm, das zwischen unterschiedlichen Voxelauflösungen wechseln kann, sowie erste Bildsimulationsrechnungen mit Phantomen unterschiedlicher Auflösung. Schwerwiegende Probleme bei der Durchführung führten zu erheblichen Zeitverzögerungen, so dass die endgültigen Simulationsrechnungen zur Bestimmung der Bildqualität innerhalb der Projektlaufzeit nicht mehr durchgeführt werden konnten. Allerdings wurden alle ursprünglich dafür geplanten Methoden erfolgreich entwickelt und zusätzlich Lösungen für die beschriebenen Probleme erarbeitet.

Im Rahmen des Vorhabens „**Machbarkeitsstudie zur Erhebung der Medizinischen Strahlenexposition in der Helmholtzkohorte (jetzt Nationale Kohorte) (3610S40001)**“ wurde für die Nationale Kohorte die Machbarkeit der Erhebung medizinischer Strahlenexpositionen überprüft. Zunächst wurde basierend auf bestehender Literatur ein Fragebogen entwickelt, der nachfolgend bei 199 Teilnehmern (87 männlich, 112 weiblich) der Rekrutierungsorte Bremen und Hamburg im Rahmen der Basisuntersuchung eingesetzt wurde. Die am häufigsten angegebenen Untersuchungen betrafen die Zähne, obere sowie untere Extremitäten und den Brustraum. 90 (45%) der Teilnehmer hatten jemals eine CT-Aufnahme, am häufigsten des Schädels. Anhand Geräteherstellerempfehlungen, Leitlinien der Bundesärztekammer und Konversionsfaktoren aus Drexler u. a.

1993 wurden retrospektive Schätzungen der Organdosen durchgeführt. Für CT-Untersuchungen wurde das Programm CT-Expo verwendet. Eine mittlere gesamte Dosis von 0,6 mSv wurde für Untersuchungen des Brustraums ermittelt, davon für die Nebennieren sowie die Lunge jeweils 0,11 mSv. Für CT-Schädel Untersuchungen wurde eine mittlere Gesamtorgandosis von 52,9 mSv geschätzt.

Im Rahmen der Kohortenstudie zur Häufigkeit angeborener Fehlbildungen in der Umgebung von Leistungsreaktoren wurde beobachtet, dass Kinder von weiblichem medizinischem Fachpersonal ein erhöhtes Risiko für angeborene Fehlbildungen haben, wenn die Mütter zu Beginn der Schwangerschaft in einem medizinischen Beruf mit potenzieller Strahlenbelastung gearbeitet haben. Da der Befund nur auf wenigen Fällen beruht, muss der Fragestellung in einer eigenen Studie dringend nachgegangen werden. In dieser vorgeschalteten Machbarkeitsstudie **„Risiko für angeborene Entwicklungsfelddefekte bei Kindern von Mitarbeiterinnen im medizinisch-diagnostischen Bereich, die im Rahmen ihrer beruflichen Tätigkeit mit ionisierender Strahlung arbeiten (3610S40004)“** wurden die Anschreibelogistik, der Rekrutierungsweg und die Logistik für die Untersuchung der Kinder auf Fehlbildungen erprobt. Da bei der Rekrutierung über das beim BfS geführte Strahlenschutzregister die Teilnehmerate unerwartet niedrig war, wurden eine ausführliche Non-Responder-Analyse durchgeführt und ein alternativer Rekrutierungsweg getestet. Außerdem wurden aus den Daten des Strahlenschutzregisters Dosiswerte für die teilnehmenden Mütter ermittelt. Als Vergleichskohorte zur Überprüfung der Qualität der erhobenen Daten wurde eine populationsbezogene Geburtskohorte aus dem Mainzer Geburtenregister (Mainzer Modell) verwendet. In dieser Vergleichsgruppe wurden Daten zur Strahlenbelastung der Eltern des Neugeborenen erhoben. Aus den Ergebnissen der Machbarkeitsstudie wurden Empfehlungen für die mögliche Durchführung der Hauptstudie erarbeitet.

THEMENBEREICH 05 - RADIOÖKOLOGIE

Die Ermittlung von Strahlenexpositionen kann Szenario-, Modell- und Parameterunsicherheiten der Expositionsmodelle aufweisen. Schwerpunkt des Vorhabens **„Vergleichende Betrachtung der probabilistischen/stochastischen und deterministischen Modellierung von Expositionen im Hinblick auf die Belastbarkeit des Modellergebnisses und die Anforderung an die Qualität der Eingangsdaten (3609S50002)“** war die Untersuchung und vergleichende Bewertung von Methoden zur Berücksichtigung von Parameterunsicherheiten durch konservative deterministische Ansätze bzw. durch probabilistische Modellrechnungen mit Hilfe von Monte-Carlo-Simulationen und Bayes-Verfahren. Darüber hinaus wurden alternative Methoden wie die Evidenz- und Possibilitätstheorie zur Modellierung von Unsicherheiten sowie konzeptionelle Unterschiede von probabilistischen und stochastischen Modellierungsansätzen behandelt. Es wurde untersucht, unter welchen Randbedingungen (Fragestellung, Zweck, Expositionssituation, Qualität der Eingangsdaten etc.) radioökologischen Modellen zur Expositionsberechnung deterministische bzw. probabilistische Ansätze zu Grunde gelegt werden können oder sollten. Zur probabilistischen Modellierung wurden Mindestanforderungen an die Qualität der Eingangsdaten und weitere methodische Aspekte untersucht sowie die Belastbarkeit dieser Ansätze im Vergleich zur deterministischen Expositionsmodellierung bewertet.

THEMENBEREICH 06 - NOTFALLSCHUTZ

Die unfallbedingte oder absichtliche Freisetzung radioaktiver Stoffe führt zu Kontaminationen von urbanen Oberflächen, Gebäuden und der Kleidung von Personen. Resuspension ist die dominierende Ursache für die Strahlenexposition durch Inhalation bei den Hilfskräften und dem Rettungspersonal am Ereignisort. Unter Nutzung eines universellen kleinskaligen Windkanals wurden die Windresuspension und die Resuspension infolge der Einwirkung mechanischer Kräfte auf die jeweilige urbane Testoberfläche untersucht. Dazu wurden im Vorhaben **„Ermittlung der Zeitabhängigkeit der Resuspension partikelgebundener radioaktiver Kontaminationen von urbanen Oberflächen unter Berücksichtigung unterschiedlicher Umwelteinflüsse und Gegenmaßnahmen (3611S60012)“** Testoberflächen mit definierten Oberflächenbelegungen in einer Sedimentationskammer hergestellt. Die Kontamination wurde sowohl durch nasse als auch durch trockene Deposition aufgebracht. Als Testaerosole wurden trockene kugelförmige Silberpartikel sowie Lösungen von Cäsiumchlorid verwendet.

Die Resuspensionsrate für durch nasse Deposition kontaminierte urbane Oberflächen ist um 1 bis 2 Größenordnungen kleiner als die Resuspensionsrate bei einer Beaufschlagung durch trockene Deposition. Versuche haben gezeigt, dass durch das Fixieren einer Kontamination mittels eines Wasser-Glycerin-Gemisches die Resuspensionsrate um den Faktor 100 verringert werden kann. Untersuchungen zur Resuspension bei Gehbewegungen wurden im Reinraum durchgeführt. Die Werte des resuspendierten Anteils der lungengängigen

Bodenkontamination liegen im Bereich von 0,1 bis max. 1%, bezogen auf die Auftrittsfläche. Bei wiederholtem Betreten der gleichen Fläche nimmt die Resuspensionsrate mit dem Wert $1/n$ (n = Anzahl der wiederholten Begehungen) ab. Ein ähnliches Verhalten konnte für den Fahrzeugverkehr auf öffentlichen Straßen nachgewiesen werden. Eine Reduktion der Geschwindigkeit führt zu einer weiteren erheblichen Minderung der Resuspension.

Das Programmsystem LASAIR wird im Rahmen der Nuklearspezifischen Gefahrenabwehr für die Abschätzung der potenziellen Auswirkungen nach Detonation einer „schmutzigen Bombe“ eingesetzt. Im Verlauf der Anwendung des Programms durch Behörden und Institutionen aus dem Bereich der Gefahrenabwehr hat sich eine Reihe von Anwenderanforderungen ergeben, die im Laufe dieses Forschungsvorhabens bearbeitet wurden. Dabei handelt es sich im Wesentlichen um die Berücksichtigung der Auswirkungen von Gebäudestrukturen und Orographie auf die Ausbreitungsrechnung, die Verbesserung der Auflösung im Nahbereich der Freisetzung und um die Erweiterung der Anwendung des Programmsystems für die Nutzung in anderen Ländern außerhalb Deutschlands. Mit dem Vorhaben **„Adaptierung des Programmsystems LASAIR für aktuelle und erweiterte Aufgabenstellungen im Bereich der Nuklearspezifischen Gefahrenabwehr (3611S60015)“** wurden diese Anwenderanforderungen umgesetzt.

In dem Forschungsvorhaben **„Evaluation der Krisenkommunikation im radiologischen Notfall am Beispiel von Fukushima (3612S60020)“** wurden die Krisenkommunikation innerhalb der und zwischen den beteiligten Behörden und Organisationen sowie die Öffentlichkeitsarbeit im Zusammenhang mit dem Unfall in Fukushima untersucht. Hierzu wurden die grundlegenden Anforderungen aus der einschlägigen Literatur herausgearbeitet, die bestehenden Planungsunterlagen und internen Bewertungen zum Unfall in Fukushima herangezogen und die Erfahrungen der Mitarbeiter durch Leitfadenterviews erfasst. Auf dieser Wissensbasis wurden etwaige Schwachstellen identifiziert und entsprechende Empfehlungen zur Verbesserung der Krisenkommunikation und der Öffentlichkeitsarbeit entwickelt. Im Ergebnis ist festzustellen, dass die stattgefundene Krisenkommunikation innerhalb der und zwischen den einzelnen Behörden und Organisationen sowie die Information der Öffentlichkeit grundsätzlich gut funktioniert haben. Zur weiteren Optimierung wurden anhand der festgestellten Schwachstellen Empfehlungen abgeleitet.

THEMENBEREICH 07 - VORHABEN MIT ALLGEMEINER BEDEUTUNG FÜR DEN STRAHLENSCHUTZ

Im Vorhaben **„Quantitative Abschätzung des Strahlenrisikos unter Beachtung individueller Expositionsszenarien – Neufassung der Strahlenepidemiologischen Tabellen (3607S04570)“** wurden Methoden zur Abschätzung der Wahrscheinlichkeit sowie deren Verteilung entwickelt, mit der eine vorangegangene Strahlenexposition bei einer bestimmten Person und bei einer gegebenen Expositionssituation zu einer Krebserkrankung geführt hat (Verursachungs- oder Zusammenhangswahrscheinlichkeit). Die erste Version des entsprechenden Computer-Programms ProZES wurde erstellt und die genannten Methoden implementiert. Die Methoden basieren einerseits auf der spezifischen individuellen Information und andererseits auf empirischen Risikomodellen zu strahleninduziertem Krebs. Sie berücksichtigen verschiedene stochastische Faktoren, die relevant für die Zusammenhangswahrscheinlichkeit 'Z' und deren Verteilung sind. Die Methoden und Algorithmen von ProZES wurden von Grund auf neu entwickelt, wobei mit Expertengruppen von UNSCEAR und der Strahlenschutzkommission (SSK) zusammengearbeitet wurde. In der in diesem Vorhaben entwickelten ersten Version von ProZES lässt sich die Zusammenhangswahrscheinlichkeit für Krebserkrankungen von Magen, Darm, weiblicher Brust und Lunge nach Exposition mit Niedrig-LET-Strahlung abschätzen. Dies sind vier der häufigsten auftretenden Krebsarten. Das Programm ProZES ist eine hocheffiziente Windows Anwendung. Es stellt verschiedene Funktionen für die Eingabedaten zur Verfügung, die Ausgabe kann sowohl in grafischer wie textbasierter Form angezeigt werden. In einer zweiten Version des Programms ist geplant, alle anderen Krebslokalisationen sowie Hoch-LET-Strahlung zu berücksichtigen.

Ziel des Vorhabens **„Vermittlung von Informationen zum Strahlenschutz und deren Wahrnehmung in der Öffentlichkeit (3611S70005)“** war es zu klären, wer im Bereich Strahlenschutz die Öffentlichkeit informiert und wie Angebote von Unternehmen und Wirtschaftsverbänden, NGOs, Behörden und Ministerien und wissenschaftlichen Instituten in der Öffentlichkeit von Bürgerinnen und Bürgern wahrgenommen werden. Die Literaturstudie zeigt, dass sozialwissenschaftliche Untersuchungen zur Risikowahrnehmung und zur Risikokommunikation umfassend für nicht-ionisierende und ionisierende Strahlung vorliegen. Lücken existieren bei den Bereichen sichtbares Licht, Infrarot, TETRA sowie statische magnetische und elektrische Felder. Arbeitspaket 2 zeigt in den einzelnen Strahlungsbereichen, dass besonders zu den Themenfeldern ultraviolette

Strahlung, Mobilfunk und nukleare Unfälle von fast allen Akteuren Informationsangebote zum Strahlenschutz mit Handlungsempfehlungen dargeboten werden. Demgegenüber fanden sich bei niederfrequenten Feldern, im Transportbereich (z. B. Straßenbahn, S-Bahn, Zug) sowie zu Radioaktivität im Bergbau und bei Baustoffen nur sehr wenige Informationen. Die Bevölkerungsumfrage ergab ein großes Interesse am Thema Strahlenschutz. Insbesondere die Themen „AKW“ und „UV-Strahlung“ finden besondere Beachtung. Die Risikowahrnehmung in Bezug auf die Strahlung von AKWs ist am stärksten ausgeprägt. Der Auftragnehmer empfiehlt dem BfS, sein Internetangebot auszubauen, um Strahlenschutzinhalte und die eigene Rolle in der Öffentlichkeit bekannter zu machen.

THEMENBEREICH 08 - NICHTIONISIERENDE STRAHLUNG

In der Studie „**Einfluss hochfrequenter elektromagnetischer Felder des Mobilfunks auf menschliche Fibroblasten (Gentoxizität) (3607S04504)**“ sollte im EU-Forschungsprogramm REFLEX beschriebenen Hinweisen auf mögliche gentoxische Effekte hochfrequenter elektromagnetischer Felder in humanen dermalen Fibroblasten nachgegangen werden. Entsprechend wurden die Parameter der Studie an diejenigen der REFLEX-Studie angelehnt. Es wurden humane dermale Fibroblasten von 10 juvenilen (Alter 18-19) und 10 adulten (Alter 50-59) Spendern verwendet und mit hochfrequenten, elektromagnetischen Feldern von 1800 MHz (GSM-1800, intermittierend 5 min an, 10 min aus) mit SAR-Werten von 0 (Sham-Kontrolle), 0,2, 2 und 10 W/kg exponiert. Parallel wurden Positivkontrollen mit entsprechenden chemischen Toxinen mitgeführt. Als analytische Endpunkte wurden Comet-Assays, Mikrokerntests mit CREST-Markierung, numerische Chromosomen-Aberrationen, Zellzyklusanalysen und TUNEL-Assays durchgeführt. Die gesamte Studie wurde als Doppelblindstudie durchgeführt; d. h. ohne Zugang der Experimentatoren zu den Befeldungsdaten vor Abschluss der Auswertungen und der statistischen Analyse. Die statistischen Analysen zeigten für keinen der analysierten Endpunkte Hinweise auf statistisch signifikante gentoxische oder dosis-abhängige Effekte, induziert durch hochfrequente EMF-Exposition in primären humanen dermalen Fibroblasten *in vitro*.

In der Studie „**Einfluss niederfrequenter elektromagnetischer Felder auf das sich entwickelnde blutbildende System, das Immunsystem und das ZNS *in vivo* (3608S30006)**“ wurde der mögliche Effekt einer lebenslangen Exposition gegenüber niederfrequenten magnetischen Feldern auf die Entwicklung von Jungtieren und die Reifung des blutbildenden Systems, des Immunsystems und des zentralen Nervensystems *in vivo* in einem Mäusemodell untersucht. Drei Dosisgruppen (10 μ T, 1 mT und 10 mT) von freibeweglichen CD-1-Mäusen in Gruppenhaltung wurden täglich für 20 Stunden befeldet, beginnend mit Tag 10 der Trächtigkeit. Zusätzlich wurde eine Gruppe von Tieren scheinexponiert und eine weitere separate Käfigkontrolle mitgeführt. In zwei separaten Teilstudien zeigten sich keine adversen Effekte auf den Reproduktionserfolg der Muttertiere, auf die körperliche Entwicklung der Nachkommen sowie auf ihr Verhalten. In immunologischen Untersuchungen zeigte sich im Alter von 90 Tagen eine reduzierte Anzahl von CD8+ zytotoxischen T-Zellen (CTL) sowohl im peripheren Blut als auch in der Milz der Nachkommen in der mittleren und hohen Dosisgruppe. Dieser Effekt war nicht sehr ausgeprägt aber signifikant, wurde allerdings nicht nach 28 Tagen oder nach einer Gesamtexposition von 18 Monaten beobachtet. CTL sind wichtige Effektorzellen des Immunsystems. Sie zerstören Zellen, die nicht körpereigene Antigene auf ihrer Oberfläche über MHC Klasse I Moleküle präsentieren und schützen dabei gegen virale Infektionen und Tumore. Ob die beobachtete Reduktion der CTL funktionelle Auswirkungen hat, kann anhand der Resultate aus den bisher durchgeführten Studien nicht geschlossen werden. Bei den hämatologischen Untersuchungen nach 18monatiger Exposition zeigten sich statistisch signifikant erhöhte Lymphozytenwerte im peripheren Blut aller drei Magnetfeld-exponierten Gruppen bei gleichzeitiger statistisch signifikanter Abnahme der Anzahl segment-kerniger Granulozyten. Die histopathologische Untersuchung aller Tiere nach 18 Monaten ergab keine expositionsabhängigen Effekte, insbesondere weder für neoplastische noch für nicht-neoplastische Veränderungen des blutbildenden Systems und des Immunsystems.

Nach einer ausführlichen Literaturstudie wurden im Vorhaben „**Entwicklung und Anwendung von Verfahren zur Bestimmung der Exposition gegenüber nichtionisierender Strahlung mit Frequenzen im Terahertzbereich (3610S80001)**“ Methoden zur messtechnischen und rechnerischen Bestimmung der Exposition von Personen durch THz-Felder entwickelt. Zur Messung der durch THz-Systeme verursachten Exposition wurde ein zweistufiges Verfahren vorgeschlagen: Zunächst wird am Expositionsort mit Hilfe einer linsengekoppelten THz-CMOS-Kamera ein Hotspot lokalisiert bzw. die Einfallsrichtung des Strahls ermittelt. In einem weiteren Schritt wird die Messung der lateralen Leistungsdichteverteilung am Expositionsort ausgeführt. Hierfür wurde die direkte Strahlabtastung mit einem THz-CMOS-Direktdetektor kleiner Apertur oder al-

ternativ (bei Gauß-förmigen Verteilungen) mit der Knife-Edge-Methode untersucht. Für die Expositionsbestimmung mittels numerischer Dosimetrie wurden detaillierte Modelle der menschlichen Haut und des Auges sowie Feld-Anregungsmodelle, z. B. für eine Gauß'sche Strahlanregung, erstellt. Die für die Berechnung der körperinneren Feld- und SAR-Verteilungen benötigten, jedoch in der Literatur nicht ausreichend beschriebenen dielektrischen Materialparameter im THz-Frequenzbereich wurden mittels der „effective medium theory“ bestimmt. Zur Bewertung der Exposition wurden ferner - ausgehend von der SAR als Quelle - die expositionsbedingten Temperaturanstiege ermittelt.

Das Forschungsvorhaben „**Bestimmung der Exposition der allgemeinen Bevölkerung durch neue Mobilfunktechniken (3611S80002)**“ befasst sich primär mit der messtechnischen Erfassung und Analyse von Immissionen im Umfeld von LTE- und TETRA BOS-Basisstationen. LTE-Messungen an 102 systematisch und 75 zufällig ausgewählten Messpunkten ergaben auf maximale Anlagenauslastung extrapolierte Immissionen zwischen 0,002 und 7,28% der Feldstärkegrenzwerte der 26. BImSchV (Median 0,70%). Die „aktuellen“, d. h. raum- und zeitgemittelten Immissionen waren feldstärkebezogen um Faktoren zwischen 3,1 und 17,2 niedriger. Die TETRA BOS-Messungen an 40 systematisch und 40 zufällig ausgewählten Messpunkten ergaben extrapolierte Immissionen zwischen 0,03 und 4,63% des Feldstärkegrenzwertes (Median 0,46%). Die „aktuellen“ Immissionen waren feldstärkebezogen um Faktoren zwischen 2,1 und 4,4 niedriger. LTE- und TETRA BOS-Immissionen sind von ihrer Größenordnung und ihrer örtlichen Verteilung vergleichbar zu den Immissionen durch GSM- und UMTS-Mobilfunkanlagen.

Als Fazit ist festzustellen, dass mit den Basisstationen der neuen Mobilfunktechniken LTE und TETRA BOS eine Expositionszunahme für die Bevölkerung verbunden ist; die Gesamtimmission durch Sendeanlagen bewegt sich aber nach wie vor auf sehr geringem Niveau (Median kleiner als 2% des Feldstärkegrenzwertes). An den untersuchten Mobilfunkanlagen ergab sich bei maximaler Anlagenauslastung im Mittel ein leistungsbezogener Zuwachs der Mobilfunkimmissionen von 37% durch LTE bzw. 47% durch TETRA BOS. Im Mittel wurde leistungsbezogen ein Anteil von 22% für LTE und 30% für TETRA BOS an der gesamten Hochfrequenzimmission gemessen. Diese Angaben sind vor allem für die unmittelbare Umgebung der ausgewählten Anlagen repräsentativ und sollten nicht als flächen- bzw. bevölkerungsgemittelte Immissionszunahme interpretiert werden.

THEMENBEREICH 09 - DEUTSCHES MOBILFUNK FORSCHUNGSPROGRAMM

Im Rahmen des Vorhabens „**Altersabhängige Wirkungen hochfrequenter elektromagnetischer Felder des Mobilfunks auf Entwicklungs- und Differenzierungsprozesse des Zentralnervensystems in juvenilen Labornagern**“ wurden weibliche Wistar-Ratten beginnend mit dem Alter von 14 Tagen bis zum Alter von 19 Monaten im Kopfbereich für 2 Stunden pro Tag, 5 Tage pro Woche elektromagnetischen Feldern des Mobilfunks ausgesetzt (900 MHz GSM). Die SAR-Werte betragen 0, 0,7, 2,5 und 10 W/kg als über das Rattenhirn gemittelter Teilkörper-SAR-Wert. Die vornehmliche Exposition des Kopfes erfolgte durch Fixierung der Tiere in Röhren unterschiedlicher Größe. Während des Versuchszeitraums wurden 3 Blöcke von Verhaltens- und Lerntests in juvenilen, adulten und präsenilen Ratten durchgeführt (RotaRod, Morris-Water-Maze, 8-Arm-Labyrinth, Open Field). Zwischen den Gruppen der exponierten bzw. scheinexponierten Tiere zeigten sich in Bezug auf Entwicklungsparameter sowie in den Verhaltenstests keine auffälligen Unterschiede. Die histologischen Untersuchungen am Ende des Versuchszeitraums ergaben keine Hinweise auf erhöhte Tumorraten des Zentralnervensystems aufgrund der Exposition mit hochfrequenten elektromagnetischen Feldern. Die Körpergewichte der exponierten bzw. scheinexponierten Tiere waren gegenüber den Käfigkontrollen im ersten Jahr nicht, danach nur leicht verschieden, so dass Stress als Störfaktor eine geringe Rolle gespielt haben dürfte.

Summary

On behalf of the Ministry for the Environment, Nature Conservation and Nuclear Safety (BMU) 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. Planning, technical and administrative preparation, awarding of contracts, general support as well as the technical evaluation of research and study projects are tasks of the Federal Office for Radiation Protection. This report provides information on preliminary (in the form of status reports) and, where applicable, final results of radiation protection projects within the BMU's Environmental Research Plan for the year 2012.

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 and Nuclear Safety (BMU) 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 statements of the problem 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, a broad thematic spectrum of investigative projects 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 tasks needed in **radiation protection technology** require improving existing measurement techniques, developing new systems and continually checking and adjusting dosimetric models and data.

The Radiation Protection Ordinance sets forth dose limits for acceptable radiation exposure of the general public, assuming that exposure below the limit will not give rise to any significant increase in natural radiation risk based on scientific findings hitherto existing. In the interest of achieving the most comprehensive radiation protection possible, it is necessary to continually update experience gained and adapt it to the latest standard of scientific and medical research. In order to attain more reliable evidence of radiation risk, in particular in the low dose range, the **effects of ionising radiation** to man must be further examined and evaluated. These effects can vary considerably depending on the individual. Therefore, procedures for identifying individual **radio-sensitivity** have to be developed.

Today's radiation protection philosophy is to a high degree determined by the principle of not adopting any action or practice leading to artificial exposure unless it produces sufficient benefit (so-called Principle of Justification) and keeping radiation exposure of justified activities and practices also as low as reasonably achievable (Principle of Optimisation). Both principles are stipulated in the Radiation Protection Ordinance. The observance of these principles will be controlled.

Since man-made radiation exposure of the public is mainly made up of medical radiation exposure from diagnostic procedures, this latter is another focal point of the BMU Environmental Research Plan (Umweltforschungsplan) 2012. 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.

For protecting the population, it is important to investigate 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 BfS' permanent tasks. **Emergency management** is an area that continually needs to be improved 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 artificially made UV radiation in solariums. 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. The on-going expansion in this trend requires that new tasks in the field of protection from the effects of **non-ionising radiation** to be performed.

Apart from the existing well-founded scientific findings on health effects, there are hints for potential further biological effects at lower field intensities which have not yet been fully apprehended 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 BMU and the German mobile phone network operators. In order to exclude possible conflicts of interest, the projects were assigned and scientifically overseen solely by BfS. The Research Programme was initiated by BfS and ended in 2008. Individual follow-up projects, assigned and scientifically overseen by BfS, are now being funded within the scope of the so-called DMF II.

Summary of results from recent research projects

In the following the results of selected research projects concluded in 2012 will be reported:

SUBJECT AREA 01 - NATURAL RADIATION EXPOSURE

For staff employed by German aircraft companies the effective dose due to cosmic radiation during the flight has to be determined. This is carried out by computer programs with input of air route, flight level, duration and date. A significant parameter for calculating is the solar activity. The project **"Verification of dose rate in aircraft taking into account the solar cycle, the dislocation of magnetic poles and solar particle events in order to quality control for radiation dose calculation of air crews (3608S10003)"** checked whether the accredited programs calculate the dose within the regulated range. For that purpose three systems for dose measurements were assembled within planes of type Airbus A340 used by the Deutsche Lufthansa AG. The dose during 18 000 hours is measured at flight levels between 9 km and 12.5 km. Additionally the influence of solar flares should be determined, but during the operational hours of the project no significant dose relevant solar flare was registered.

Aim of the project **"Analysis of epigenetic effects (microRNAs) in former workers of the SAG/SDAG Wismut (3610S10001)"** was the development and establishment of an oligonucleotide microarray for expression analysis of microRNAs (miRNAs) in whole blood of former uranium miners. To identify possible biomarkers of radiation exposure, samples of high- and low-exposed miners were screened with microarrays that carried 703 human miRNA probes. To that end, 60 RNA samples of the project "Creation of a biological sample and data collection of occupationally radiation-exposed workers (German Uranium Miners Biobank) – a pilot study" (3607S04532) were analyzed and potential biomarkers verified by quantitative real-time PCR (qRT-PCR).

During the initial screening, miRNA-548d-5p, showing a significantly altered expression between low- and high-exposed miners, was identified as a possible biomarker candidate. Verification by qRT-PCR confirmed the difference in expression; however, the result was not statistically significant.

To study the leukemia mortality risk among uranium miners of the Wismut-cohort additional information on medical x-ray exposition was gathered from the archives of the former Wismut health services. For the project **"Collection of the medical radiation exposure for a nested case control study on leukaemia in**

workers of the Wismut AG (3610S40007)“ conducted as case-control-study embedded in the Wismut-cohort relevant data had to be collected for about 600 persons. Informations of special interest are medical chest-x-rays due to routinely conducted examinations among uranium miners. Data collection comprised 15 581 datasets on 640 persons.

SUBJECT AREA 02 - RADIATION PROTECTION TECHNIQUES

Phantoms are widely used within QC procedures of diagnostic X-ray equipment. Up to now no vendor-independent QA system for phantoms is established. Within the frame of the project **“Development of procedures to determine the conformance of phantoms, used for quality assurance in radiography, with their specification in corresponding standards (3608S20001)”** non destructive test procedures were developed. Using these procedures it is possible to check the norm conformance of phantoms with adequate uncertainty. The test procedures have been used on a control sample from phantoms which are in clinical usage. Within these tests for an increased number of phantoms qualitative and quantitative faults have been found. It is to be assumed that in several cases the deviations within the phantoms have clear influence on the outcome of the tests.

Active electronic personal dosimeters (EPD) are broadly used within personal dosimetry. Since some time it is known that the response of EPDs is dose rate dependent. At doses, which are too high for the EPD signal detection chain the response drops. The intention of the project **“Dosimetry in pulsed X-ray fields using active electronic dosimeters (3610S20001)”** was to prove the usability of EPD for personal dosimetry within radiation diagnostics in human and veterinary medicine.

The dose rate dependence of EPD of the device types Mk 2.3 and DMC2000X have been studied under laboratory conditions. It was found that at dose rates below about 1 Sv/h¹⁾ the response of the EPDs was above 80%, which was found suitable for their purpose.

The maximum dose rate at all work places as well as whereabouts of assisting persons in human and veterinary medicine was estimated. The conservatism of the estimation was checked by measurements. In all but one cases the dose rate was clearly below 1 Sv/h. Thus, it is to be assumed that EPDs are fit for use in all working places in human and veterinary medicine.

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

The organisers of the project **“2nd Radiation Proteomics Workshop (3612S30032)”** on 30-31 January 2013 in Neuherberg/Munich aimed to encourage the discussion between radiation biologists and proteomics specialists regarding new methods, challenges, state of the art and future co-operation in the field of radiation proteomics. During the intensive two days with lectures, posters, and information about the latest methodological highlights and challenges in proteomics, the status of radiation proteomics today was outlined and future goals speeding up the process of discovery of new molecular targets of ionising radiation were set. The focus of the discussions was: how could proteom analyses contribute to the issues individual radiation sensitivity, system effects of ionising radiation, biological effects of low dose and low dose rates and radiation effects on epigenetic mechanisms? In contrast to effects of high doses the health effects of low doses are still insufficiently explored. The investigation of the whole proteom with high throughput analyses could therefore provide new information about signaling pathways and mechanisms triggered by low dose ionising radiation in cells and organs. The workshop was organised by Helmholtz Center Munich and the Federal Office for Radiation Protection.

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

In the first subproject of the research project **“Physical optimisation and risk assessment of diagnostic and therapeutic procedures using ionising or non-ionising radiation (3608S04001)”** three functional imaging techniques were implemented and carefully optimised and validated for biologically-adapted radiotherapy using phantom experiments, namely (1.) H-1-Chemical-Shift-Imaging (H-1-CSI) at a 3-T-MRI system, (2.) dynamic positron emission tomography (PET) using F-18 fluorodeoxyglucose (FDG) in combination with (3.) dynamic contrast enhanced (DCE) CT at a modern hybrid PET/CT system. Due to the low spatial resolution

¹⁾ The unit sievert per hour (Sv/h) is used to specify the measuring range of dosimeters. Pulsed fields apparently give rise to very high dose rates (in a range of several Sv/h). However, radiation exposure in fact occurs only during the short length of pulses which is in a range of milli- or microseconds

of H-1-CSI of approximately 12 mm, functional imaging is suitable for biologically adapted radiotherapy only to a limited extent. For this purpose, PET/CT is considerably better suited due to the much better spatial resolution of up to 4.6 mm. This technology additionally allows for dynamic FDG-PET and DCE-CT measurements for quantitative characterisation of energy metabolism and microcirculation in a single session. The application and testing of the developed medical physics methods in a radiotherapy study of patients with brain metastases was started. In the second part of the project, the effect of the static magnetic field on microcirculation in the muscle of subjects at three MR systems with magnetic flux densities of 1.5, 3 and 7 T should be investigated. To this end, appropriate measurement techniques have been implemented and validated at the three systems. Unfortunately, the study with healthy volunteers could not be carried out as planned, as a whole-body coil was unexpectedly not available.

Within the frame of the project “**Construction of hybrid voxel models for optimising image quality and dose in radiography (3609S40002)**“ the following results could be achieved: High-resolution scans of anatomic specimens, a program tool for incorporating the high-resolution partial body voxel phantoms into existing reference voxel models, a Monte Carlo radiation transport code that can perform simulations in phantoms combining various resolutions, and first imaging simulations using such phantoms. The project progress was hampered by various serious problems, so that the final simulation calculations for the assessment of image quality could not be performed during the project term. Nevertheless, all methods originally planned to be used were developed successfully, and possible solutions for the open problems were worked out.

In the project “**Feasibility study for the assessment of medical ionising radiation exposure in the Helmholtz Cohort (German National Cohort) (3610S40001)**“ the feasibility of assessing medical radiation exposures was investigated. Initially a questionnaire for use in the feasibility study was constructed using available literature. Details of previous x-ray examinations were collected from 199 participants (87 male, 112 female) of the Bremen and Hamburg study centers during face-to-face interviews. All participants reported having been x-rayed and the most common examinations were dental, upper and lower extremities and chest x-rays. The most common examination among the 90 (45%) participants who reported CT examinations was of the skull. Manufacturer's recommendations, guidelines of the German Medical Association as well as conversion factors published by Drexler et al. 1993 were used to retrospectively estimate organ doses. For CT examinations, the software CT-Expo was used. A total mean dose of 0.6 mSv was calculated for chest examinations, with 0.11 mSv for the adrenal glands and the lungs. A mean total organ dose of 52.9 mSv was estimated for skull-CT examinations.

Within the cohort study on the prevalence of congenital anomalies in the vicinity of nuclear power plants a higher risk of congenital anomalies was observed amongst children of mothers who were potentially exposed to ionising radiation in the first trimester of their pregnancy. Since this observation was based only on a small number of cases the question needed further clarification. Within this feasibility study “**Risk for congenital anomalies in the offspring of women occupationally exposed to ionising radiation in the medical-diagnostic field (3610S40004)**“ contact logistics and recruitment were tested as well as the logistics for examination of newborn children on congenital anomalies. Since the recruitment via the Radiation Protection Register of the Federal Office for Radiation Protection (BfS) led to an unexpected low participation rate an extensive non-responder-analysis was conducted and an alternative recruitment method was tested. Moreover, dose values for the participating mothers were extracted from the Radiation Protection Register. For the purpose of data quality validation, a population based comparison cohort from the birth register "Mainzer Modell" was utilized. Data on radiation exposure of the parents of the newborns were collected within this comparison group. Based on the results of this feasibility study, the study protocol design for a larger cohort study was developed.

SUBJECT AREA 05 - RADIOECOLOGY

The estimation of radiation exposures may exhibit uncertainties concerning the scenario, the model structure and the parameters of exposure models. The project “**Comparative examination of probabilistic/stochastic and deterministic exposure modelling with regard to the reliability of the modelling results and the requirements concerning the quality of input data (3609S50002)**“ focused on the investigation and comparative assessment of techniques for the consideration of parameter uncertainties by means of conservative deterministic approaches and probabilistic model calculations using Monte Carlo simulations and Bayesian methods, respectively. In addition, alternative methods for uncertainty modelling like evidence and possibility theory, and the conceptual disparities between probabilistic and stochastic modelling

approaches were considered. It was investigated under which conditions (objective, purpose, exposure situation, input data quality etc.) radioecological models for exposure calculations can or should be based on deterministic or probabilistic approaches. The probabilistic modelling of uncertainties was investigated with respect to minimum requirements concerning the quality of input data and further methodical aspects, and its reliability was compared to the deterministic exposure modelling.

SUBJECT AREA 06 - EMERGENCY MANAGEMENT

The accidental or intentional release of radioactive materials causes the contamination of urban surfaces, of buildings and of clothing. The re-suspension of radioactive material is the dominating cause of inhalation exposure for the first responders and emergency personnel at the incident site. Using a versatile, small-scale flow channel set-up, wind re-suspension and re-suspension caused by transient or continuous mechanical forces impacting on urban surfaces were investigated within the project **“Experimental determination of the time dependence of resuspension rates for particle-bound radioactive contamination from urban surfaces, taking into account varying environmental influences and counter-measures (3611S60012)”**. Well-defined contamination of the test surfaces was prepared in a setting chamber by dry and wet deposition using aerosolised dry powders of spherical silver particles and sprays of aqueous solutions of caesium chloride.

The re-suspension rate for surfaces contaminated by wet deposition is 1-2 orders of magnitude lower compared to dry deposition, irrespective of the re-suspension mechanism. Tests have shown that spraying a water glycerine solution on the contaminated urban surface is an effective fixing method and the re-suspension rates can be reduced by a factor of 100. Experiments to investigate re-suspension due to the effect of walking were performed in a clean room. The fraction of respirable contaminated particles re-suspended from the floor was in the range between 0.1 and 1 percent with reference to the surface area of the foot sole touching the ground. A decrease of the re-suspension rate according to $1/n$ (where n is the number of steps applied to the same surface) was observed through repeated steps over the same contaminated area. A similar behaviour could be observed for traffic on public streets. A reduction in speed causes an additional considerable decrease of the re-suspension.

The program system LASAIR is applied for the assessment of the potential impact after an explosion of a „dirty bomb“ within the frame of the Defence against Nuclear Hazards. In the course of the application of the program by authorities and institutions in the area of emergency response some requirements have been unfolded that are met with this research program. Essentially these are the consideration of building structures and of orography within the dispersion calculations, the improvement of the mesh size in the close vicinity of the release and the extension of the application of the program system for the usage in other countries additionally to Germany. With the research project **“Adaption of the systems program LASAIR for actual and extended tasks in the context of the Defence against Nuclear Hazards (3611S60015)”** these user requirements have been implemented.

The purpose of the research project **“Evaluation of crisis communication in case of a radiological emergency in the context of the nuclear accident in Fukushima (3612S60020)”** was to develop recommendations for national authorities that aim to improve the preparation for and response to a nuclear or radiological emergency with a focus on crisis communication. In a first step, the basic requirements of the relevant literature in the field of crisis communication were identified and existing planning documents of the assessed national authorities and organisations were reviewed. In a second step, the experiences of members of national authorities and relevant organisations with regards to crisis communication in the context of the Fukushima accident were assessed through the use of semi-structured interviews and the evaluation of internal review documents. The results of the analysis indicated an overall well-established crisis communication management system within the relevant national authorities and organisation. For further optimisation, recommendations for the improvement of crisis communication were derived from the identified issues.

SUBJECT AREA 07 - PROJECTS OF GENERAL IMPORTANCE TO RADIATION PROTECTION

Within the project **“Quantitative radiation risk assessment under consideration of individual exposure scenarios – update of the radio-epidemiological tables (3607S04570)”** methods have been developed to express the probability and its distribution that some preceding radiation exposure resulted in cancer development for a given individual and a given exposure situation (probability of causation). The first version of the respective computer program ProZES was developed and the methods were implemented. The

assessment methods are based on person-specific information on the one hand and on empirical models of risk of radiation-induced cancer on the other. They take into account various stochastic factors which define or affect the distribution of assigned share of radiation in the probability of cancer development ('Z', from the German word "die Zusammenhangswahrscheinlichkeit" = probability of link). The assessment methods, which are completely new, and the algorithms of ProZES have been developed in close co-operation with the experts groups of UNSCEAR and of the German National Commission on Radiation Protection (SSK), and have been approved by these groups. The first version of ProZES covers four of the most frequent cancer types: stomach, colon, female breast, and lung cancer following exposures to low LET radiation. The program ProZES is a highly efficient Windows application. It provides functionality to manage input data, and output results of the calculations can be shown either in graphical or textual form. The planned second version of the program will cover all other cancer types, and will also account for high LET radiation.

The project "**Communication of information regarding radiation protection and its public perception (3611S70005)**" aimed to identify German organisations in science, public authority, industry and civil society, who inform the public about radiation protection. The literature study showed that comprehensive data exists for non-ionising and ionising radiation regarding risk perception and risk communication. Gaps were found in the fields of visible light, infrared, TETRA as well as static electric and magnetic fields. Work package two showed, regarding the field of ultraviolet radiation, mobile communication and nuclear accidents, almost all groups of players offer widespread information on radiation protection including recommendations for personal protection. In contrast we found no or just few information offers in the field of low frequency field, mobility (electric tram, city train, and railway), radioactivity in mining and building material. The survey showed a high public interest in radiation protection. Especially the topics nuclear power plants and ultraviolet radiations reach strong attention. The highest public risk perception was found with regard to radiation of nuclear power plants. A comparably high perceived risk is associated with ultraviolet radiation. Finally the contractor recommends the BfS to extend its online performance and increase the publicity of the BfS and its topics.

SUBJECT AREA 08 - NON-IONISING RADIATION

The purpose of the study "**Influence of high frequency electromagnetic fields of mobile phone telecommunication on human fibroblasts (gene toxicity)(3607S04504)**" was to clarify possible genotoxic effects of electro-magnetic fields (EMF) in human dermal fibroblasts as reported in a previous REFLEX study. Therefore, conditions were mainly based on the above mentioned study: primary human dermal fibroblasts from 10 juvenile (age 18-19) and 10 adult (age 50-59) donors were exposed to 1800 MHz high frequency EMF-fields (GSM-1800, intermittent), with SAR-values of 0 (sham control), 0.2, 2 and 10 W/kg. Corresponding positive controls were performed with assay-based chemical toxins. As analytical endpoints, Comet assays, micronuclei formation with CREST analysis, numerical chromosomal aberrations, cell cycle distributions and TUNEL assays were determined. The whole study was performed as a double blind study, with no access to exposure values until after completing all analyses as well as statistical pre-analysis of the blind data. For none of the analyzed endpoints did high frequency EMF-exposure of primary human dermal fibroblasts *in vitro* reveal any statistically significant genotoxic or dose-dependent effects.

In the study "**Influence of low frequency electromagnetic fields on the developing hematopoietic system, immune system and CNS in vivo (3608S30006)**" possible effects of a lifelong exposure to low-frequency magnetic fields on the development of juvenile animals and the maturation of the hematopoietic and immune system as well as on the central nervous system were assessed in a mouse model *in vivo*. Three dose groups (10 μ T, 1 mT, 10 mT) of free moving CD-1 mice in group housing were exposed for 20 hrs per day, starting at gestation day 10. Two additional groups of animals were either sham exposed or cage controls. In two separate sub-studies, neither adverse influences on the reproductive success of the exposed maternal animals nor on the physical development of the juvenile animals or their behaviour were observed. However, at age 90 days, a reduced number of CD8+ cytotoxic T-cells (CTL) was seen in peripheral blood and spleen in the middle and high dose groups. Although the effect was relatively moderate, it was significant. The effect was not detected at age 28 days or after 18 months of exposure. CTL are known to be important effector cells of the immune system. By destroying cells that express foreign antigens on their surface through MHC class I molecules they protect against viral infections and also against certain cancers. Whether the observed reduction of CTL has a functional effect can not be concluded from the studies. In the haematological assessment after 18 months of exposure, increased lymphocyte counts and decreased counts of banded neutrophils were seen in peripheral blood from all 3 exposure groups. The results of the histopathological examination did not display any exposure related alterations, especially neither for neoplastic nor for non-neoplastic lesions of the haematopoietic or immune system.

Based on an extensive literature study, measurement and computation methods were developed within the study **“Exposure to non-ionising radiation with frequencies in the terahertz range - development and application of methods (3610S80001)”** in order to determine the human exposure in the THz frequency range. To measure the exposure caused by THz systems a two-stage method was proposed: First, using a lens-coupled THz CMOS camera a hotspot is determined at the point of exposure, respectively the propagation direction of the beam, and is followed by the measurement of the power density distribution in the beams cross-section at the exposure location. Therefore, either a direct beam sampling with a THz CMOS direct detector of small aperture was used or alternatively (in case of a Gaussian-shaped power density distribution) the knife-edge beam-profiling method. For the numerical dosimetry detailed models of the human skin as well as of the eye, and field excitation models, e.g. for a Gaussian beam excitation, were generated. The dielectric material parameters in THz frequency range - required for the calculation of the internal body field and SAR distributions, but not sufficiently described in the literature - were determined by the "effective medium theory". Moreover, for the exposure assessment the THz-related temperature increases, based on the SAR as heat source, were considered.

The aim of the research project **“Determination of general public exposure to novel cellular mobile radio technologies (3611S80002)”** is primarily the measurement and analysis of the general public's exposure in the vicinity of LTE and TETRA BOS base stations. Concerning LTE measurements at 102 systematically and 75 randomly chosen measurement points, exposures extrapolated to the maximal operational state of the station were found to be between 0.002 and 7.28% of the ICNIRP 1998 field strength reference levels (median 0.70%). The instantaneous exposure in terms of field strength was smaller by factors between 3.1 and 17.2. TETRA BOS exposure measurements at 40 systematically and 40 randomly chosen points resulted in extrapolated exposures between 0.03 and 4.63% of the field strength limit (median 0.46%). The instantaneous exposure was smaller by factors between 2.1 and 4.4 with respect to field strength. The LTE and TETRA BOS exposure is very similar to the exposure around GSM and UMTS base stations with regard to order of magnitude and spatial distribution.

It can be concluded, that the base stations of the novel cellular mobile radio techniques LTE and TETRA BOS cause an exposure increase to the general public. The overall exposure to fixed radio transmitters, however, is still low (median smaller than 2% of the field strength limit). At the investigated base stations the power related mobile phone exposure increase was 37% for LTE and 47% for TETRA BOS, both related to maximal operational state of the station. On average a 22% contribution of LTE and 30% of TETRA BOS to the overall RF exposure was measured. These values are representative primarily for the direct vicinity of the selected stations and should not be interpreted as area or population averaged exposure increase.

SUBJECT AREA 09 - GERMAN MOBILE TELECOMMUNICATION RESEARCH PROGRAMME

Within the project **“Age dependent effects of high-frequency electromagnetic fields on the development and differentiation of the CNS of juvenile laboratory rodents”**, female Wistar-rats, from an age of 14 days to 19 months, were exposed for 2 hours per day, 5 days per week in the head region to mobile phone electromagnetic fields (900 MHz GSM). The SAR values were 0, 0.7, 2.5, and 10 W/kg. The primary exposure of the head region was done by fixating the animals in restraining tubes of different sizes. During the experiment, three blocks of behavioral and learning tests were performed in juvenile, adult, and pre-senile animals (RotaRod, Morris-water maze, 8-arm maze, and open field). Between the groups of the exposed and the sham-exposed animals no profound differences could be identified. A histopathological analysis revealed no higher tumor incidence in the central nervous system due to exposure. The body weights of the exposed / sham-exposed animals were not different during the first year, and thereafter only marginally different from those of the the cage controls, so that the effect of stress as confounder was probably negligible.

ERGEBNISSE
DER VOM BfS BEGLEITETEN STRAHLENSCHUTZ-FORSCHUNGSVORHABEN
DES BMU IM JAHR 2012

*RESULTS
OF BfS SUPPORTED BMU RADIATION PROTECTION RESEARCH PROJECTS
IN 2012*

Themenbereich 01
Natürliche Strahlenexposition

*Subject area 01
Natural radiation exposure*

Thema			
Untersuchungen der Ortsdosisleistung in Flugzeugen unter Berücksichtigung des Sonnenzyklus, der Lageveränderung der magnetischen Pole und der Auswirkung von solaren Ereignissen zur Qualitätssicherung der Dosisermittlung für das fliegende Personal			
Subject			
<i>Verification of dose rate in aircraft taking into account the solar cycle, the dislocation of magnetic poles and solar particle events in order to quality control for radiation dose calculation of air crews</i>			
Kennzeichen 3608S10003	Beginn 03.02.2009	Ende 29.02.2012	Fördermittel EUR 312.935,-
Forschungs- / Auftragnehmer Physikalisch-Technische Bundesanstalt (PTB), Braunschweig			
Projektleitung Dr. F. Wissmann	Fachbetreuung BfS L. Kammerer / AG-SG 2.3		verantwortlich für den Text Dr. F. Wissmann, L. Kammerer

1. ZIELSETZUNG

Nach § 103 StrlSchV ist die Strahlenexposition des fliegenden Personals zu ermitteln und zu überwachen. Dazu wird die Strahlenexposition in Flugzeugen mittels von in Deutschland zugelassenen Rechenprogrammen berechnet. Wesentliche Einflussparameter sind der 11-jährige Sonnenzyklus und das unregelmäßige Auftreten von solaren Ereignissen (SPE). Mittels zahlreicher Messflüge mit geeigneten Messinstrumenten soll die Genauigkeit der Rechenprogramme verifiziert und der Einfluss der SPE auf die Dosiswerte ermittelt werden. Die Verifikation von Rechenprogrammen zur Ermittlung der Strahlenexposition in Flugzeugen erfolgt zurzeit noch auf der Basis von Messdaten aus den Jahren 1997 bis 1999 und 2004. Für eine qualitätsgesicherte Dosisermittlung sind Messungen der Ortsdosisleistung in Flughöhen über mindestens einen halben aktuellen Sonnenzyklus erforderlich.

Ziel des Vorhabens ist die Erstellung einer Datenbasis für die Zulassungsprüfung von Programmen zur Ermittlung der Dosis des fliegenden Personals nach § 103 StrlSchV sowie zur Validierung berechneter Dosen (z. B. für epidemiologische Studien) und die Entwicklung eines Verfahrens zur Ermittlung der Ersatzdosis beim Auftreten eines solaren Ereignisses.

2. EINZELZIELSETZUNG

2.1 MESSUNGEN DER ORTSDOSISLEISTUNG IN VERKEHRSFLUGZEUGEN AUF WELTWEIT VERTEILTEN ROUTEN ÜBER EINEN HALBEN SONNENZYKLUS

Die Installation von mehreren Messgeräten in Verkehrsflugzeugen ermöglicht die weltweite Dosismessung entsprechend der Flugrouten der eingesetzten Flugzeuge. Durch zusätzliche Vergleichsflüge mit dem Referenzsystem der PTB ist es möglich, die neuen Messdaten mit den bisherigen Messdaten der PTB zu verknüpfen. Damit ist die Grundlage geschaffen, um die für die Dosisermittlung des fliegenden Personals verwendeten Programme im weiteren Verlauf des derzeitigen Sonnenzyklus zu überprüfen.

2.2 ENTWICKLUNG EINES KONZEPTEES BZGL. DER NACHTRÄGLICHEN BERÜCKSICHTIGUNG EINES SOLAREN EREIGNISSES

Die Installation von mehreren Messgeräten ermöglicht den zeitlichen Verlauf der Ortsdosisleistung während eines solaren Ereignisses zu untersuchen. Da solche Ereignisse sehr selten auftreten, wurde angestrebt, dass sich mindestens ein Messgerät in Flughöhen befindet. Mit den Messungen kann die Dosisberechnung eines solchen Ereignisses überprüft werden.

3. METHODIK

In einer Zusammenarbeit der PTB und dem Institut für Experimentelle und Angewandte Physik der Christian-Albrechts-Universität in Kiel (CAU) wurde das Messsystem NAVIDOS (Navigation & Dosimetry) entwi-

ckelt. Grundlage für NAVIDOS ist das im Jahre 1996 von der CAU und dem Deutschen Zentrum für Luft- und Raumfahrt (DLR) entwickelte Dosimetrieteleskop („DOSTEL“). Basierend auf zwei Si-Halbleiterdetektoren wurde das Teilchenteleskop für Messungen im Weltraum konzipiert und war bereits auf vielen Weltraummissionen im Einsatz.

Zusätzlich beinhaltet NAVIDOS einen hochempfindlichen GPS Receiver, einen Sensor zur Messung des Umgebungsluftdrucks und einen von der PTB entwickelten Miniatur-Datenlogger, der das gleichzeitige Auslesen aller Messdaten (Energiespektrum, Zählraten, Ortsdaten und Druck), und deren Abspeicherung auf einer extern zugänglichen SD-Speicherkarte sicherstellt. Durch seine kompakte Bauweise (ca. 17 cm x 17 cm x 12 cm; Masse ca. 4 kg) ist NAVIDOS erheblich leichter als das bisherige Messsystem der PTB. Das Messgerät lässt sich einfacher in Verkehrsflugzeuge einbauen und erlaubt zudem eine bessere Durchführung von einzelnen Messflügen. NAVIDOS ist so konzipiert, dass jedes Dosimeter, das über eine serielle Schnittstelle verfügt, betrieben werden kann.

4. DURCHFÜHRUNG

Bisher wurden im Rahmen des aktuellen Vorhabens und des Vorgängervorhabens des Bundesministeriums für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung (Vorhaben L-4/2006-50.0320/2006) NAVIDOS-Systeme in drei Airbus-Flugzeugen vom Typ A340 der Deutschen Lufthansa AG eingebaut, wobei zwei Detektoren vom Typ DOSTEL und einer vom Typ Liulin (verwendet einen Si-Detektor) verwendet werden. Der Einbau wie auch die technische Betreuung an Bord wird durch das Vorhaben teilweise finanziert.

Als Strahlungsdetektoren wurden Silizium-Detektoren verwendet. Das bedeutet, dass die in Silizium gemessene absorbierte Energie bzw. Dosis in eine Umgebungs-Äquivalentdosis umgerechnet werden muss. Dies erfolgte mittels der Kalibrierung der Messdaten mit dem PTB-Programm FDOScalc. Bei dieser sogenannten Feldkalibrierung sind Messdaten aus 2008 (für NAVIDOS-1) bzw. aus 2009 (für NAVIDOS-2) über einen großen Bereich der vertikalen Abschneidesteifigkeit mit den berechneten Dosisraten normiert worden. Mit den daraus ermittelten Kalibrierfunktionen wurden dann alle folgenden Messdaten kalibriert. Da in FDOScalc mathematische Funktionen zur Beschreibung früherer PTB-Messungen verwendet werden, ist eine Rückführbarkeit auf die Primärnormale der PTB im Rahmen der Unsicherheiten gegeben.

5. ERGEBNISSE

Alle Messdaten wurden von der CAU und der PTB unabhängig voneinander analysiert und die Ergebnisse verglichen, wodurch systematische Fehler bei der Analyse vermieden werden konnten. Insgesamt konnten mit NAVIDOS-1 und NAVIDOS-2 zwischen August 2008 und Dezember 2011 36 694 Messpunkte (30-Minuten-Mittelwerte) in Flughöhen zwischen 9,0 km und 12,5 km gemessen werden, was 18 347 h reiner Messzeit entspricht.

Im Rahmen des Vorhabens und des Vorgängervorhabens des Bundesministeriums für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung (BMVBS) konnte von August 2008 bis Januar 2012 ein einmaliger Datensatz gewonnen werden. Die Messungen sind geprägt durch das unerwartet lange solare Minimum von 2008 bis Anfang 2010. Erst ab Januar 2010 nahm die Sonnenaktivität langsam zu. Ein solares Ereignis, das zu einem Ground Level Enhancement (GLE) und einer signifikanten Erhöhung der Ortsdosisrate in Flughöhen führt, fand im Laufe dieses Vorhabens nicht statt und konnte deshalb nicht vermessen werden.

Mittels der in diesem Vorhaben durchgeführten Messungen konnten die in Deutschland für die Dosisermittlung des fliegenden Personals zugelassenen Rechenprogramme EPCARD, FREE und PCAIRE überprüft werden. Dazu wurden auf neun von Frankfurt ausgehenden Flugrouten die Routendosis, d. h. die Umgebungs-Äquivalentdosis, jeweils für Hin- und Rückflug berechnet und mit den Messungen verglichen. Daraus ergaben sich zwei wesentliche Ergebnisse:

- a) alle Programme stimmen innerhalb von $\pm 30\%$ mit den Messwerten überein;
- b) eine Anpassung der Programme untereinander ist nicht erforderlich.

6. UMSETZUNG DER ERGEBNISSE

Im Rahmen des Forschungsvorhabens wurde verifiziert, dass sich die effektive Dosis in Flughöhen auch im ungewöhnlich langen 24. Sonnenzyklus mit ausreichender Genauigkeit mit Hilfe der in Deutschland zugelassenen Rechenprogramme bestimmen lässt. Ein dosisrelevanter Solare Flare trat während des Vorhabens nicht auf - auch aus diesem Grund sind weitere Untersuchungen nötig.

Thema Analyse epigenetischer Effekte (microRNAs) in ehemaligen Wismutbeschäftigten			
Subject <i>Analysis of epigenetic effects (microRNAs) in former workers of the SAG/SDAG Wismut</i>			
Kennzeichen 3610S10001	Beginn 01.12.2010	Ende 31.05.2012	Fördermittel EUR 97.210,-
Forschungs- / Auftragnehmer Institut für Prävention und Arbeitsmedizin der Deutschen Gesetzlichen Unfallversicherung, Institut der Ruhr-Universität Bochum (IPA)			
Projektleitung Dr. G. Johnen Prof. Dr. T. Brüning	Fachbetreuung BfS Dr. M. Gomolka / SG1.1	verantwortlich für den Text Dr. G. Johnen Dr. D. G. Weber	

1. ZIELSETZUNG

In diesem Vorhaben sollte die Expression von micro-Ribonukleinsäuren (miRNAs) in Blutproben von 60 ehemaligen strahlenexponierten Uranbergarbeitern der SAG/SDAG Wismut mittels Oligonukleotid-Microarrays analysiert werden, um mögliche Biomarker einer Strahlenexposition zu identifizieren. Die Blutproben von hochexponierten (> 750 Working Level Month (WLM)) und niedrigexponierten (< 50 WLM) Probanden stammen aus dem Projekt „Aufbau einer Bioproben-Bank von ehemaligen Beschäftigten der SAG/SDAG Wismut - Pilotstudie“ (StSch 3607S04532).

2. EINZELZIELSETZUNG

Folgende Teilaufgaben sollten innerhalb des Projekts bearbeitet werden:

- Herstellung und Austestung von Microarrays für die Analyse von miRNA-Expressionsprofilen;
- Durchführung und Auswertung der Microarray-Experimente. Bestimmung von signifikant veränderten miRNAs zwischen hoch- und niedrigexponierten Probanden;
- Verifizierung einzelner miRNAs mittels quantitativer Real-Time Polymerase Chain Reaction (qRT-PCR).

3. METHODIK

Für das Screening der Blutproben wurden selbstgespottete Oligonukleotid-Microarrays verwendet. Die Microarray-Technik erlaubt die parallele, qualitative Bestimmung einer Vielzahl von miRNAs eines Probanden in einem einzigen Experiment.

Die aus dem Vergleich von hoch- und niedrig-exponierten Probanden erhaltenen miRNA-Expressionsmuster wurden mit geeigneten Bioinformatik-Verfahren auf signifikant veränderte miRNAs analysiert.

Zur Verifizierung der Microarray-Ergebnisse wurden diese veränderten miRNAs anschließend in Einzelmessungen mittels qRT-PCR (TaqMan Assays) in allen Proben genauer quantifiziert.

4. DURCHFÜHRUNG

4.1 STUDIENKOLLEKTIV

Aus dem Projekt 3607S04532 wurden 60 männliche Probanden ausgewählt und in 30 Matchingpaare, bestehend aus jeweils einem hochexponierten (WLM > 750) und einem niedrigexponierten Probanden (WLM < 50), eingeteilt. Im Rahmen des Projekts wurde die Gesamt-RNA bereits isoliert und in eine Bioprobenbank am Institut für Prävention und Arbeitsmedizin der Deutschen Gesetzlichen Unfallversicherung, Institut der Ruhr-Universität Bochum (IPA) eingelagert. Die Bioprobenbank wurde inzwischen an das Bundesamt für Strahlenschutz (BfS) überführt.

Das Matching der Probanden erfolgte nach Alter und Rauchstatus der Probanden. Im Durchschnitt waren die Probanden 77 Jahre alt (73 - 81 Jahre). Insgesamt waren 32 Probanden Ex-Raucher und 28 Probanden Nie-Raucher.

4.2 HERSTELLUNG VON MICROARRAYS

Auf die Epoxysilan-beschichteten Glasobjektträger Nexterion E (Schott) wurden mittels des Spotters Micro-grid Compact (Biorobotics) die miRNA-Sonden als Triplikate gespottet. Insgesamt wurden aus dem Sonden-set NCode Human microRNA Microarray Probe Set V3 (Life Technologies) 703 humane miRNA-, sowie 34 nicht-validierte miRNA- und zwölf Kontroll-Sonden verwendet.

4.3 QUALITÄTSKONTROLLE DER MICROARRAYS

Nach der Entwicklung und Etablierung der Microarrays wurden zur Qualitätskontrolle zunächst eine bestrahlte und eine nicht-bestrahlte Blutprobe analysiert. Zu diesem Zweck wurde EDTA-Vollblut im BfS *ex vivo* mit einer Cs-137-Quelle (HWM 2000) mit 4 Gy bestrahlt, für sechs Stunden bei 37°C inkubiert und abschließend in ein PAXgene Tube überführt. Der Versand der Blutproben an das IPA erfolgte per Post. Die Probengewinnung und der Versand erfolgte analog zu den etablierten Methoden aus dem Projekt „Aufbau einer Bioproben-Bank von ehemaligen Beschäftigten der SAG/SDAG Wismut - Pilotstudie“ (3607S04532).

4.4 MARKIERUNG DER GESAMT-RNA

Die Markierung von 0,5 µg Gesamt-RNA pro Ansatz erfolgte mittels der Fluoreszenzfarbstoff-markierten Dinukleotide pCCp-Cy3 und pCCp-Cy5 (Eurogentec) nach dem miRNA Microarray System Protokoll (Agilent Technologies).

4.5 HYBRIDISIERUNG UND SCANNEN

Die Hybridisierung der Microarrays erfolgte in der automatischen Hybridisierungsstation HS 400 Pro (Tecan). Das anschließende Scannen der hybridisierten Microarrays wurde mit dem Axon GenePix Scanner 4000B (Molecular Probes) bei Wellenlängen von 532 nm für Cy3 und 635 nm für Cy5 durchgeführt.

4.6 DATENANALYSE

Die gewonnenen Daten wurden mit der Software GeneSpring GX 12.0 (Agilent Technologies) analysiert. Als potenzielle Biomarker wurden miRNAs mit einem sogenannten *fold change* von $\geq 3,0$ ausgewählt und statistisch signifikante Unterschiede zwischen Hoch- und Niedrigexponierten wurden mittels des Mann-Whitney Tests inklusive der Benjamini-Hochberg False Discovery Rate zur p-Wert Korrektur berechnet.

4.7 MICRORNA-VERIFIZIERUNG

Sechs signifikant veränderte miRNAs als potenzielle Marker und zwei nicht veränderte miRNAs als potenzielle Referenzen wurden zur Verifizierung in Einzelmessungen mittels qRT-PCR in den 60 Proben erneut bestimmt. Die miRNA-Analyse erfolgte auf dem 7900 HT Fast Real-Time PCR System (Life Technologies) mittels der kommerziellen TaqMan miRNA-Assays nach Angaben des Herstellers (Life Technologies).

5. ERGEBNISSE

5.1 QUALITÄTSKONTROLLE

Die markierte Gesamt-RNA konnte erfolgreich auf den Microarrays hybridisiert werden. Insgesamt zeigten 558 humane miRNAs eine veränderte Expression im Vergleich zwischen der bestrahlten und der nicht-bestrahlten Blutprobe. Davon waren 380 miRNAs in der bestrahlten Probe hochreguliert und 178 miRNAs in der bestrahlten Probe runterreguliert. Eine genauere Datenanalyse und eine statistische Auswertung auf signifikante Änderungen der miRNA-Expression ist allerdings auf Grund der geringen Probenzahl (N=1) nicht möglich.

5.2 MICROARRAYS

Generell war eine effiziente Markierung der Gesamt-RNA mit Cy5 nicht möglich, da die Syntheserate von pC-Cp-Cy5 unzureichend war. Die Markierung mit Cy3 hingegen verlief durchgehend zufriedenstellend.

So waren die Microarrays bei der Verwendung von Cy3-markierter Gesamt-RNA durch eine homogene Spotsmorphologie, ausreichend hohe Spotsignale und ein niedriges Hintergrundsignal gekennzeichnet (Abbildung 1). Somit waren die selbst gespotteten Microarrays zur Identifizierung von miRNAs als potenzielle Biomarker geeignet.

Von den insgesamt 703 humanen miRNAs zeigten 16 miRNAs eine veränderte Expression bei hochexponierten Probanden im Vergleich zu niedrigexponierten Probanden (*fold change* $\geq 3,0$). Die drei miRNAs miRNA-196a*, miRNA-198 und miRNA-453 waren in der hochexponierten Probandengruppe hochreguliert und die 13 miRNAs miRNA-24-2, miRNA-33b, miRNA-62, miRNA-100*, miRNA-147, miRNA-218-2*, miRNA-222, miRNA-450b-3p, miRNA-548d-5p, miRNA-560, miRNA-581, miRNA-598 und miRNA-801 runterreguliert (Abbildung 2).

Mittels des Mann-Whitney Tests inklusive der Benjamini-Hochberg False Discovery Rate zur p-Wert Korrektur wurde die Expression der 16 miRNAs auf signifikante Unterschiede zwischen Hoch- und Niedrigexponierten getestet. Für neun der 16 miRNAs konnte ein statistisch signifikanter Unterschied ($p < 0,05$) gezeigt werden (Tabelle 1).

Von den drei hochregulierten miRNAs in der hochexponierten Probandengruppe zeigte nur miRNA-453 eine signifikante Veränderung. Von den 13 miRNAs, die in der hochexponierten Probandengruppe runterreguliert waren, zeigten die acht miRNAs miRNA-33b, miRNA-62, miRNA-147, miRNA-450b-3p, miRNA-548d-5p, miRNA-581, miRNA-598 und miRNA-801 einen statistisch signifikanten Unterschied.

Von den insgesamt 703 miRNAs wurden die zwei miRNAs miR-30e* und miR-302c als potenzielle Referenzen zur Normalisierung ausgewählt, da sie die geringste Standardabweichung als Maß für eine gleichförmige Expression über die komplette Studiengruppe von hoch- und niedrigexponierten Probanden aufwiesen.

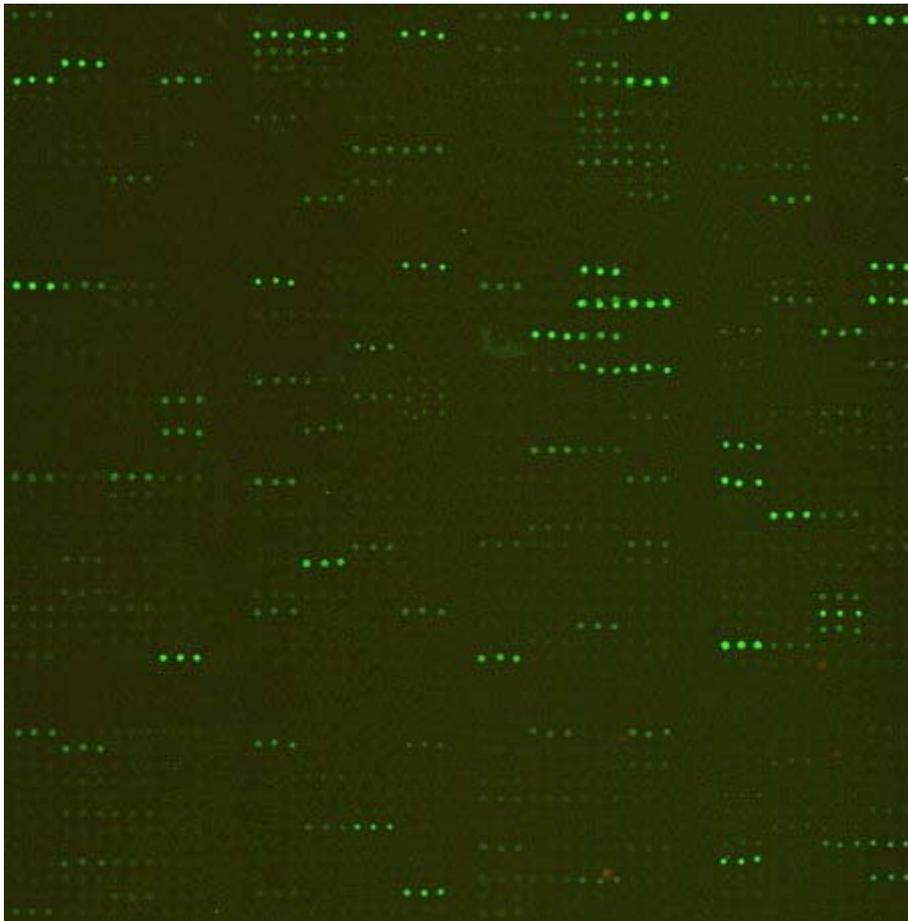


Abbildung 1:
Oligonukleotid Microarray zum Nachweis der miRNA-Expression.
Ergebnis der Hybridisierung mit Cy3-Markierung (Probe P052). Zur Analyse der miRNA-Expression wurden ausschließlich die Ergebnisse der Hybridisierung mit Cy3-markierter Gesamt-RNA verwendet

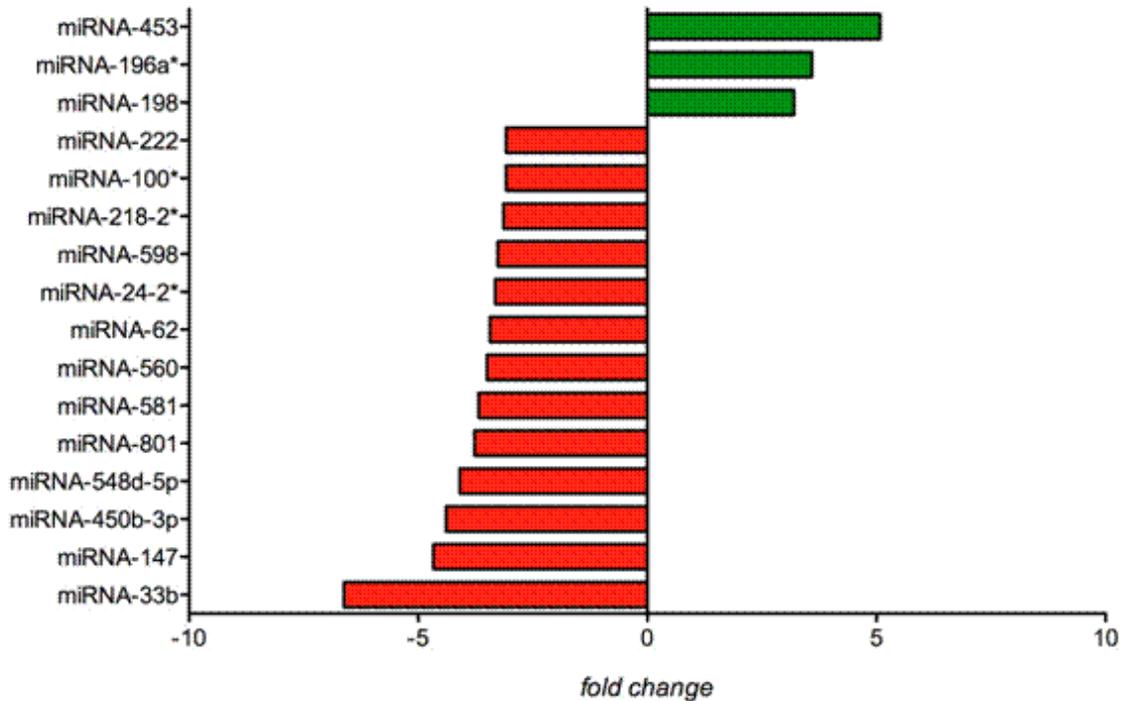


Abbildung 2:
Hoch- und runterregulierte miRNAs bei hochexponierten Probanden im Vergleich zu niedrigexponierten Probanden

Tabelle 1: Signifikant veränderte miRNAs in hochexponierten Probanden im Vergleich zu niedrigexponierten Probanden

miRNA	fold change	p-Wert (korrigiert)	Regulation
miRNA-453	5,08	< 0,0001	Hoch
miRNA-33b	-6,62	< 0,0001	Runter
miRNA-62	-3,43	0,0101	Runter
miRNA-147	-4,67	< 0,0001	Runter
miRNA-450b-3p	-4,39	0,0101	Runter
miRNA-548d-5p	-4,09	< 0,0001	Runter
miRNA-581	-3,68	0,0202	Runter
miRNA-598	-3,26	0,0202	Runter
miRNA-801	-3,77	0,0303	Runter

5.3 QRT-PCR

Fünf der sechs miRNAs (miRNA-33b, miRNA-147, miRNA-450b-3p, miRNA-453 und miRNA-581), die aus den Microarray-Daten als potenzielle Biomarker für die nachfolgende Verifizierung ausgewählt wurden, sowie eine der beiden potenziellen Referenzen (miR-302c) konnten in den ersten zehn untersuchten Proben mittels qRT-PCR nicht nachgewiesen werden (Cycle threshold (Ct) > 35).

Um das wertvolle Material an Gesamt-RNA der im Projekt StSch 3607S04532 gewonnenen Proben nicht zu verbrauchen, wurde daher keine weitere Messung in den übrigen Proben durchgeführt.

Die miRNAs miRNA-548d-5p als potenzieller Biomarker und miRNA-30e* als potenzielle Referenz wurden hingegen erfolgreich in allen 60 Proben gemessen.

Mittels der dCt-Methode ($dCt = Ct_{miRNA-548d-5p} - Ct_{miRNA-30e^*}$) wurden die Werte für den potenziellen Biomarker miRNA-548d-5p mit miRNA-30e* als Referenz normalisiert. Die Ergebnisse für die hoch- und die niedrigexponierten Probanden sind in Abbildung 3 dargestellt.

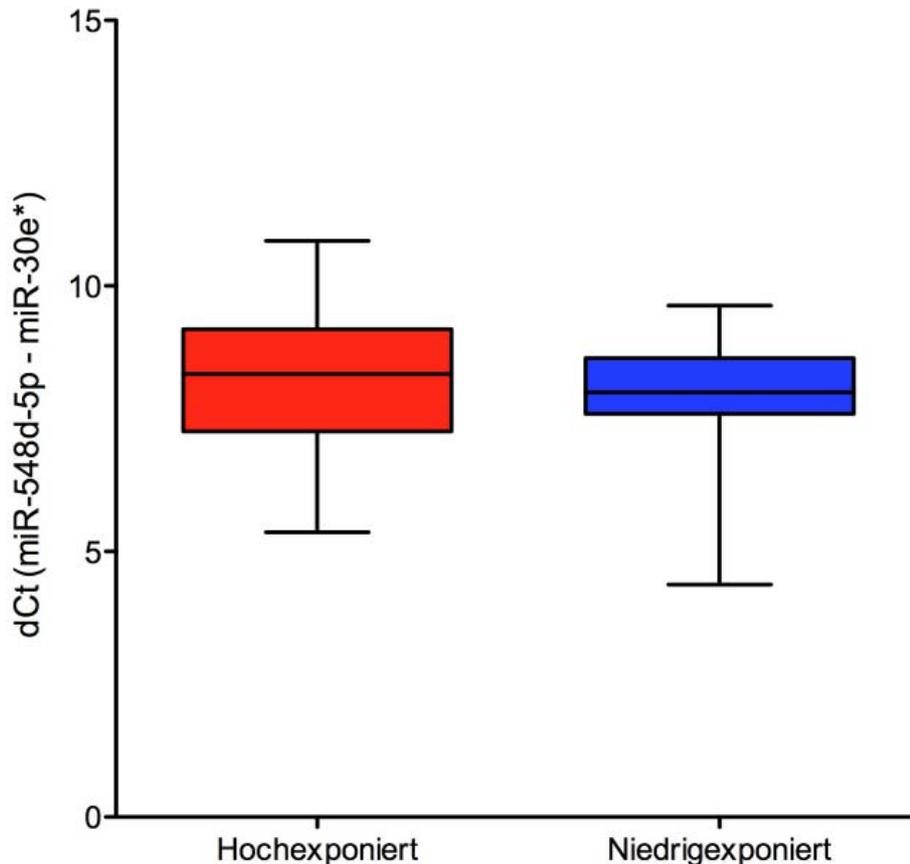


Abbildung 3:
Normalisierte miRNA-548d-5p-Expression bei hochexponierten (rot) und niedrigexponierten (blau) Probanden

Der Unterschied zwischen den beiden Gruppen ist allerdings gering. So beträgt der Mittelwert bei den Hochexponierten 8,24 (5,36 - 10,85) und bei den Niedrigexponierten 8,00 (4,38 - 9,63). Dies entspricht einer Runterregulierung von miRNA-548d-5p bei den hochexponierten Probanden.

Die Ergebnisse des Screenings mittels Oligonukleotid-Microarrays wurden durch die quantitative qRT-PCR damit zwar prinzipiell bestätigt, allerdings ist der Unterschied statistisch nicht signifikant ($p = 0,2612$).

6. UMSETZUNG DER ERGEBNISSE

MicroRNAs (miRNAs) sind biologische Regulatoren, die Gene bzw. deren Übersetzung in Proteine unterdrücken oder verstärken. Die Bedeutung einer aberranten Regulation dieser miRNAs wird mittlerweile in verschiedenen Krankheitsprozessen diskutiert, wie zum Beispiel in der Kanzerogenese. Auch akute Strahlung führt zu einer Über- bzw. Unterexpression von spezifischen miRNAs. Dieses Vorhaben sollte erstmalig untersuchen, ob nach lang zurückliegender chronischer Strahlenexposition eine Langzeitveränderung in der miRNA Expression in einem kleinen Kollektiv von hoch und niedrig exponierten Wismut Bergarbeitern festgestellt werden kann. Auf Micorarray Ebene zeigte sich ein verändertes Expressionprofil in den beiden Kollektiven. Die Ergebnisse konnten aber mit einer zweiten, spezifischeren Nachweismethode statistisch nicht verifiziert werden. Es wurde jedoch der gleiche Trend beobachtet. Es kann daher noch nicht abschließend bewertet werden, ob die ersten Beobachtungen auf Zufall beruhen oder ob die Effekte zu gering sind, um sie im vorliegenden Kollektiv von insgesamt 60 Bergarbeitern statistisch abzusichern. Ausgeschlossen werden kann jedoch, dass chronische Strahlenexposition durch Radon und Radonfolgeprodukte einen starken Effekt auf die Langzeitveränderung der miRNA Expression im Blut zur Folge hat.

Die experimentellen Daten der miRNA Expression liegen dem BfS für weitere Analysen vor. Es ist geplant, Expressionsunterschiede mit anderen Expositionsvariablen (z. B. rote Knochenmarksdosis anstelle der Lungendosis) zu untersuchen. Diese lagen zum Zeitpunkt der Analyse noch nicht vor. Darüberhinaus werden die Daten im Zusammenhang mit weiteren Genom- und Transkriptomdaten, wie auch medizinischen Daten (z. B. Silikose) untersucht. Möglicherweise lassen sich hier Interaktionen mit Tumor relevanten Genen erkennen. Diese Daten werden zurzeit in anderen Forschungsprojekten gewonnen. Die Rohdaten werden vom BfS in die Datenbank „STORE“ eingespeichert und stehen damit auch anderen Forschern für weitere nationale aber auch internationale Analysen zur Verfügung.

Thema Erhebung der medizinischen Strahlenexposition für eine eingebettete Fall-Kontrollstudie zu Leukämie bei Beschäftigten der Wismut AG			
Subject <i>Collection of the medical radiation exposure for a nested case control study on leukaemia in workers of the Wismut AG</i>			
Kennzeichen 3610S40007	Beginn 01.06.2011	Ende 31.07.2012	Fördermittel EUR 58.835,-
Forschungs- / Auftragnehmer Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin, Dortmund			
Projektleitung Dr. J. Gellissen	Fachbetreuung BfS Dr. F. Dufey / AG-SG1.3	verantwortlich für den Text Dr. J. Gellissen	

1. ZIELSETZUNG

Ziel des Vorhabens war es, die für eine in die Wismut-Kohorte eingebettete Fall-Kontroll-Studie zur Leukämieerkranklichkeit notwendigen Informationen, insbesondere zur medizinischen Strahlenexposition, aus dem Gesundheitsdatenarchiv Wismut (GDAW) zu beschaffen.

2. EINZELZIELSETZUNG

Gemäß der Verwaltungsvereinbarung zwischen BfS und BAuA umfasste das Projekt zwei Arbeitspakete:

2.1 AP 1: ERHEBUNG DER MEDIZINISCHEN STRAHLENEXPOSITION

Aus den Unterlagen des GDAW wurden für rund 600 Probanden die Daten zur medizinischen Strahlenexposition, insbesondere auf Grund regelmäßig durchgeführter Röntgenreihenuntersuchungen der Uranerzarbeiter, erfasst.

2.2 AP 2: ÜBERPRÜFUNG DER KONSISTENZ DER DATEN

Plausibilitätsprüfungen der erhobenen Daten bezogen sich beispielsweise auf das Datum der Röntgenaufnahme bzw. die Anzahl der Aufnahmen zu einem Röntgen-Ereignis.

3. METHODIK

Die BAuA konnte im Rahmen einer bereits abgeschlossenen Fall-Kontrollstudie zum Leukämierisiko zeigen, dass neben der beruflichen Strahlenexposition auch diejenige auf Grund medizinischer Diagnostik nicht vernachlässigbar ist. Hierbei sind insbesondere Schirmbildaufnahmen des Thorax, welche routinemäßig im Rahmen von arbeitsmedizinischen Vorsorgeuntersuchungen bei Uranerzbergarbeitern angefertigt wurden, zu berücksichtigen. Die im GDAW verfügbaren Informationen zur medizinischen Strahlenexposition bei Wismutbeschäftigten werden nun in gleicher Methodik wie für die bereits abgeschlossene Studie der BAuA, für insgesamt rund 600 Probanden einer in die Wismut-Kohorte des BfS eingebetteten Fall-Kontrollstudie erhoben. Die Daten umfassen unter anderen Angaben zum Datum der Röntgenaufnahme, dem Grund der Röntgenaufnahme, der betroffenen Körperregion bzw. Organ sowie der Informationsquelle. Die Daten wurden dem BfS als Microsoft Excel-Tabelle übergeben.

4. DURCHFÜHRUNG

4.1 ABGLEICH DER IDENTDATEN

Im ersten Schritt wurden die Identdaten (Name, Vorname, Geburtsdatum) der vom BfS gelieferten Probanden mit der Archivdatei des GDAW abgeglichen. Bei dieser Prozedur wurden geringfügige Abweichungen hinsichtlich der Schreibweise von Name, Vorname bzw. Abweichungen des Geburtsdatums zugelassen. Der Al-

gorithmus lässt sich mit der „Levenshtein distance“ vergleichen, wobei mehr Wert darauf gelegt wird, einen potenziellen Treffer zuzuordnen, da durch die anschließende Sichtung des Akteninhalts eine Validierung des Suchergebnisses erfolgt.

4.2 VALIDIERUNG DER PERSONELLEN IDENTITÄT

Wurden beim Datenabgleich neben Akten mit übereinstimmenden Identdaten auch solche mit geringfügigen Abweichungen gefunden, wurde bei der Durchsicht des Akteninhaltes anhand zusätzlicher Informationen (z. B. Wohnanschrift, Beruf, Arbeitsort etc.) die personelle Identität sichergestellt bzw. ausgeschlossen.

Der Abgleich der vom BfS gesuchten Probanden mit der Archivdatei lieferte in 5 Fällen lediglich solche Einträge mit abweichenden Identdaten. Da in diesen Fällen eine interne Validierung nicht möglich war, wurde anhand der medizinischen Akten des GDAW eine behelfsmäßige Berufsanamnese des Probanden erstellt und dem BfS mit der Bitte um Abgleich mit den dort vorliegenden Berufsanamnesen, basierend auf Personal- und Lohnbuchunterlagen, vorzunehmen. Anhand dieser externen Referenzdaten konnte die personelle Identität in allen Fällen geklärt werden.

4.3 DATENERHEBUNG AUS MEDIZINISCHEN AKTEN DES GDAW

Entsprechend der Zielstellung wurden aus den Akten des GDAW die verfügbaren Daten zur medizinischen Strahlenexposition der Probanden, insbesondere auf Grund regelmäßig durchgeführter Röntgenreihenuntersuchungen der Wismutbeschäftigten, erfasst.

Zu den inhaltlich relevanten Daten zählen:

- Datum der Röntgenaufnahme;
- betroffene Körperregion / Organ;
- Röntgennachweis (Film, Befund);
- Anlass der Röntgenaufnahme;
- Anzahl der Aufnahmen zu einem Röntgen-Ereignis;
- Informationsquelle;
- Vorliegen einer Berufskrankheit;
- ggf. Angaben zu Durchleuchtung (Dauer, technische Angaben).

Die übergebene Datei beinhaltet, wo immer möglich bzw. sinnvoll, standardisierte Inhalte.

5. ERGEBNISSE

Vertragsgemäß wurden die erhobenen Daten dem BfS quartalsweise als Microsoft Excel-Tabelle übergeben. Zusätzlich zu den neu erhobenen Daten wurden dem BfS die Daten zu 43 Probanden mit 1189 Datensätzen, die bereits in dem o. g. abgeschlossenen Eigenforschungsprojekt der BAuA bearbeitet wurden, zur Verfügung gestellt (Tabelle 1).

Tabelle 1: Teildatenlieferungen

Datum	Probanden	Datensätze	Probandenzahl kumuliert	Datensatz kumuliert
29.09.2011	150	4248	150	4248
13.12.2011	130	3005	280	7253
28.03.2012	150	3049	430	10 302
20.06.2012	140	3323	570	13 625
24.07.2012	27	767	597	14 392
zusätzlich:	43	1189	640	15 581

6. UMSETZUNG DER ERGEBNISSE

Die in diesem Vorhaben erhobenen Daten werden derzeit am BfS und weiterhin in Kooperation mit der BAuA mit den Daten zur beruflichen Strahlendosis (durch Strahlung hohen und niedrigen linearen Energietransfers

resultierend aus der Radon-Folgeprodukt-, langlebige Radionuklid- und externer Gammastrahlungs-exposition) im Rahmen einer in die Wismut-Kohortenstudie eingebetteten Fall-Kontrollstudie verknüpft. Ziel ist es, verbesserte Schätzer des strahlungsbedingten Leukämie-Mortalitätsrisikos zu erhalten. Auf Grund der protrahierten Expositionen im Niedrigdosisbereich sind diese Schätzer besonders interessant im Hinblick auf den Strahlenschutz der Allgemeinbevölkerung sowie in der medizinischen Diagnostik.

Themenbereich 02
Strahlenschutztechnik

Subject area 02
Radiation protection techniques

Thema			
Entwicklung von Verfahren zur zerstörungsfreien Qualitätskontrolle von Prüfkörpern, die im Rahmen von Prüfungen zur Qualitätssicherung nach § 16 Abs. 2 und 3 der Röntgenverordnung von Röntgeneinrichtungen zur Untersuchung von Menschen verwendet werden			
Subject			
<i>Development of procedures to determine the conformance of phantoms, used for quality assurance in radiography, with their specification in corresponding standards</i>			
Kennzeichen 3608S20001	Beginn 01.10.2009	Ende 31.03.2012	Fördermittel EUR 254.049,-
Forschungs- / Auftragnehmer Klinikum Braunschweig, Braunschweig			
Projektleitung Dr. M. Borowski	Fachbetreuung BfS Dr. A. Schegerer / AG-SG 2.2		verantwortlich für den Text Dr. M. Borowski, Dr. A. Schegerer

1. ZIELSETZUNG

Entsprechend der Anforderungen der Röntgenverordnung und abgeleiteter Richtlinien muss an Röntgeneinrichtungen zur Untersuchung von Menschen sichergestellt sein, dass die erforderliche Bildqualität mit möglichst geringer Strahlenexposition erreicht wird (§ 16 Abs. 2 Satz 1 RöV). Hierzu sind vor der Inbetriebnahme einer Röntgeneinrichtung eine Abnahmeprüfung sowie danach in regelmäßigen Abständen Konstanzprüfungen durchzuführen. Prüfkörper nehmen bei Abnahme- und Konstanzprüfungen eine zentrale Rolle ein.

Aktuell gibt es keine herstellerunabhängige Kontrolle der auf dem Markt erhältlichen Prüfkörper daraufhin, ob sie ihren Spezifikationen genügen. Es gibt gleichwohl Hinweise, dass es bei einigen der auf dem Markt verfügbaren Prüfkörper relevante Abweichungen von den Spezifikationen gibt.

Innerhalb des Vorhabens wurden Verfahren entwickelt, die es in der Routine erlauben, zerstörungsfrei und mit vertretbarem Aufwand eine Aussage über die Norm-Konformität von Prüfkörpern zu erhalten. Exemplarisch wurden die Prüfkörper nach DIN 6868-4 (inkl. DSA), DIN 6868-13 und DIN EN 60601-2-44 sowie die Mammographieprüfkörper CDMAM und Testeinsatz AP jeweils ergänzt um die zugehörigen Schwächungskörper berücksichtigt.

Die entwickelten Prüfmethode wurden an einer Stichprobe von in der Praxis verwendeten Exemplaren der untersuchten Prüfkörpertypen angewandt.

2. EINZELZIELSETZUNG

Das Vorhaben gliedert sich in zwei Hauptteile.

Im ersten Hauptteil wurden Verfahren identifiziert und entwickelt, die eine zerstörungsfreie Überprüfung der Norm-Konformität der oben genannten Prüfkörper mit ausreichender Genauigkeit und vertretbarem Aufwand ermöglichen.

Im zweiten Hauptteil wurden die entwickelten Verfahren an auf am Markt verfügbaren Prüfkörpern der betrachteten Normen angewendet.

Zudem wurden die oben genannten Prüfkörper kritisch im Hinblick auf ihr Design hin sowie die Genauigkeit der Spezifikation in den zugehörigen Normen bewertet. Darauf aufbauend wurden Vorschläge zu Optimierungsmöglichkeiten entwickelt.

3. METHODIK

Im ersten Teil wurden vor dem Hintergrund der bestehenden Erfahrungen der in dem Vorhaben beteiligten Arbeitsgruppen Prüfmethode für die einzelnen Prüfkörpertypen identifiziert und die Vorgehensweise iterativ verfeinert.

Die Methodik zum zweiten Hauptteil bestand in der Beschaffung und Überprüfung einer statistisch ausreichenden Anzahl von Exemplaren der innerhalb des Vorhabens untersuchten Prüfkörper.

4. DURCHFÜHRUNG

4.1 ENTWICKLUNG GEEIGNETER VERFAHREN ZUR ZERSTÖRUNGSFREIEN PRÜFUNG

Für alle Prüfkörpertypen mit Ausnahme des CTDI-Prüfkörpers nach DIN EN 60601-2-44 wurde gemäß Projektplan ein einheitliches Prüfverfahren entwickelt, welches vier aufeinander aufbauende Schritte vorsieht:

1. Definition und Beschaffung geeigneter Referenz-Prüfkörper;
2. geometrische Charakterisierung der Referenz-Prüfkörper;
3. Untersuchung der Referenz-Prüfkörper mittels Röntgenbildgebung;
4. Zusammenführung der geometrischen und durch die Bildgebung erzielten Resultate und Erstellung einer Korrelationsmatrix, die es ermöglicht, die Geometrie von Komponenten der Prüfkörper in unbekanntem Prüfstücken zu ermitteln.

Als Referenz-Prüfkörper wurden aus Kostengründen allgemein geometrisch genau charakterisierte Prüfkörper der Routine verwendet, teilweise mit leichter Modifikation.

Der CTDI-Prüfkörper wurde ohne Verwendung eines Referenz-Prüfkörpers 1. durch Untersuchungen der Geometrie mittels taktiler Koordinatenmesstechnik sowie 2. durch Untersuchungen der Materialdichte und -homogenität durch computertomographische Untersuchungen überprüft.

Neben den messtechnischen Arbeiten wurden theoretisch und simulationstechnisch Abschätzungen zu Toleranzen der in den Normen spezifizierten Eigenschaften der Komponenten von Prüfkörpern entwickelt, die aus Sicht der Röntgenbildgebung bzw. Dosimetrie sinnvoll erscheinen.

4.1.1 Verfahren zur Überprüfung des CDMAM sowie Testeinsatzes AP

Die Dicke der Goldobjekte im CDMAM-Referenzprüfkörper wurde durch Röntgenfluoreszenzmessungen bestimmt. Die Unsicherheit der Messung wurde durch weitere Vergleichsmessungen, teilweise unter Einbeziehung von AFM-Messungen, reduziert.

Die Durchstrahlungsuntersuchungen erfolgten an einer Mikrofokus-Röntgenröhre. Die hohe benötigte Kontrastauflösung und geringe zulässige Messunsicherheit erforderten die Entwicklung einer besonderen Mess- und Analysetechnik.

Geometrische und mittels Röntgenbildgebung erhaltene Informationen wurden durch eine Korrelationsmatrix verknüpft.

4.1.2 Verfahren zur Überprüfung von Prüfkörpern nach DIN 6868-4 sowie DIN 6868-13

Die Referenz-Prüfkörper wurden geometrisch mittels optischer oder taktiler Koordinatenmesstechnik untersucht.

Die Röntgenanlage zur bildgebenden Untersuchung der Prüfkörper wurde charakterisiert. Die Referenz-Prüfkörper wurden an der Anlage untersucht. Die Geometrie der Prüfkörper und die Resultate der Röntgenbildgebung wurden durch eine Korrelationsmatrix verknüpft.

Entgegen dem ursprünglichen Projektplan erfolgte die Durchstrahlungsmessung der Bleistrichraster an einer Mikrofokus-Röntgenanlage. Die Anlage wurde charakterisiert. Danach wurden die Referenz-Prüfkörper an der Anlage untersucht. Die Informationen der Röntgenbildgebung wurden mit den geometrischen Daten durch eine Korrelationsmatrix verknüpft.

4.1.3 Verfahren zur Überprüfung des Prüfkörpers nach DIN EN 60601-2-44

Es wurde eine auf taktiler Koordinatenmesstechnik basierende Standard-Messprozedur für die geometrische Untersuchung der Prüfkörper entwickelt.

Es wurde eine auf einer CT-Untersuchung der Prüfkörper basierende Standard-Messprozedur für die Untersuchung der Dichte sowie Dichteverteilung entwickelt.

4.2 ANWENDUNG DER ENTWICKELTEN VERFAHREN AN EINER STICHPROBE VON AUF DEM MARKT VERFÜGBAREN PRÜFKÖRPERN

Eine Stichprobenuntersuchung der betrachteten Prüfkörpertypen wurde durchgeführt. In den meisten Fällen konnten in etwa 10 Exemplare jedes für den jeweiligen Prüfkörper relevanten Herstellers untersucht werden. Die Prüfkörper wurden anhand der zuvor entwickelten Prüfverfahren untersucht.

5. ERGEBNISSE

5.1 ENTWICKLUNG GEEIGNETER METHODEN ZUR ZERSTÖRUNGSFREIEN PRÜFUNG

Es wurden zerstörungsfreie, ausreichend präzise Methoden zur Prüfung entwickelt. Bei den meisten Methoden ist der Aufwand in einer Größe, der eine direkte Umsetzung in die Routine möglich macht. Die Methode zur Untersuchung der Mammographieprüfkörper sollte vor dem Einsatz in der Routine noch optimiert werden. Entsprechende Vorschläge wurden erarbeitet..

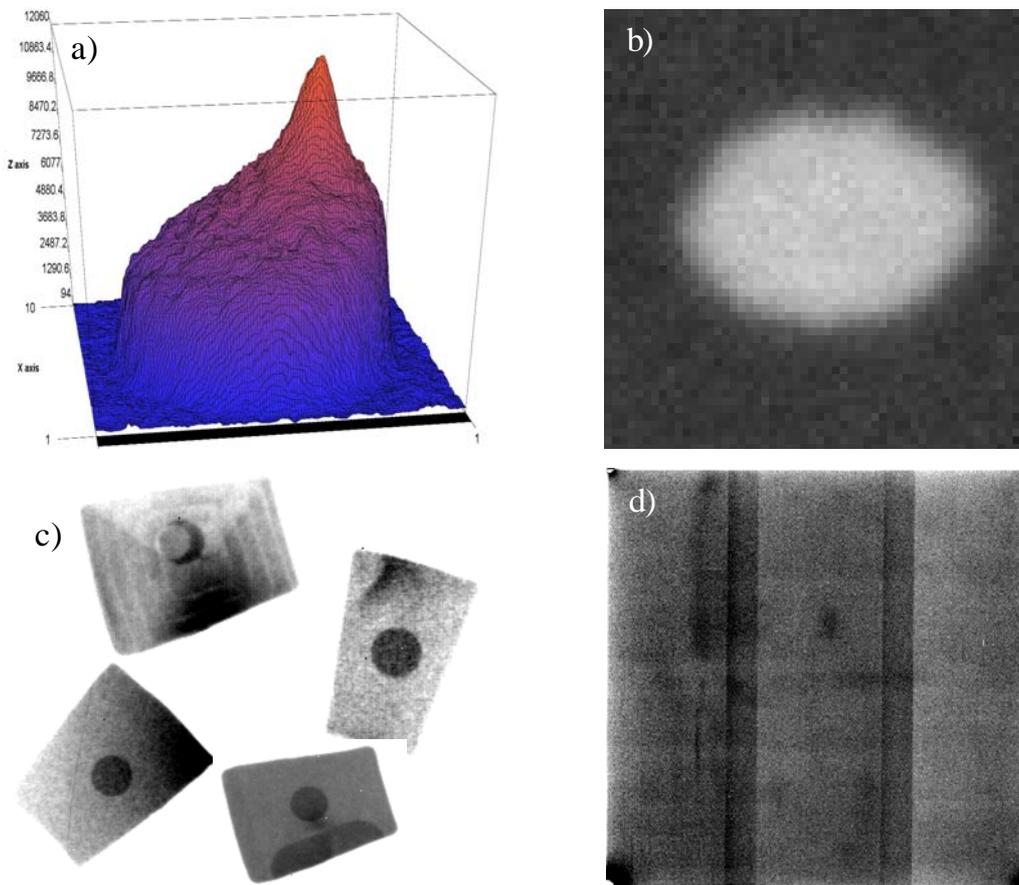


Abbildung 1:

Qualitative Mängel an Prüfkörpern: a-b) Mammographie-Prüfkörper: die Goldstrukturen in dem Testeinsatz AP (a) sowie dem CDMAM (b) entsprechen teilweise nicht der Spezifikation nach homogenen, kreisförmigen Objekten. In (a) ist die auffallend asymmetrische Materialdicke, in (b) die deutliche Abweichung von der Kreisform erkennbar. c) Detailaufnahmen von Stufen des Prüfkörpers nach DIN 6868-4; die Stufen zahlreicher Objekte wichen von der Vorgabe einer homogenen Materialdicke, hier zu erkennen durch unterschiedliche Schwärzung der abgebildeten Objekte, ab (Hinweis: das zentrale, kreisförmige Objekt ist kein Artefakt sondern Teil des Prüfkörpers). d) Röntgenaufnahme eines gemäß der Spezifikation homogenen Schwächungskörpers. Neben kleineren Inhomogenitäten fallen die beiden deutlichen, senkrechten Streifen auf.

5.2 ANWENDUNG DER ENTWICKELTEN VERFAHREN AN EINER STICHPROBE VON AUF DEM MARKT VERFÜGBAREN PRÜFKÖRPERN

Die Untersuchung der Exemplare der Stichprobe wurde erfolgreich beendet. Die entwickelten Methoden zur Untersuchung haben sich als praktikabel herausgestellt.

Bei zahlreichen untersuchten Exemplaren der Prüfkörper wurden relevante Abweichungen von deren Spezifikation in den zugehörigen Normen festgestellt. Es handelt sich teilweise um systematische Abweichungen einzelner Hersteller, teilweise um Fehler im Produktionsprozess. In Abbildung 1 sowie den Tabellen 1 bis 2 sind exemplarisch Typen von festgestellten Mängeln dargestellt.

Abbildung 1 zeigt exemplarisch qualitative Mängel von Komponenten innerhalb der untersuchten Prüfkörper

In Tabelle 1 sind exemplarisch die Messwerte der Bohrungstiefe von Niedrigkontrastobjekten des Prüfkörpers nach DIN 6868-4 aufgelistet. Es ist zu erkennen, dass insbesondere bei dem Hersteller III eine systematische Abweichung vom Sollwert besteht. Die „Spanne“ gibt Auskunft über die Streuung innerhalb des Herstellungsprozesses.

In Tabelle 2 ist die Materialdicke der Kupfer-Dynamiktreppe von zwei Exemplaren des DSA-Prüfkörpers aufgelistet, die auffallend von dem Soll abweichen. Es ist zu erkennen, dass bei den dünnsten Stufen in beiden Fällen die Ist- und die Sollstärke weitgehend übereinstimmen. Bei einer Stufe beträgt der Dickenzuwachs jedoch in beiden Fällen etwa 400 µm anstelle der vorgesehenen 200 µm (3. Stufe bei dem Prüfkörper DSA1, 5. Stufe bei dem Prüfkörper DSA2). Danach verläuft die Materialdicke der Stufen parallel verschoben gegenüber der Sollstärke weiter. Es ist davon auszugehen, dass es sich in beiden Fällen um Fehler beim manuellen Zusammenbau der Prüfkörper handelt.

Allgemein fielen bei einem relevant hohen Anteil an Prüfkörpern Mängel auf, die erwartungsgemäß einen Einfluss auf das Prüfergebn haben.

Es wurden Stellen in den aktuell gültigen Normen ermittelt, welche den Herstellern so große Freiheiten gestatten, dass es zu relevanten Unterschieden zwischen Prüfkörpern kommen kann, die alle noch den Spezifikationen in den Normen genügen. Zudem wurden Stellen in den Norm-Spezifikationen identifiziert, durch welche es zu Einschränkungen in der Nutzbarkeit von Prüfkörpern kommt.

Tabelle 1:

Quantitative Mängel an Prüfkörpern: Resultate (Mittelwert, Minimum, Maximum) der Stichprobenprüfung der Niedrigkontrastbohrungen im Innenbereich des Prüfkörpers nach DIN 6868-4; die Werte in gelb hinterlegten Feldern weichen um mehr als 10% aber weniger als 20% vom Nominalwert ab; die Werte in den rot hinterlegten Feldern weichen um mehr als 20% vom Nominalwert ab. Zudem ist die absolute und relative Spanne der Werte angegeben

nominelle Materialdicke		Materialdicke / mm PMMA							
		4	3,4	2,4	1,7	1,2	0,8	0,6	0,4
Hersteller I	Mittelwert	4,01	3,41	2,44	1,72	1,16	0,80	0,59	0,41
	Minimum	3,89	3,36	2,39	1,60	1,07	0,69	0,52	0,34
	Maximum	4,11	3,52	2,50	1,85	1,31	0,88	0,69	0,47
	Spanne	0,22	0,16	0,11	0,25	0,24	0,18	0,16	0,13
	rel. Spanne	5%	5%	5%	15%	20%	23%	28%	31%
Hersteller II	Mittelwert	4,03	3,42	2,41	1,69	1,16	0,85	0,61	0,38
	Minimum	3,94	3,35	2,34	1,62	1,04	0,81	0,55	0,17
	Maximum	4,09	3,52	2,52	1,75	1,26	0,88	0,68	0,43
	Spanne	0,14	0,17	0,18	0,13	0,22	0,08	0,13	0,26
	rel. Spanne	4%	5%	8%	8%	19%	9%	22%	70%
Hersteller III	Mittelwert	4,30	3,62	2,66	1,85	1,40	1,06	0,84	0,72
	Minimum	4,16	3,51	2,57	1,76	1,36	1,01	0,64	0,54
	Maximum	4,38	3,73	2,76	1,91	1,45	1,16	0,94	0,80
	Spanne	0,22	0,22	0,18	0,15	0,08	0,15	0,30	0,26
	rel. Spanne	5%	6%	7%	8%	6%	14%	36%	36%
Hersteller IV	Mittelwert	3,80	3,28	2,43	1,73	1,29	0,82	0,69	0,47
	Minimum	3,79	3,27	2,42	1,67	1,25	0,82	0,66	0,42
	Maximum	3,81	3,29	2,43	1,80	1,34	0,83	0,72	0,52
	Spanne	0,02	0,02	0,01	0,13	0,09	0,01	0,06	0,10
	rel. Spanne	1%	1%	0%	7%	7%	1%	9%	21%

Tabelle 2:

Materialdicke der Kupfer-Dynamiktreppe von zwei Exemplaren des DSA-Prüfkörpers, welche besonders stark von der Spezifikation nach DIN 6868-4 abweichen. In der zweiten Zeile sind die Nominaldicken der Stufen angegeben, in den Zeilen 3 und 4 die bei den als DSA1 und DSA2 bezeichneten Prüfkörpern gemessenen Dicken

	Materialdicke / mm Cu						
Nominaldicke	1,4	1,2	1	0,8	0,6	0,4	0,2
DSA1	1,58	1,38	1,18	0,99	0,78	0,41	0,21
DSA2	1,52	1,32	1,12	0,75	0,55	0,36	0,16

5.3 RESUMEE

Eine zerstörungsfreie Überprüfung der Norm-Konformität von Prüfkörpern der Röntgendiagnostik ist mit überschaubarem Aufwand möglich. Innerhalb der Stichprobe zur praktischen Anwendung der entwickelten Messverfahren wurden in einer erhöhten Anzahl an Prüfkörpern relevante Mängel festgestellt. Eine systematische, unabhängige Kontrolle von Prüfkörpern der Röntgendiagnostik wäre daher sinnvoll.

6. UMSETZUNG DER ERGEBNISSE

Nach Bekanntgabe der Ergebnisse des Vorhabens fand am BfS ein Fachgespräch statt, an dem die Vertreter dreier Prüfkörperhersteller sowie Vertreter des NAR, AK RöV und der SSK teilnahmen. Es wurden folgende Vorschläge erarbeitet:

- eine Kontrollstelle zur (regelmäßigen) Prüfung der Prüfkörper sei einzurichten;
- Prüfergebnisse sollten mit Aufhebung der Anonymisierung der Hersteller bei bestehender Nichteinhaltung der Normvorgaben veröffentlicht werden;
- Normen, die Prüfkörper nur unzureichend spezifizieren, sollten geprüft und ggf. überarbeitet bzw. ergänzt werden.

Weiterhin wäre es wünschenswert, wenn die Hersteller der Prüfkörper weitere konkrete Qualitätssicherungsmaßnahmen bei der Endprüfung der Phantomkörper vorschlagen würden. Beim AK RöV wird unter Einbindung des BMU und BfS über das weitere Vorgehen beraten.

Thema Dosimetrie mit elektronischen Dosimetern in gepulsten Photonenstrahlungsfeldern - Teil 2			
Subject <i>Dosimetry in pulsed X-ray fields using active electronic dosemeters - part 2</i>			
Kennzeichen 3610S20001	Beginn 25.10.2010	Ende 15.04.2012	Fördermittel EUR 102.299,-
Forschungs- / Auftragnehmer Klinikum Braunschweig, Braunschweig			
Projektleitung Dr. M. Borowski	Fachbetreuung BfS A. Rimpler / AG-SG 2.2		verantwortlich für den Text Dr. M. Borowski, A. Rimpler

1. ZIELSETZUNG

Entsprechend der Anforderung der Röntgenverordnung ist an Personen, die sich aus anderen Gründen als zu ihrer Untersuchung oder Therapie in Kontrollbereichen aufhalten, unverzüglich die Personendosis zu messen. Es gibt zahlreiche Personengruppen, bei denen für derartige Messungen ausschließlich oder ergänzend direkt ablesbare Dosimeter eingesetzt werden. Exemplarisch kommen direkt ablesbare Dosimeter bei der Überwachung schwangerer oder helfender Personen sowie als zweites Dosimeter in Bereichen erhöhter Strahlenexposition zum Einsatz. In Deutschland werden als direkt ablesbare Dosimeter in fast allen Fällen aktive elektronische Personendosimeter (EPD) verwendet.

EPD haben im Vergleich zu den früher verwendeten Stabdosimetern zahlreiche praktische und messtechnische Vorteile. Im Hinblick auf ihre Verwendbarkeit haben EPD gleichwohl ein relevantes Problem. Werden sie Strahlungsfeldern mit einer Dosisleistung von einigen Sievert pro Stunde¹⁾ ausgesetzt, so kann je nach Dosimetertyp das Ansprechvermögen, d. h. das Verhältnis zwischen der vom EPD gemessenen und der tatsächlichen Dosis, deutlich verringert sein. Bei Strahlungsfeldern sehr hoher Dosisleistung kann es sogar vorkommen, dass die EPD überhaupt keine Dosis messen.

Innerhalb des Vorhabens wurden Untersuchungen durchgeführt, um Aussagen zur praktischen Verwendbarkeit von EPD in klinischen Expositionssituationen der Röntgendiagnostik treffen zu können. Hierzu wurde das dosisleistungsabhängige Ansprechvermögen der beiden EPD-Typen EPD Mk2.3 und DMC2000X untersucht. Weiterhin wurde eine Aufstellung sämtlicher relevanter Expositionssituationen von Personen in der human- und veterinärmedizinischen Röntgendiagnostik erarbeitet und für jede einzelne Situation bewertet, inwieweit das Ansprechvermögen von EPD der Typen EPD Mk2.3, DMC2000X sowie EDM III bei einem Einsatz in der entsprechenden Expositionssituation dosisleistungsabhängig abgesenkt ist.

Auf die beiden oben genannten Einzelpunkte wird in den Einzelzielsetzungen noch einmal eingegangen.

2. EINZELZIELSETZUNG

2.1 DOSISLEISTUNGSABHÄNGIGES ANSPRECHVERMÖGEN

Es ist bekannt, dass das Ansprechvermögen von EPD gegenüber Röntgenstrahlung dosisleistungsabhängig ist. Die theoretischen Überlegungen im ersten Teil des Vorhabens haben gezeigt, dass dafür Parameter des EPD als auch des Strahlungspulses verantwortlich sind.

Innerhalb des Vorhabens wurde die Dosisleistungsabhängigkeit des Ansprechvermögens von zwei Dosimetertypen untersucht, unter ihnen das für den deutschen Markt relevante EPD Mk2 der Firma Thermo Electron. Das Ansprechvermögen wurde für Strahlungsimpulse betrachtet, die in der Human- bzw. Veterinärmedizin relevante relevant sind.

¹⁾ Die Maßeinheit Sievert pro Stunde (Sv/h) ist gebräuchlich zur Kennzeichnung des Messbereichs von Dosimetern. In gepulsten Feldern treten scheinbar sehr hohe Dosisleistungen auf (im Bereich von einigen Sv/h). Dabei ist zu beachten dass die tatsächliche Strahlenexposition nur während der kurzen Dauer der Pulse erfolgt, die im Bereich von Milli- oder Mikrosekunden liegt.

2.2 KATEGORISIERUNG VON ARBEITSPLÄTZEN

Die maximal mögliche Dosisleistung der Strahlungsfelder ist an verschiedenen Arbeitsplätzen der Röntgendiagnostik unterschiedlich hoch. Für die Genehmigungsbehörden ist es von großer Bedeutung, abschätzen zu können, an welchen Arbeitsplätzen mit Sicherheit ausgeschlossen werden kann, dass ein EPD fehlerhaft misst und an welchen derartige Fehlmessungen möglich sind.

Innerhalb des Vorhabens wurde eine Kategorisierung sämtlicher relevanter Aufenthaltsorte im Bereich der human-, zahn- und veterinärmedizinischen Röntgendiagnostik im Hinblick auf die maximal mögliche Dosisleistung durchgeführt. Zusammen mit den Arbeiten nach Abschnitt 2.1 war es möglich, abzuschätzen, in welchen Arbeitsbereichen eine vertretbar geringe Beeinflussung der Messung der EPD durch die Dosisleistung des Strahlungsfeldes angenommen werden kann.

3. METHODIK

Die Arbeiten zu Zielsetzung 2.1 waren im Wesentlichen als Messaufgabe unter definierten Bedingungen zu lösen.

Die Arbeiten zu Zielsetzung 2.2 waren komplexer. Sie umfassten die Erstellung einer Gesamtliste möglicher, relevanter Expositionssituationen, eine Abschätzung der maximal möglichen Dosisleistung in den Situationen sowie eine Bewertung der Situation im Hinblick auf die Eignung für den Einsatz von EPD.

4. DURCHFÜHRUNG

4.1 DOSISLEISTUNGSABHÄNGIGES ANSPRECHVERMÖGEN

Für die EPD vom Typ Mk2.3 und DMC2000X wurde die Abhängigkeit des Ansprechvermögens von der Dosisleistung im Bereich von etwa 100 mSv/h bis zu 100 Sv/h detailliert untersucht. Die Arbeiten erfolgten an zwei Röntgeneinrichtungen, welche im Vorfeld eingehend charakterisiert wurden. Die Pulse der beiden Röntgeneinrichtungen stellen exemplarisch Extremfälle der Pulsform dar. Eine Anlage liefert annähernd Rechteckpulse, während die zweite Anlage einen Einpulsgenerator enthält, welcher einen in etwa sinushalbwellenförmigen Pulsverlauf erzeugt.

Der gemessene Zusammenhang zwischen dem Ansprechvermögen und der Dosisleistung wurde mit der vorhergesagten Beziehung verglichen, welche sich unter Verwendung der theoretischen Beschreibung aus dem ersten Teil des Vorhabens aus den Geräteparametern des EPD-Typs und der Pulsform ergibt.

4.2 KATEGORISIERUNG VON ARBEITSPLÄTZEN

Abweichend von den Arbeiten nach Abschnitt 4.1 wurden bei den Arbeiten in diesem Abschnitt EPD der Typen Mk2.3, DMC 2000X und EDM III untersucht.

Es wurde eine Liste sämtlicher relevanten Untersuchungen des human- und zahnmedizinischen sowie des veterinärmedizinischen Bereichs erstellt.

Für häufig eingesetzte Röntgenanlagen wurde unter Annahme extremer aber möglicher Expositionsparameter abgeschätzt, welche maximale Dosisleistung die Einfallsstrahlung im Primärstrahl bei den Untersuchungen erreichen kann. Davon ausgehend wurde anhand theoretischer Daten sowie eigener Messungen die Dosisleistung am Ort des EPD abgeschätzt. Hierbei wurden insbesondere auch die Richtungsabhängigkeit der Röntgenstreustrahlung sowie die im Kontrollbereich zu verwendenden Strahlenschutzmittel berücksichtigt.

Für sämtliche Untersuchungen wurden die relevanten Aufenthaltsorte von Personen im Strahlenfeld definiert. Bei mehreren möglichen Aufenthaltsorten einer Person wurde jeweils der Aufenthaltsort betrachtet, welcher zu der höchsten Dosisleistung am Ort des EPD führt. Wesentliche Einflussgrößen sind in diesem Zusammenhang der Abstand des Mitarbeiters zur Streustrahlungsquelle sowie die Richtung der Streustrahlung.

Bei den meisten Untersuchungen sind die Dosiswerte sicher unterhalb von 1 Sv/h. Bei den Expositionsszenarien, bei denen anhand der theoretischen Abschätzungen nicht sicher auszuschließen war, dass die Dosisleistungen in diesen Bereich auftreten können, wurden zur Prüfung der Konservativität der Abschätzung Messungen der Dosisleistung an den Arbeitsplätzen unter realen Bedingungen durchgeführt. Für die Messungen wurden TLDs als Referenzdosimeter eingesetzt. Die Messungen erfolgten auf zwei Arten:

1. Klinisch tätige Personen trugen die Referenzdosimeter während ausgewählter Untersuchungen an der

Außenseite der Strahlenschutzkleidung.

- Extreme Expositionsszenarien wurden mit Hilfe von Phantomen nachgestellt. Innerhalb der Aufbauten wurden die Referenzdosimeter an Orten positioniert, an denen ein Aufenthalt von Personal möglich ist und zu möglichst hoher Strahlenexposition führt.

5. ERGEBNISSE

5.1 DOSISLEISTUNGSABHÄNGIGES ANSPRECHVERMÖGEN

Die Messungen an Exemplaren der EPD-Typen Mk2.3 sowie DMC 2000X ergeben, dass die EPD oberhalb einer Dosisleistung von etwas mehr als 1 Sv/h die Dosis um mehr als 20% unterschätzen. In Abbildung 1 ist exemplarisch die Dosisleistungsabhängigkeit des Ansprechvermögens für das EPD Mk2.3 dargestellt. Den Messwerten (Punkte) ist die theoretische Vorhersage (Linien) gegenübergestellt. Das dosisleistungsabhängige Ansprechvermögen beider EPD-Typen ist im Detail leicht unterschiedlich. Bei dem EPD Mk2.3 sind die Messdaten mit der theoretischen Vorhersage vereinbar (s. Abbildung 1). Bei dem DMC2000X wird für den Zusammenhang auch der S-förmige Zusammenhang, wie bei dem EPD Mk 2.3 festgestellt, im Detail weichen die Messdaten jedoch von der theoretischen Vorhersage ab. Ein Grund hierfür ist nicht bekannt.

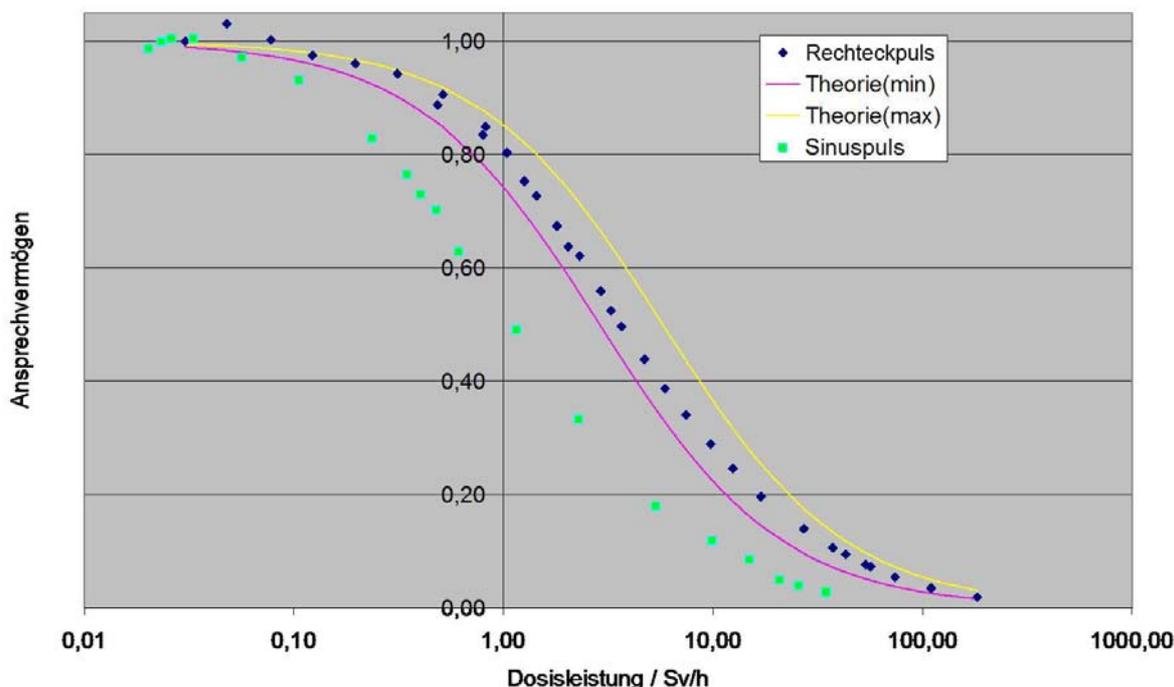


Abbildung 1:

Dosisleistungsabhängigkeit des Ansprechvermögens der EPD vom Typ EPD Mk2.3.

blau: Messungen mit Rechteckpulsen,

türkis: Messungen mit Sinushalbwellen,

gelb/magenta: theoretisches maximales/minimales Ansprechvermögen gemäß Teil 1 des Vorhabens

5.2 KATEGORISIERUNG VON ARBEITSPLÄTZEN

Die Zusammenstellung ergab über 250 unterschiedliche Arbeitsplätze im Bereich der human-, zahn- und veterinärmedizinischen Röntgendiagnostik, in denen Mitarbeiter oder helfende Personen durch Röntgen-Streustrahlung exponiert werden können.

In Tabelle 1 ist für die unterschiedlichen Expositionsszenarien der Human- und Veterinärmedizin die maximale Dosisleistung angegeben, die sich anhand der Abschätzung aus den technischen Parametern ergibt. Mit

einer Ausnahme, s. Fußnote, ist die abgeschätzte, maximale Dosisleistung kleiner oder gleich 1 Sv/h. Entsprechend der Messungen zum dosisleistungsabhängigen Ansprechvermögen, s. Abschnitt 5.1, ist daher davon auszugehen, dass in allen relevanten Expositionssituationen das Ansprechvermögen der EPD oberhalb von 80% liegt.

Tabelle 1: Abgeschätzte maximale Dosisleistung bei den Expositionsszenarien in der Human- und Veterinärmedizin (Strahlenschutzkleidung berücksichtigt)

Klinischer Bereich/Expositionsszenario		Maximale Dosisleistung in Sv/h
Humanmedizin	Zahnmedizin	0,03
	Projektionsradiographie (Aufnahmebetrieb)	0,66
	Durchleuchtung ohne Angiographie / Gefäßchirurgie und Herzkatheter	0,96
	Angiographie / Gefäßchirurgie und Herzkatheter	1,00 ^a
	Computertomographie	0,37
	Knochendichtemessung	< 0,01
Veterinärmedizin	Kleintiere	0,13
	Pferde	0,46

a) Es gibt eine Expositionssituation, die deutlich abweichend von dem Rest eine abgeschätzte, maximale Dosisleistung von 3,06 Sv/h ergibt

Zur Überprüfung der Konservativität der Abschätzungen wurden, wie bereits erwähnt, Messungen der Dosisleistung in unterschiedlichen Szenarien der Human- und Veterinärmedizin durchgeführt. In Tabelle 2 sind die Maximalwerte aufgelistet, die bei den Untersuchungen in unterschiedlichen Bereichen der Humanmedizin gemessen wurden. Die Messungen erfolgten mit TLD, die wegen deren Nachweisgrenze über der Strahlenschutzkleidung getragen wurden. Berücksichtigt man die Tatsache, dass die Dosisleistung durch Schutzkleidung in allen Fällen um mindestens einen Faktor 10 verringert wird, so liegt die Dosisleistung am Rumpf in realen Expositionssituationen der Humanmedizin (Tabelle 2) erwartungsgemäß deutlich unter den Werten der theoretischen Abschätzung (Tabelle 1).

Tabelle 2: Maximale gemessene Dosisleistung in den untersuchten klinischen Bereichen ohne Berücksichtigung von Strahlenschutzkleidung

Klinischer Bereich	Maximale Dosisleistung in Sv/h
Projektionsradiographie (Aufnahmebetrieb)	1,19
Angiographie / Gefäßchirurgie und Herzkatheter	2,98
Urologie	3,23
Gastroenterologie	5,44
Computertomographie	0,34

Die theoretische Abschätzung liefert darüber hinaus Extremwerte der maximalen Dosisleistung, da an jeder Stelle konservative Annahmen zu den Einflussfaktoren auf die Dosisleistung gemacht wurden. In der Praxis treten nicht alle Parameter gleichzeitig so auf, dass eine maximale Dosisleistung resultiert. Insbesondere bei kleineren Röhrenspannungen, einer niedrigeren Gesamtleistung der Systeme oder einem größeren Abstand zwischen Streukörper und Dosimeter sinkt die Dosisleistung am Ort der EPD deutlich. Die gemessenen Werte der Dosisleistung bestätigen die konservative, theoretische Abschätzung der möglichen Strahlenexposition von EPD in allen Strahlungsfeldern der Röntgendiagnostik.

In Abbildung 2 ist die aus Dosismessungen mit EPD berechnete Dosisleistung am Trageort von EPD bei Untersuchungen in der Veterinärmedizin dargestellt. Auch hier blieb die Strahlenschutzkleidung unberücksichtigt.

5.3 RESUMEE

Die konservative, theoretische Abschätzung ergibt für sämtliche relevanten klinischen Expositionssituationen mit einer Ausnahme eine Dosisleistung am Ort der EPD, die kleiner oder gleich 1 Sv/h ist.

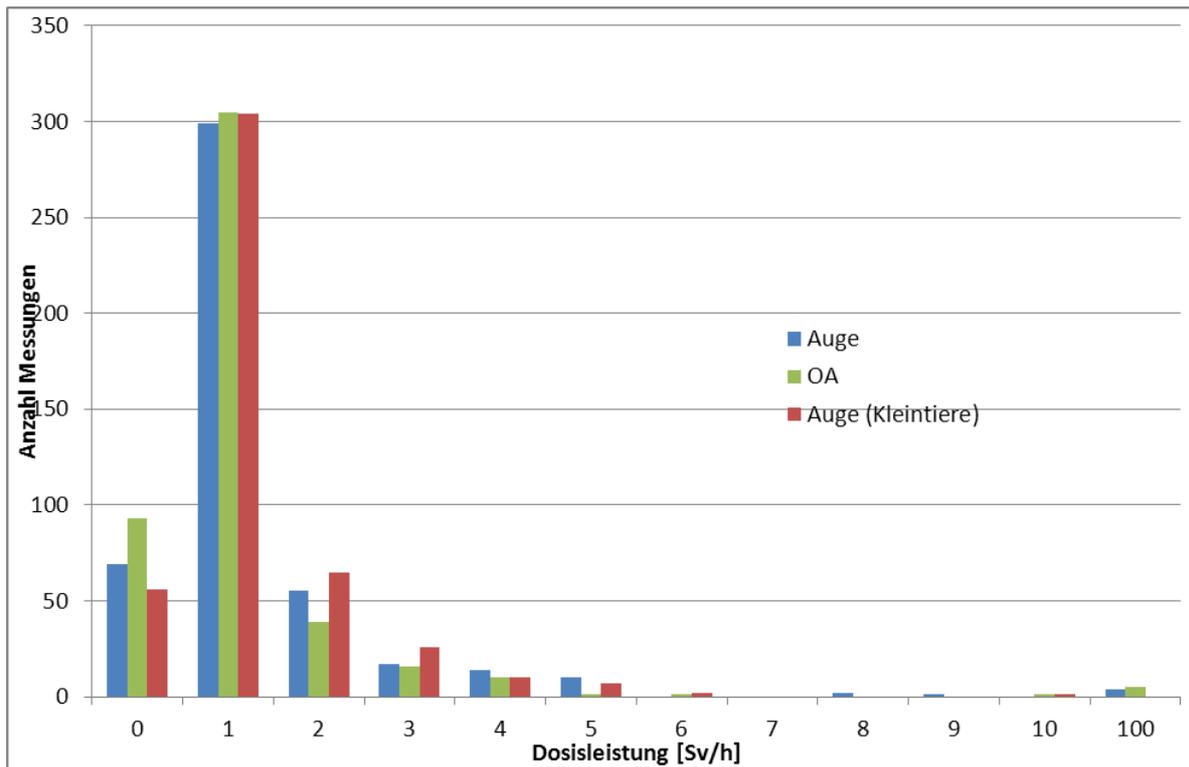


Abbildung 2: Häufigkeitsverteilung berechneter Dosisleistung am Auge bzw. Oberkörper des Personals über der Strahlenschutzkleidung

Die messtechnische Überprüfung bestätigt die theoretische Abschätzung. Sie zeigt darüber hinaus, dass in realen Expositionsszenarien die Dosisleistung vielfach wesentlich unterhalb der Werte liegt, die sich anhand der Abschätzung ergeben haben.

Vor dem Hintergrund der durchgeführten Messungen sowie der Abschätzung der maximal möglichen Dosisleistung ist davon auszugehen, dass die drei betrachteten EPD-Typen in den innerhalb der Studie berücksichtigten Expositionsszenarien ein Ansprechvermögen größer als 80% haben. Es ist somit zu postulieren, dass die genannten EPD-Typen in diesen Expositionsszenarien uneingeschränkt verwendbar sind.

Die berücksichtigten Expositionsszenarien entsprechen den im Bereich der Human- und Veterinärmedizin relevanten klinischen Tätigkeiten. Es ist damit davon auszugehen, dass die betrachteten EPD-Typen in der Human- und Veterinärmedizin uneingeschränkt einsatzfähig sind.

6. UMSETZUNG DER ERGEBNISSE

Mit dem Vorhaben wurde ein Beitrag zur Wahrnehmung der Aufgaben des BMU / RS II 3 bei der Zweckmäßigkeitsschau des Bundes im Bereich des Strahlenschutzes geleistet. Dabei ist die Verbesserung der Qualität und Zuverlässigkeit bei der Messung der Personendosis in der operativen Strahlenschutzüberwachung gemäß § 35 RöV bzw. § 41 StrISchV eine der prioritären Aufgaben. In diesem Zusammenhang sind EPD ein unverzichtbares Messverfahren.

Die gewonnenen Erkenntnisse können in Abstimmung mit den Fachbehörden der Bundesländer zu konkreten Empfehlungen beim Einsatz von bestimmten EPD-Typen für die Dosisbestimmung im medizinischen Bereich genutzt werden. Sie erlauben es, die bisher bestehenden Einschränkungen zu erweitern bzw. aufzuheben. Das betrifft insbesondere die Ermittlung der Uterusdosis bei Schwangeren.

Darüber hinaus sollen die Resultate in erweiterte Bauartanforderungen für Personendosimeter einfließen. Derzeit findet im Rahmen der Novellierung des Mess- und Eichgesetzes auch eine Überarbeitung dieser Anforderungen für die Bauartzulassung statt.

Themenbereich 03
Strahlenbiologie - Wirkung von ionisierender Strahlung,
Strahlenempfindlichkeit

Subject area 03
Radiation Biology - Effects of ionising radiation, radiosensitivity

Thema 2. Strahlen-Proteomics-Workshop			
Subject <i>2nd International Radiation Proteomics Workshop</i>			
Kennzeichen 3612S30032	Beginn 01.09.2012	Ende 01.03.2013	Fördermittel EUR 44.368,-
Forschungs- / Auftragnehmer Helmholtz Zentrum München			
Projektleitung Dr. S. Tapio	Fachbetreuung BfS Dr. S. Hornhardt / AG-SG 1.1	verantwortlich für den Text Dr. S. Tapio	

1. ZIELSETZUNG

Die Organisation des 2. Strahlen-Proteomics-Workshops sollte der Diskussion zwischen Strahlenbiologen und Proteomics-Spezialisten und der Verbesserung ihrer künftigen Zusammenarbeit dienen. Während zwei intensiver Tage mit Vorträgen, Postern und Diskussionen, sollten die neuesten methodischen Highlights und Herausforderungen in der Proteomics-Forschung sowie der derzeitige Stand von Proteomics-Analysen in der Strahlenforschung diskutiert werden. Zudem sollten Möglichkeiten betrachtet werden, wie neue Biomarker der ionisierenden Strahlung in Zellen entwickelt werden können.

2. EINZELZIELSETZUNG

Die zentrale Fragestellung lautete: Wie können Proteomanalysen zu den strahlenbiologischen Themen wie „individuelle Strahlenempfindlichkeit“, „systemische Effekte der ionisierender Strahlung“, „biologische Auswirkungen der niedrigen Dosen und Dosisraten“ und „strahlenverursachte epigenetische Änderungen“ beitragen?

3. METHODIK

Das Projekt wurde in 4 Arbeitspakete (AP) eingeteilt:

- Bildung eines wissenschaftlichen Komitees
- Planung und Vorbereitung des Workshops
- Durchführung des Workshops
- Nachbereitung des Workshops.

3.1 BILDUNG EINES WISSENSCHAFTLICHEN KOMITEES (AP 1)

Mit dem Beginn des Vertrags wurde dem BfS ein Vorschlag für die Zusammensetzung eines wissenschaftlichen Organisationskomitees vorgelegt. Die Mitglieder, Prof. Mike Atkinson, Prof. Mats Harms-Ringdahl, Prof. William Morgan und Prof. Leon Mullenders, waren per e-mail eingeladen. Zusätzlich wurde ein Lokalorganisationskomitee gebildet. Die Mitglieder waren Dr. Soile Tapio, Dr. Sabine Hornhardt und Dr. Maria Gomolka.

Das lokale Organisationskomitee war in Zusammenarbeit mit dem wissenschaftlichen Organisationskomitee für die Planung und Vorbereitung des Workshops zuständig.

3.2 PLANUNG UND VORBEREITUNG (AP 2)

Die Planung und Vorbereitung beinhaltete folgende Punkte:

- Erstellung des Tagungsprogramms / Ermittlung der Redner mit internationaler Reputation;
- Einladung der Redner;
- Erstellung einer Website und eines Flyers, Strukturierung des Programms bzw. des Workshops;
- Praktische Organisation und Vorbereitung des Workshops (Anmeldungen, Sitzungen, Posterausstellung,

Namensschilder, Programmheft), der Betreuung und der Unterkunft der Gäste;

- Erstellung eines Abstraktbandes.

3.3 DURCHFÜHRUNG DES WORKSHOPS (AP 3)

Der Workshop fand nach Plan am Helmholtz Zentrum München statt.

3.4 NACHBEREITUNG (AP 4)

- Bereitstellung der angeforderten Präsentationen der Redner zur Präsentation im Internet.
- Präsentation der Highlights des Workshops in Form einer Veröffentlichung in einer internationalen Fachzeitschrift.

4. DURCHFÜHRUNG

4.1 ORGANISATION DES WORKSHOPS

Der Workshop wurde als Zusammenarbeit zwischen dem Helmholtz Zentrum München (HMGU) und dem Bundesamt für Strahlenschutz (BfS) durchgeführt. Die Internetseite des Projekts (<http://www.helmholtz-muenchen.de/radiation-proteomics>) wurde als erster Anlaufpunkt für Informationen über Ziel und Programm des Workshops geschaffen. Dort konnte man sich auch online registrieren.

Der Workshop fand im Helmholtz Zentrum München vom 30. bis 31. Januar 2013 statt (Abbildung 1).

Welcome note

High-throughput screening techniques such as proteomics have been developing in recent years at a breathtaking pace. Proteomics today is a mature biological tool that can provide us with novel information about the biochemical mechanisms that regulate physiology of the cell. The approach of whole-proteome screening is constantly gaining support in the radiobiological community but its applications have been scarce so far.

The aim of the 2nd International Radiation Proteomics Workshop is to discuss the state of the art of radiation proteomics, new technologies and the implementation of proteomics in different fields of radiation biology.

We will focus on themes such as low-dose and low-dose rate effects, cancer and non-cancer end points, dose-response relationships, individual radiation sensitivity and usage of radiobiology archives for biomarker research. We want to present the newest technologies of global and targeted proteomics (selected/multiple reaction monitoring), interactomics, protein modifications and integrative analysis of epigenetics and proteomics.

We will use two full days for lectures, posters, and discussions to assess the status of radiation proteomics today.

All scientists interested or experienced in proteomics in the field of radiation biology are cordially invited to the workshop to be held in Munich, January 30 - 31, 2013.

Dr. Soile Tapio
Helmholtz Zentrum München

Dr. Maria Gomonka
Bundesamt für Strahlenschutz

Dr. Sabine Hornhardt
Bundesamt für Strahlenschutz

General information

Registration, Accomodation

eiberCOM
Helke Eiber
Schlüsselbergstr. 1, 81873 München, Germany
Phone +49 (0)89 49 05 96 - 13
Fax +49 (0)89 49 05 96 - 15
Info@eibercom.de

Local chair

Dr. Soile Tapio
Helmholtz Zentrum München
Institute of Radiation Biology
Ingolstädter Landstr. 1, 85764 Neuherberg, Germany
Phone +49 (0)89 3087 3445
Fax +49 (0)89 3087 3378
soile.tapio@helmholtz-muenchen.de
www.helmholtz-muenchen.de/lsb

Venue

Helmholtz Zentrum München
German Research Center for Environmental Health
Auditorium
Ingolstädter Landstraße 1
85764 Neuherberg, Germany

Please visit the conference website www.helmholtz-muenchen.de/radiation-proteomics for detailed information.

2nd International Radiation Proteomics Workshop

January 30 - 31, 2013
Munich, Germany

Network diagram showing interactions between Gsn, Tf, Mug1, Itih4, Hpx, Cp, Fth1, Hspa1, Oxct1, and Myl2.

www.helmholtz-muenchen.de/radiation-proteomics

Abbildung 1:
Der Flyer des Workshops (Außenseite)

4.2 TAGUNGSPROGRAMM

21 Redner aus 10 Ländern waren eingeladen. Am ersten Tag des Workshops wurden u. a. die Themen „systemische Effekte der ionisierender Strahlung“ und „biologische Auswirkungen der niedrigen Dosen und Dosisraten“ präsentiert und diskutiert. Am zweiten Tag des Workshops hat man die Themen „individuelle Strahlenempfindlichkeit“, „strahlenverursachte epigenetische Änderungen“ und „strahlenbiologische Archive und Biobanken“ behandelt (Abbildung 2).

Main topics

We invite you to discuss the following topics

- › low-dose and low-dose rate effects
- › cancer and non-cancer end points
- › dose-response relationships
- › individual radiation sensitivity
- › use of radiobiology archives for biomarker research

Programme

Wednesday, January 30

9:30 Welcome and Opening address
10:00 Systemic effects in radiation biology
14:00 Dose and dose-rate effects in radiation proteomics
16:30 Poster Session
17:30 Proteomics applications
19:00 Conference dinner

Thursday, January 31

9:00 Posttranslational modifications
11:30 Individual sensitivity to radiation
14:00 Poster session
15:00 Archives and databases
17:15 Closing

Confirmed keynote speakers

- › Maria Filippa Addis
Proteomics Laboratory, Tamarigito
- › Omid Azimzadeh
Helmholtz Zentrum München, Munich
- › Ariel Bensimon
ETH Zürich, Zurich
- › Zarko Barjaktarovic
Helmholtz Zentrum München, Munich
- › Petra Bell
University of Copenhagen, Copenhagen
- › Jacek Capala
National Cancer Institute, National Institute of Health, Rockville
- › Olivier Guipaud
Institut de Radioprotection et de Sûreté Nucléaire, Paris
- › Anne Görtler
Federal Office for Radiation Protection, Munich
- › Stefanie Hauck
Helmholtz Zentrum München, Munich
- › Monika Hauptmann
Federal Office for Radiation Protection, Munich
- › Daniel Martins-de-Souza
Max Planck Institute, Munich
- › Reetta Nylund
Radiation and Nuclear Safety Authority, Helsinki
- › Franz Rödel
University of Frankfurt am Main, Frankfurt am Main
- › Marianne Sowa
Pacific Northwest National Laboratory, Richland
- › Paul Scholleid
University of Cambridge, Cambridge
- › Fabian Theis,
Helmholtz Zentrum München, Munich
- › Jacek Wisniewski
Max Planck Institute, Munich

Scientific organising committee

- › Mike Atkinson,
Helmholtz Zentrum München, Munich
- › Mats Harms-Ringdahl
Stockholm University, Stockholm
- › William Morgan
Pacific Northwest National Laboratory, Richland
- › Leon Mullenders
University of Leiden, Leiden

Local organising committee

- › Soile Tapio
Helmholtz Zentrum München, Munich
- › Maria Gomolka
Federal Office for Radiation Protection, Munich
- › Sabine Hornhardt
Federal Office for Radiation Protection, Munich

Abbildung 2:
Der Flyer des Workshops (Innenseite)

Die Teilnehmerzahl wurde auf 120 geschätzt. Die Teilnahme am Workshop war für Mitarbeiter des Helmholtz Zentrums und des BfS kostenlos. Mit der Anzahl der registrierten Teilnehmer von 100 aus 13 Ländern und den interessierten Zuhörern des Helmholtz Zentrums und des BfS wurden die Erwartungen überschritten. Besonders groß war der Anteil junger Forscher.

5. ERGEBNISSE

Der Workshop hat sowohl die förderpolitischen als auch die wissenschaftlich-technischen Ziele erreicht. Präsentation der Highlights des Workshops werden in Form einer Veröffentlichung in einer internationalen Fachzeitschrift vorgestellt.

5.1 DISKUSSION ZWISCHEN STRAHLENBIOLOGEN UND PROTEOMICS-SPEZIALISTEN ZUR VERBESSERUNG IHRER KÜNFTIGEN ZUSAMMENARBEIT

Es fanden im Rahmen des Workshops zwei Poster-Präsentationen statt; insgesamt wurden 21 Poster, besonders von jungen Forschern, präsentiert und von den Teilnehmern diskutiert.

5.2 METHODISCHE HIGHLIGHTS UND HERAUSFORDERUNGEN IN DER PROTEOMFORSCHUNG

Die acht eingeladenen Proteomics-Experten (Namen in Klammern) aus fünf verschiedenen Ländern präsentierten Vorträge zu folgenden Themen:

- Systembiologie in der Proteomforschung (Krumstiek)
- Neue Technologien (Bensimon)
- Diagnostische Applikationen (Hauck, Martins-de-Souza, Capala)
- Proteinmodifikationen (Beli)
- Datenbanken und Archive (Addis, Wisniewski).

5.3 STAND DER PROTEOMFORSCHUNG IN DER STRAHLENFORSCHUNG

Auch wenn die Strahlenforschung in der Proteomforschung noch selten vertreten ist, gibt es international schon mehrere Gruppen, die gute Ergebnisse auf diesem Gebiet erzielt haben. Redner aus acht strahlenbiologischen Instituten haben über die neuste Ergebnisse berichtet. Die Themen waren:

- Systembiologie in der Proteomforschung (Morgan, Sowa, Nylund)
- Biologische Auswirkungen der niedrigen Dosen und Dosisraten (Hauptmann, Guipaud, Harms-Ringdahl, Rödel)
- Proteinmodifikationen (Mullenders, Barjaktarovic)
- Individuelle Strahlenempfindlichkeit (Atkinson, Gürtler)
- Datenbanken und Archive (Schofield, Azimzadeh).

5.4 ENTDECKUNG NEUER BIOMARKER DER IONISIERENDEN STRAHLUNG DURCH PROTEOMFORSCHUNG

Durch Informationsaustausch, Präsentationen und Diskussionen wurden die Möglichkeiten und Herausforderungen zur Entdeckung von Biomarkern, die durch Proteomanalysen entdeckt und gemessen werden können, durchdacht und Forschungsmöglichkeiten aufgezeigt.

6. UMSETZUNG DER ERGEBNISSE

In dem Workshop wurde das Ziel, klassische Strahlenforschung mit der Proteomforschung zusammenzubringen, erfolgreich umgesetzt. Die Vermittlung des „state of the art“ auf beiden Forschungsgebieten führte zu einem weitergehenden Dialog zwischen den Disziplinen. Der Workshop bot einen wertvollen Überblick über aktuelle und neueste Techniken in der Proteomanalyse und zeigte die Anwendungen für die Strahlenforschung auf. In der Strahlenforschung sind die Themen individuelle Strahlenempfindlichkeit, Niedrig-Dosis-Bereich, systemische Effekte und Biomarker von besonderer Bedeutung und die Anwendung von neuesten Technologien in diesem Bereich wird zur Aufklärung der aktuellen Fragen beitragen.

Themenbereich 04
Medizinische Strahlenexposition / Röntgenverordnung

Subject area 04
Medical radiation exposures / X-ray Ordinance

Thema Medizinphysikalische Optimierung und Risikobewertung diagnostischer und therapeutischer Strahlenanwendungen			
Subject <i>Physical optimisation and risk assessment of diagnostic and therapeutic procedures using ionising or non-ionising radiation</i>			
Kennzeichen 3608S04001	Beginn 01.07.2008	Ende 30.06.2012	Fördermittel EUR 334.412,-
Forschungs- / Auftragnehmer Klinik für Strahlentherapie und Radioonkologie, Universitätsmedizin Mannheim, Medizinische Fakultät Mannheim, Universität Heidelberg			
Projektleitung Prof. Dr. F. Wenz	Fachbetreuung BfS Dr. J. Griebel / AG-SG 2.1		verantwortlich für den Text Prof. Dr. F. Wenz

1. ZIELSETZUNG

Wissenschaftliches Ziel des Vorhabens war die Weiterentwicklung des medizinischen Strahlenschutzes durch die medizinphysikalische Optimierung und Risikobewertung therapeutischer und diagnostischer Verfahren. Der Schwerpunkt der Forschungsaktivitäten betraf den Schnittbereich zwischen den Themenbereichen „Strahlenwirkungen“ und „Bildgebung“, nämlich

- die Entwicklung und Anwendung von Bildgebungstechniken zur funktionellen Charakterisierung der Mikrozirkulation und des Mikromilieus in Tumoren für die biologisch-adaptierte Bestrahlungsplanung und die funktionelle Bewertung der Strahlenwirkung,
- sowie die detaillierte Untersuchung der Wirkung statischer Magnetfelder auf die Mikrozirkulation in Geweben als einem potenziell sicherheitsrelevanten Effekt an Höchstfeld-MRT¹⁾-Systemen.

Parallel zur Bearbeitung der wissenschaftlichen Aufgabenstellungen sollten die involvierten Wissenschaftler mit einem Diplom- oder Masterabschluss in Physik am Klinikum die praktische Ausbildung zum Medizinphysik-Experten nach den Vorgaben der Strahlenschutz- und Röntgenverordnung absolvieren.

2. EINZELZIELSETZUNG

2.1 FUNKTIONELLE BILDGEBUNG FÜR DIE BIOLOGISCH-ADAPTIERTE STRAHLENTHERAPIE

Die therapeutische Wirkung einer Strahlenbehandlung mit Photonen hängt nicht nur von der realisierten physikalischen Dosisverteilung ab, sondern darüber hinaus von vielfältigen physiologischen und molekularen Prozessen im Tumor, wie z. B. der Mikrozirkulation und dem metabolischen Mikromilieu. Dementsprechend gewinnen funktionelle Bildgebungsverfahren, mit denen diese Prozesse nichtinvasiv erfasst werden können, für die Individualisierung und Optimierung der Strahlenbehandlung immer mehr an Bedeutung. Im Rahmen des Vorhabens wurde die klinische Praktikabilität und der Stellenwert von MRT- und PET/CT²⁾-Methoden zur funktionellen Bildgebung untersucht, die mit derzeit verfügbaren Tomographen an einer Vielzahl von Kliniken im Rahmen der Strahlentherapie von Tumorpatienten routinemäßig eingesetzt werden können.

2.2 WIRKUNG STATISCHER MAGNETFELDER AUF DIE MIKROZIRKULATION

In der MR-Bildgebung ist ein klarer Trend zur Anwendung von Hoch- und Höchstfeldsystemen festzustellen. Nach Einschätzung internationaler Gremien (ICNIRP³⁾, WHO⁴⁾) ist jedoch die Wirkung hoher statischer Magnetfelder auf den menschlichen Organismus noch nicht ausreichend geklärt. Einen möglichen Interaktionsmechanismus stellt die Wirkung statischer Magnetfelder auf den Blutfluss in Mikrogefäßen dar, der in diesem Teilprojekt in der Muskulatur von Probanden untersucht werden sollte.

¹⁾ Magnetresonanztomographie

²⁾ Positronen-Emissions-Tomographie / Computer-Tomographie

³⁾ International Commission on Non-ionising Radiation Protection

⁴⁾ World Health Organization

3. METHODIK

3.1 FUNKTIONELLE BILDGEBUNG FÜR DIE BIOLOGISCH-ADAPTIERTE STRAHLENTHERAPIE

Konkret wurden drei Bildgebungstechniken untersucht, nämlich

1. das H-1-Chemical-Shift-Imaging (H-1-CSI) an einem 3-T-MR-System, sowie
2. die dynamische PET-Bildgebung unter Verwendung des Glukoseanalogons F-18-Fluordesoxyglukose (FDG-PET) in Kombination mit
3. der dynamischen kontrastverstärkten (DCE) CT an einem modernen PET/CT-System.

Die dynamisch akquirierten FDG-PET- und DCE¹⁾-CT-Daten wurden mittels tracerkinetischer Modelle analysiert, um den Energiestoffwechsel bzw. die Mikrozirkulation zu quantifizieren. Die Relevanz dieser Ansätze für die Strahlentherapie sollte im Rahmen einer klinischen Studie bei Patienten mit Hirnmetastasen untersucht werden.

3.2 WIRKUNG STATISCHER MAGNETFELDER AUF DIE MIKROZIRKULATION

Um die Wirkung statischer Magnetfelder auf die Mikrozirkulation in der Muskulatur des Menschen zu quantifizieren, sollten Perfusionsmessungen an Probanden an drei Ganzkörper-MR-Systemen durchgeführt werden, die bei unterschiedlichen magnetischen Flussdichten von 1,5, 3 und 7 T betrieben werden. Die MR-Systeme werden hierbei sowohl für die Erzeugung eines sehr hohen und homogenen statischen Magnetfeldes in der Muskulatur als auch für die Durchführung von MR-Perfusionsmessungen genutzt. Um den Einfluss der Gefäßorientierung relativ zum Feld berücksichtigen zu können, sollten die Messungen gleichzeitig in Muskelregionen durchgeführt werden, die senkrecht und parallel zum statischen Magnetfeld orientiert sind.

4. DURCHFÜHRUNG

4.1 FUNKTIONELLE BILDGEBUNG FÜR DIE BIOLOGISCH-ADAPTIERTE STRAHLENTHERAPIE

4.1.1 Bestimmung von Metabolitkarten mittels H-1-CSI

Die CSI-Untersuchungen wurden an einem 3-T-MR-Tomographen (Magnetom TIM) durchgeführt. Für die Erfassung der Abbildungseigenschaften der implementierten 2D-Sequenz wurden Messungen an Zylindern unterschiedlichen Durchmessers (zur Bestimmung von Recovery-Faktoren) sowie an einem anatomischen Hirnphantom durchgeführt, die jeweils mit einer Metabolitlösung (Laktat, Cholin, Creatin und N-Acetylaspartat (NAA)) befüllt wurden.

4.1.2 Quantifizierung des Energiestoffwechsels von Hirnmetastasen mittels FDG-PET

Die PET/CT-Untersuchungen erfolgten am Biograph mCT. Für dieses System wurde sowohl die räumliche Auflösung als auch die Bildqualität für verschiedene Rekonstruktions-Algorithmen (FBP²⁾, OSEM³⁾, TrueX⁴⁾; mit und ohne „time-of-flight“ (TOF) Option) bestimmt. Darüber hinaus wurden anhand von Phantommessungen Recovery-Faktoren für Zylinder und Kugeln (als Modell für Hirnmetastasen) bestimmt sowie Messungen am Hirnphantom durchgeführt. Für die tracerkinetische Auswertung dynamisch akquirierter FDG-Bildserien wurde ein Zweikompartimentmodell implementiert.

4.1.3 DCE-CT-Messung zur Bestimmung der Mikrozirkulation in Hirnmetastasen

Zur Optimierung der vorgesehenen DCE-CT-Untersuchungen wurden Phantomexperimente durchgeführt, bei denen das Strom-Zeit-Produkt systematisch variiert wurde. Als Ausgangspunkt diente das vom Hersteller für die Infarkt Diagnostik implementierte Perfusionsprotokoll (Röhrenspannung: 80 kV, Strom-Zeit-Produkt: 270 mAs, CTDI_{vol}: 429 mGy, Schichtdicke der rekonstruierten CT-Bilder: 8 mm, Bildmatrix: 512 x 512).

4.1.4 Bildkorrelation

Für die räumliche Korrelation der mit den verschiedenen funktionellen Bildgebungstechniken akquirierten Patientenbilder wurde ein Software-Programm entwickelt.

¹⁾ Dynamic contrast enhanced

²⁾ Filter Backprojection

³⁾ Ordered Subset Expectation Maximisation

⁴⁾ ein Rekonstruktionsalgorithmus für PET

4.1.5 Patientenstudie

Die optimierten und an Phantomen sorgfältig validierten funktionellen Bildgebungstechniken sollten in einer prospektiven monozentrischen explorativen Pilotstudie an mindestens 15 Patienten mit Hirnmetastasen erprobt und bezüglich ihrer Relevanz für die biologisch-adaptierte Bestrahlungsplanung untersucht werden. Hierzu wurden ein positives Votum der zuständigen Ethikkommission sowie eine Genehmigung für die seriellen PET- und die DCE-CT-Untersuchungen nach Strahlenschutz- und Röntgenverordnung beim BfS eingeholt. Bei jedem Patienten sollten die folgenden Untersuchungen vor und am Ende der Strahlentherapie sowie 6 Wochen und 3 Monate nach Therapieende durchgeführt werden, um die morphologischen und funktionellen Wirkungen der Strahlentherapie auf das Normal- und Tumorgewebe darzustellen:

- H-1-CSI unter Verwendung einer 12-Kanal-Kopf-Spule am 3-Tesla-MRT-Gerät (Dauer der Untersuchung ca. 30 min).
- dynamische PET/CT-Untersuchung unter Applikation von 185 MBq F-18-FDG (Niedrigdosis-CT zur Schwächungskorrektur; Messdauer ab Injektion 60 min).
- Unmittelbar nach der PET-Untersuchung eine DCE-CT-Messung (iodhaltiges Kontrastmittel; Serie von 40 CT-Bildern in 40 s; Dauer insgesamt ca. 5 min).

Aus den akquirierten Bilddaten werden mit den implementierten Auswertetools verschiedene biologische Gewebeparameter (Perfusion, Laktat-, NAA¹), Creatin- und Cholin-Konzentration sowie FDG-Transport und -phosphorylierung) in verschiedenen Tumorarealen sowie im umgebenden Normalgewebe quantifiziert und nach Abschluss aller Patientenuntersuchungen unter zwei Aspekten ausgewertet:

1. Korrelation zwischen den prätherapeutischen Gewebeparametern im Tumor und dem klinischen Therapiereponse;
2. Quantifizierung der Veränderung der genannten Gewebeparameter im Tumor und im umgebenden Normalgewebe unter Therapie als Funktion der lokalen Dosis.

Wirkung statischer Magnetfelder auf die Mikrozirkulation

Die Messungen erfolgten an drei Ganzkörper-MR-Systemen mit Magnetfeldstärken von 1,5 T (MAGNETOM Avanto), 3 T (MAGNETOM Trio) und 7 T (MAGNETOM 7T) am Deutschen Krebsforschungszentrum. Für die Messungen wurden die jeweils verfügbaren Kopfspulen für die Testung der entwickelten Sequenzen und die Bestimmung der für die Perfusionsbestimmung benötigten Kontrastmittel-Relaxivitäten verwendet. Für die Messungen wurden an den drei MR-Systemen segmentierte Saturation-Recovery-TurboFLASH- (SSRTFL-) Sequenzen implementiert und sorgfältig optimiert. Die Bestimmung der Relaxivitäten des paramagnetischen Kontrastmittels Gd-DTPA (Magnevist) erfolgte bei 37°C an menschlichen Blutplasmaproben, die mit unterschiedlichen Gd-DTPA-Mengen dotiert wurden. Darüber hinaus wurden Phantommessungen durchgeführt, um mögliche Fehler bei der Bestimmung der arteriellen Inputfunktion aus einem auf den SSRTFL-Bildern dargestellten Blutgefäß auf Grund von Suszeptibilitäts-Effekten zu untersuchen. Zur Messung der Wirkung starker statischer Felder auf die Mikrozirkulation beim Menschen während MRT-Messungen wurde eine Probandenstudie geplant, in der an den drei MR-Systemen mit den jeweils implementierten SSRTFL-Sequenzen simultane Perfusionsmessungen in der Ober- und Unterarmmuskulatur durchgeführt werden sollten.

5. ERGEBNISSE

5.1 FUNKTIONELLE BILDGEBUNG FÜR DIE BIOLOGISCH-ADAPTIERTE STRAHLENTHERAPIE

5.1.1 Bestimmung von Metabolitkarten mittels H-1-CSI

Die Resonanzlinien von Laktat, Cholin, Creatin und NAA konnten mit der verwendeten CSI-Sequenz sowohl bei den Phantom- als auch den Patientenmessungen klar aufgelöst und durch einen Modellfit für die Bestimmung der Metabolitkonzentrationen hinreichend genau approximiert werden.

Die aus den generierten Metabolitkarten für Zylinder unterschiedlichen Durchmessers ermittelten Recovery-Faktoren sind in Abbildung 1 (links) dargestellt. Sie nehmen zwar wie erwartet mit größerem Durchmesser zu, streuen aber ganz erheblich, was eine valide Recovery-Korrektur letztendlich unmöglich macht. Selbst bei einem Durchmesser von 20 mm liegt auf Grund der limitierten Ortsauflösung der H-1-CSI-Technik von etwa 12 mm die relative Konzentration immer noch deutlich unter dem nominellen Wert von 1. Die Messung belegt somit klar die Grenzen der quantitativen Auswertung von H-1-CSI-Messungen.

¹) N-Acetyl-Aspartat

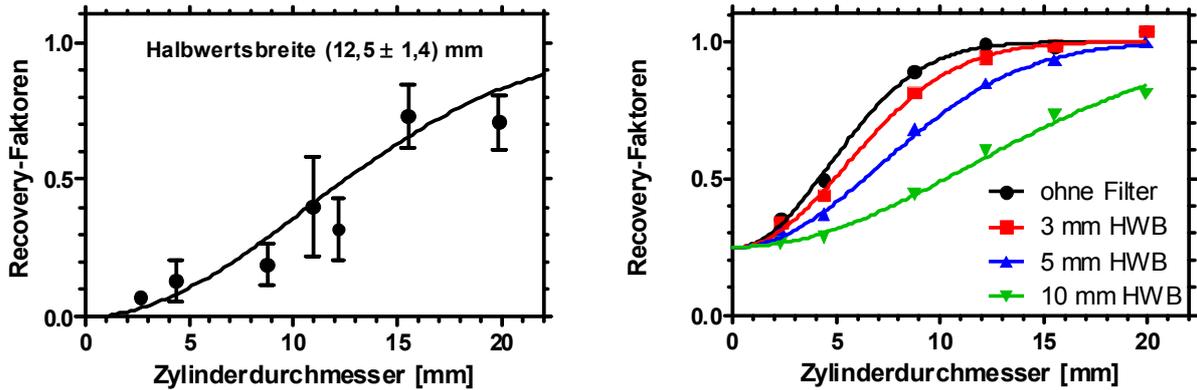


Abbildung 1: Recovery-Faktoren für die Korrektur des Teilvolumeneffekts. Links: H-1-CSI, aufgetragen sind die über die vier untersuchten Metabolite (Laktat, Cholin, Creatin, NAA) gemittelten Konzentrationen als Funktion des Zylinderdurchmessers (2,3 mm bis 20 mm) relativ zur Konzentration im Zentrum eines großen Zylinders. Rechts: F-18-PET, Ergebnisse für das gleiche Phantom, jedoch mit einer Untergrundaktivität außerhalb der Zylinder (25%) und für Gaußfilter verschiedener Halbwertsbreiten (HWB)

5.1.2 Quantifizierung des Energiestoffwechsels von Hirnmetastasen mittels FDG-PET

Die räumliche Auflösung des PET-Systems in radialer, tangentialer und axialer Richtung in Abhängigkeit vom Abstand zum Zentrum des Gesichtsfeldes liegt zwischen 4,6 und 6,8 mm (Abbildung 2). Recovery-Faktoren für Zylinder und Kugeln unterschiedlichen Durchmessers sind in Abbildung 1 (rechts) bzw. Abbildung 3 dargestellt.

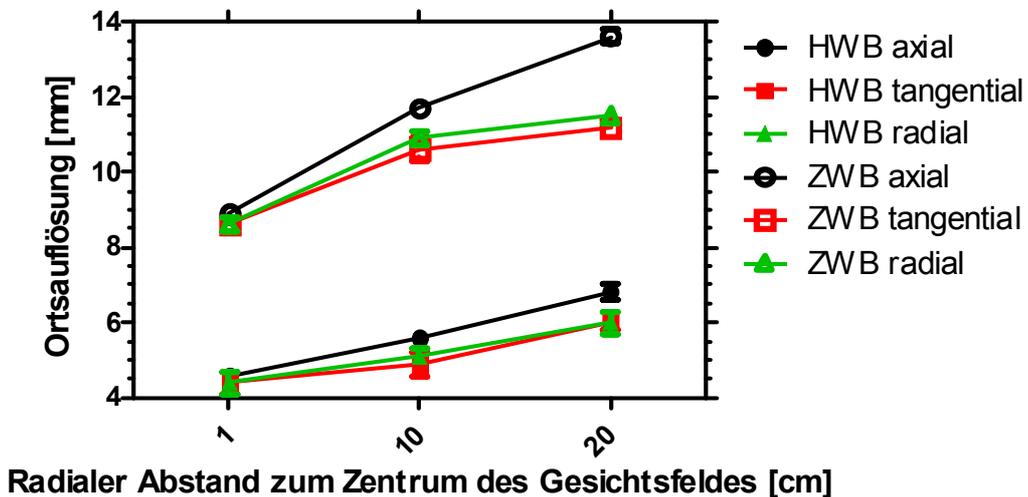


Abbildung 2: Ortsauflösung des PET-Systems Biograph mCT (Halbwertsbreite (HWB) und Zehntelwertsbreite (ZWB)) gemessen an einem Punktquellenphantom nach dem NEMA¹⁾-Standard unter Verwendung des FBP-Algorithmus. Die Standardabweichungen sind $\leq 0,3$ mm und deshalb in der Abbildung nicht sichtbar

¹⁾ National Electrical Manufacturers Association

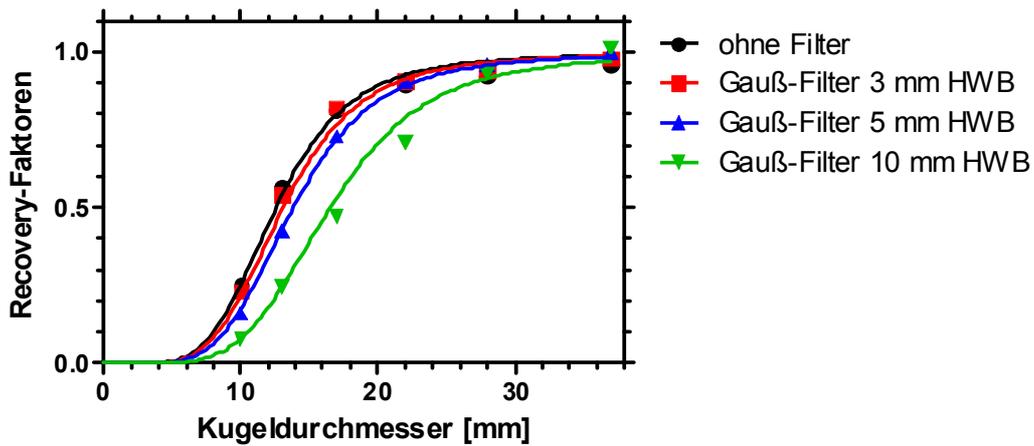


Abbildung 3:
Recovery-Faktoren für mit F-18-FDG gefüllte Kugeln ermittelt am Biograph mCT in Abhängigkeit vom Kugeldurchmesser (10, 13, 17, 22, 28 und 37 mm) und verschieden gefilterter Bildrekonstruktionen mit dem OSEM-Algorithmus mit TOF-Option

Auf Grund der detaillierten Untersuchung der Leistungsparameter des PET/CT-Systems müssen für die Quantifizierung des Stoffwechsels von Hirnmetastasen mittels FDG-PET folgende Punkte beachtet werden:

- Die Ortsauflösung ändert sich im Gesichtsfeld deutlich, so dass für die Quantifizierung von Aktivitätskonzentrationen mittels der ermittelten Recovery-Faktoren die ortsabhängige Auflösung zu berücksichtigen ist.
- Die „time-of-flight“ (TOF)-Option, welche zusätzliche Information über den Zerfallsort auf Grund der Laufzeitunterschiede bei der Koinzidenzdetektion bei der Bildrekonstruktion verwendet, führt zu einer Verringerung des Rauschens und einer verbesserten Kontrastauflösung und sollte deshalb immer verwendet werden.
- Die OSEM-Bildrekonstruktion mit 3 Iterationen mit 21 Subsets liefert Bilder mit einem guten Kompromiss zwischen Kontrastauflösung und Rauschen.

In Abbildung 4 sind die mit dem H-1-CSI und der F-18-PET/CT am Hirnphantom ermittelten Metabolitbilder dargestellt. Auf Grund der deutlich schlechteren Ortsauflösung kommt es beim CSI zu ausgeprägten Teilvolumeneffekten, die eine sichere Definition von Zielstrukturen bei der Strahlentherapieplanung praktisch unmöglich machen.

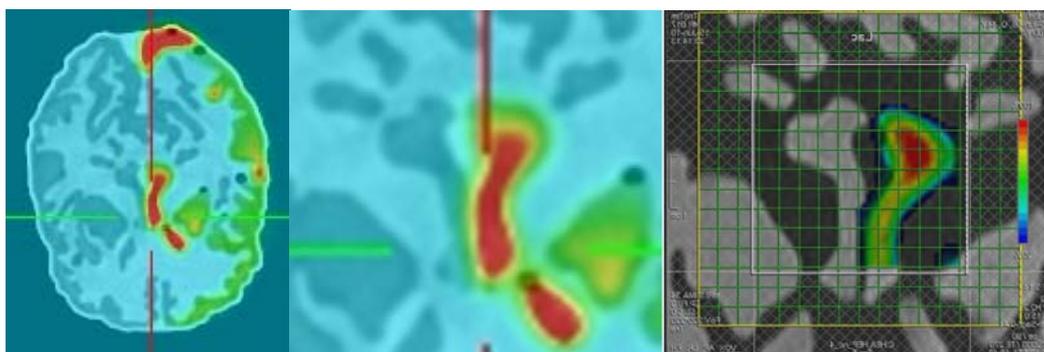


Abbildung 4:
Links: Fusioniertes PET/CT-Übersichtsbild des anatomischen Hirnphantoms. Mitte: Rekonstruierte F-18-Aktivitätsverteilung (OSEM-Bildrekonstruktion mit TOF-Option, 3 Iterationen und 21 Subsets; Gaußfilter 5 mm Halbwertsbreite; Matrix 400 x 400). Rechts: Rekonstruierte Verteilung der Laktat-Konzentration in der gleichen Phantomregion

5.1.3 DCE-CT-Messung zur Bestimmung der Mikrozirkulation in Hirnmetastasen

Basierend auf den Phantommessungen zur Optimierung des DCE-CT-Protokolls hinsichtlich des Rauschsignals und der Strahlenexposition der Patienten wurde entschieden, für die Patientenstudie ein Strom-Zeit-Produkt von 200 mAs zu verwenden und das Bildrauschen nach den Messungen mittels eines 8×8 -Mittelwertfilters zu reduzieren. Für dieses Strom-Zeit-Produkt ergibt sich bei 40 Serien ein Volumen-CT-Dosis-Index ($CTDI_{vol}$) von etwa 320 mGy, der die Dosis in der untersuchten Kopfschicht um etwa 25% überschätzt. Die relativ hohe lokale Strahlenexposition ist bei Patienten mit Hirnmetastasen, die eine Strahlentherapie erhalten, ethisch gerechtfertigt, sollte aber insbesondere bei mehrmaligen DCE-CT-Untersuchungen bei der Bestrahlungsplanung berücksichtigt werden.

5.1.4 Patientenstudie

Die erforderlichen Genehmigungen für die Patientenstudie liegen seit August 2011 vor. Die Abbildungen 5 und 6 zeigen exemplarisch für einen Patienten mit einem Nierenzell-Karzinoms die generierten Parameterbilder zur funktionellen Charakterisierung der Hirnmetastase.

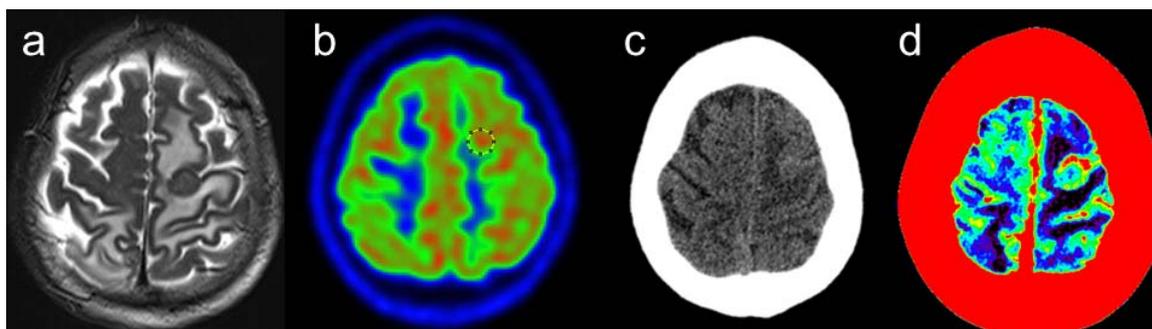


Abbildung 5:

Multimodale Bildgebung bei einem Patienten mit einer Metastase eines Nierenzell-Karzinoms im linken Frontallappen. (a) Hypointense Darstellung der Metastase mit perifokalen Ödem links frontal auf einer T2-gewichteten MRT-Aufnahme. (b) Aus den dynamischen F-18-FDG-PET/CT-Aufnahmen mit Hilfe eines Zweikompartimentmodells berechnetes Parameterbild der Glukose-Metabolisierungsrate. Diese ist nur leicht gegenüber den Werten für die graue Substanz erhöht. (c) Die native CT-Aufnahme zeigt ein fingerförmiges Ödem frontal links, die Metastase ist nicht abgrenzbar. (d) Das aus dem akquirierten DCE-CT-Datensatz berechnete farbkodierte Perfusionenbild zeigt erhöhte Perfusionenwerte im ventrolateralen Bereich der Metastase.

Trotz kontinuierlicher intensiver Zusammenarbeit mit den ärztlichen Kollegen des Interdisziplinären Tumorzentrums Mannheim erwies sich die Patientenrekrutierung als unerwartet schwierig, da die schwerkranken Tumorpatienten aus den vorgesehenen Untersuchungen keinen persönlichen therapeutischen Nutzen ziehen. Bislang konnten lediglich 2 Patienten in die Studie eingeschlossen werden. Um die Relevanz der implementierten und optimierten funktionellen Bildgebungstechniken für die biologisch-adaptierte Strahlentherapie valide beurteilen zu können, wird die Patientenstudie nach Ablauf der Förderperiode durch das BMU/BfS mit Hausmitteln fortgeführt und ein gesonderter Abschlussbericht mit den Ergebnissen der Patientenstudie dem BfS übersandt. Bereits vor Abschluss der Patientenstudie lässt sich jedoch auf Grund der durchgeführten umfangreichen Phantommessungen sagen, dass PET/CT derzeit die Methode der Wahl für die biologisch-adaptierte Bestrahlungsplanung ist. Sie erlaubt nicht nur eine hinreichend genaue Abgrenzung von Zielstrukturen für die Bestrahlungsplanung, sondern auch die genaue Quantifizierung von Aktivitätskonzentrationen für die Bestimmung biologischer Gewebeparameter vor und während der Strahlentherapie. Darüber hinaus kann in der gleichen Sitzung eine DCE-CT-Messung durchgeführt werden, um die Mikrozirkulation in Geweben zu bestimmen.

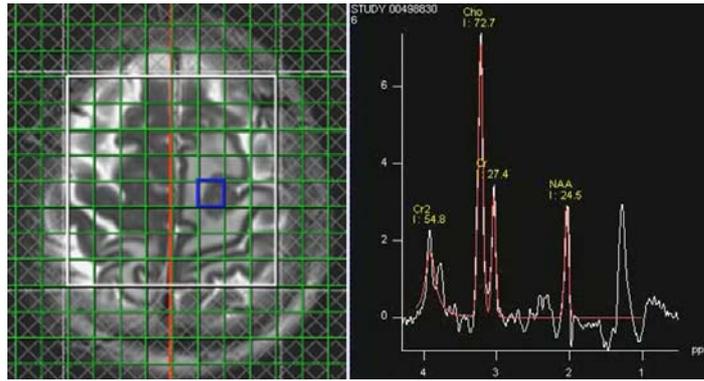


Abbildung 6:
H-1-CSI-Messung für den gleichen Patienten wie in Abb. 5. Links: T2-gewichtete MRT-Aufnahme mit eingezeichnetem Tumorvoxel. Rechts: Gemessenes H-1-MR-Tumor-Spektrum

5.2 WIRKUNG STATISCHER MAGNETFELDER AUF DIE MIKROZIRKULATION

Die für Perfusionsmessungen erforderlichen Bildgebungssequenzen wurden an drei MR-Tomographen implementiert und anhand von Phantommessungen sorgfältig optimiert. Die für Gd-DTPA ermittelten Relaxivitäten (1,5 Tesla: $R = (4,3 \pm 0,6) \text{ mM}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$; 3,0 Tesla: $R = (3,9 \pm 0,5) \text{ mM}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$; 7,0 Tesla: $R = (3,5 \pm 0,5) \text{ mM}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$) nehmen mit zunehmender Feldstärke leicht ab. Der bei 1,5 Tesla ermittelte Wert stimmt sehr gut mit Literaturangaben überein. Auf Grund der sehr kurzen und mit zunehmender Magnetfeldstärke abnehmenden Echozeiten der implementierten SSRTFL-Sequenzen können Suszeptibilitäts-Effekte auch bei hohen Kontrastmittelkonzentrationen in Blutgefäßen weitgehend vernachlässigt werden. Nach Abschluss der methodischen Entwicklungsarbeiten stellte sich heraus, dass die für die Perfusionsmessungen an den Armen von Probanden vorgesehene Ganzkörperspule entgegen der ursprünglichen Annahme nicht verfügbar war. Aus diesem Grund musste das Projekt im Frühjahr 2011 nach Rücksprache mit dem BfS abgebrochen werden.

Wie im Antrag angekündigt, wurde eine W3-Professur „Medizinische Strahlenphysik / Strahlenschutz“ in der Medizinischen Fakultät Mannheim der Universität Heidelberg eingerichtet und zum 01.10.2011 mit einem renommierten Medizinphysiker besetzt. Die drei unmittelbar in das Forschungsvorhaben involvierten Physiker haben neben ihren Forschungsaktivitäten die Ausbildung zum Medizinphysik-Experten nach Röntgen- und Strahlenschutzverordnung in der Klinik für Strahlentherapie und im Institut für Klinische Radiologie und Nuklearmedizin durchlaufen und erfolgreich abgeschlossen.

6. UMSETZUNG DER ERGEBNISSE

Gemäß StrlSchV¹⁾ § 81 Abs (3) ist bei Strahlenbehandlungen „die Dosis im Zielvolumen bei jeder zu behandelnden Person nach den Erfordernissen der medizinischen Wissenschaft individuell festzulegen“. Ein Ansatz zur Optimierung und Individualisierung der Strahlenbehandlung besteht in der biologischen Charakterisierung von Tumoren mit funktionellen Bildgebungstechniken. Ziel des Forschungsvorhabens war es daher, derzeit in der breiten Krankenversorgung verfügbare Bildgebungsmethoden unter medizinphysikalischen Aspekten zu optimieren und klinisch zu evaluieren. Obwohl die Patientenstudie auf Grund von Problemen bei der Patientenrekrutierung noch nicht abgeschlossen werden konnte, belegen die durchgeführten umfangreichen Untersuchungen, dass PET/CT derzeit die Methode der Wahl für die biologisch-adaptierte Bestrahlungsplanung ist. Diese Technologie erlaubt nicht nur eine hinreichend genaue Abgrenzung von Zielstrukturen für die Strahlenbehandlung, sondern auch die genaue Quantifizierung von Aktivitätskonzentrationen für die tracerkinetische Berechnung metabolischer Gewebeparameter. Darüber hinaus kann am gleichen System eine DCE-CT-Messung zur Quantifizierung der Tumordurchblutung durchgeführt werden, die nach jetzigem Kenntnisstand die Strahlenwirkung beeinflusst. Die mit DCE-CT-Untersuchungen verbundene relativ hohe lokale Strahlenexposition ist bei einer palliativen Strahlentherapie strahlenhygienisch gerechtfertigt. Es wird jedoch empfohlen, sie insbesondere bei mehrmaligen Untersuchungen während des Behandlungsverlaufs bei der Bestrahlungsplanung zu berücksichtigen. Im Hinblick auf die Behandlung von jüngeren Patienten mit gu-

¹⁾ Strahlenschutzverordnung

ter Prognose empfiehlt sich mittelfristig der Einsatz der PET/MRT-Technologie, die sich derzeit noch in der technischen Entwicklung und initialen klinischen Erprobung befindet. Die bisherigen Ergebnisse des Forschungsvorhabens setzen BMU/BfS in die Lage, aktuelle methodische Entwicklungen in der Strahlentherapie zu bewerten und bei der Beratung von Behörden, Gremien und Bürgern zu berücksichtigen.

Nach Einschätzung internationaler Gremien ist die Wirkung hoher statischer Magnetfelder auf den menschlichen Organismus noch nicht ausreichend geklärt. Im zweiten Teilprojekt sollte daher ein möglicher Interaktionsmechanismus untersucht werden, nämlich die Wirkung dieser Felder auf die Mikrozirkulation in Geweben bei MR-Patientenuntersuchungen insbesondere an Höchstfeld-Systemen, die sich gegenwärtig in der initialen Erprobung befinden. Von den Forschungsnehmern wurden hierzu vielversprechende Untersuchungskonzepte ausgearbeitet und die für die Umsetzung erforderlichen methodischen Entwicklungsarbeiten geleistet. Allerdings konnte die Probandenstudie nicht wie geplant durchgeführt werden, da die hierfür benötigte Ganzkörperspule am 7T-MRT während der Projektlaufzeit unerwarteterweise nicht zur Verfügung stand. Das Teilprojekt wurde daher zeitnah abgebrochen. Auf Grund der Bedeutung der Fragestellung für den Patientenschutz wird empfohlen, die geplanten Probandenuntersuchungen in einer Anschlussstudie durchzuführen, sobald die technischen Voraussetzungen hierfür gegeben sind.

Das Nebenziel des Vorhabens, nämlich die Schaffung von nachhaltigen Ausbildungskapazitäten für Medizinphysik-Experten nach RöV¹⁾ und StrISchV wurde erreicht.

¹⁾ Röntgenverordnung

Thema Erstellung von hybriden Voxelmodellen zur Optimierung von Bildqualität und Dosis in der Radiographie			
Subject <i>Construction of hybrid voxel models for optimising image quality and dose in radiography</i>			
Kennzeichen 3609S40002	Beginn 01.09.2009	Ende 31.05.2012	Fördermittel EUR 302.841,-
Forschungs- / Auftragnehmer Helmholtz Zentrum München			
Projektleitung M. Zankl	Fachbetreuung BfS Dr. D. Noßke / AG-SG 2.2		verantwortlich für den Text Dr. M. Greiter, Dr. N. Petoussi-Henß, Dr. H. Schlattl, M. Zankl

1. ZIELSETZUNG

Ziel des Vorhabens war es, hybride Voxelmodelle (Voxelmodelle mit hoch aufgelöster Segmentierung einzelner Organe) und Verfahren zu entwickeln, anhand derer außer der Patientendosis auch die Bildqualität für typische radiographische Verfahren (Thoraxaufnahme und Mammographie) bestimmt werden kann. Die Ergebnisse bilden eine Grundlage dafür, mittels Simulationsrechnungen Zusammenhänge zwischen Patientendosis und Bildqualität zu untersuchen und Verfahren zur Optimierung von Dosis und Bildqualität zu entwickeln.

2. EINZELZIELSETZUNG

2.1 ERSTELLUNG VON HYBRIDEN VOXELMODELLEN

Für die Lunge und die weibliche Brust sollten hoch aufgelöste Feinstrukturen erstellt werden (50 µm in allen Dimensionen). Daraufhin sollten Verfahren entwickelt werden, um die erstellten Feinstrukturen von Lunge und weiblicher Brust in das Voxelmodell eines Erwachsenen einzupassen. Die Auflösung dieses Voxelmodells sollte mindestens der des männlichen erwachsenen ICRP (International Commission on Radiological Protection)-Referenzmodells, d. h. 2,2 x 2,2 x 8 mm³, entsprechen. Für die Mammographie sollte dabei das Voxelmodell einer erwachsenen Frau verwendet und die Komprimierung der Brust bei der Aufnahme berücksichtigt werden.

2.2 ENTWICKLUNG VON METHODEN ZUR DOSISBERECHNUNG UND QUANTIFIZIERUNG DER BILDQUALITÄT MIT HYBRIDEN VOXELMODELLEN

Es sollten Programme zur Simulation des Strahlentransports in den erstellten Hybrid-Voxelmodellen, d. h. in Volumenelementen mit verschiedenem Maßstab, entwickelt werden, wobei ein digitales Bildaufzeichnungssystem (Pixelgröße höchstens 100 µm, bei Thoraxaufnahmen höchstens 200 µm) mit verwendetem Raster als zusätzliches Element zu berücksichtigen war. Ferner sollten Zielparameter zur Bestimmung der Bildqualität (mindestens das Kontrast-/Rauschverhältnis) und Anforderungen daran definiert werden.

2.3 BESTIMMUNG VON DOSIS UND BILDQUALITÄT FÜR THORAXAUFNAHMEN UND MAMMOGRAPHIEN

Für Thoraxaufnahmen und Mammographien sollten Organdosen und effektive Dosis sowie die zuvor festgelegten Parameter zur Beschreibung der Bildqualität bei Annahme realistischer Aufnahmeparameter (Spannung, Filter- und Anodenmaterial) berechnet werden. Dabei sollte die Anzahl der simulierten Photonenschichten in der gleichen Größenordnung sein wie in der realen Aufnahme.

3. METHODIK

Die angewandten Methoden umfassten die Segmentierung hoch aufgelöster Bilddatensätze, deren Einpassung in vorhandene Voxelmodelle geringerer Auflösung, die Simulation des Strahlentransports unter Berücksichtigung

sichtigung der unterschiedlichen Auflösung in unterschiedlichen Bereichen des Körpers, die Einbeziehung des Bildempfängers in die Berechnungen sowie die Auswertung von Bildqualitätsparametern.

Im Verlauf der Projektarbeiten stellte es sich jedoch heraus, dass der ursprüngliche Plan, hoch aufgelöste Teilkörpermodelle in die ansonsten unverändert grob aufgelösten Ganzkörpermodelle einzufügen und mit diesen hybriden Voxelmodellen Rechnungen zur Bildgebungssimulation zu machen, nicht zielführend war. Erste Simulationsrechnungen zur Bildqualität zeigten, dass die Auflösung des Ganzkörperphantoms zu grob ist im Vergleich zum hoch aufgelösten Teilkörperphantom und das simulierte Röntgenbild infolgedessen zu stufig ist. Dies betrifft insbesondere die Ränder von Objekten, die einen starken Absorptionskontrast zu ihrer unmittelbaren Umgebung haben, wie z. B. die Rippen. Diese Stufigkeit überdeckt die Feinstrukturen in den hoch aufgelösten Teilkörperbereichen und verhindert so deren Erkennbarkeit. Daneben gestaltete sich die Erzeugung hochaufgelöster Datensätze der Lunge und der Mamma erheblich schwieriger als ursprünglich antizipiert. Dies führte zu einem erheblich größeren Arbeitsaufwand, der in diesem Ausmaß bei der Projektplanung nicht abzusehen war und der folglich zu einer Reduzierung des Arbeitsumfangs in den weiteren Arbeitspaketen geführt hat.

4. DURCHFÜHRUNG

4.1 ERSTELLUNG VON HYBRIDEN VOXELMODELLEN

4.1.1 Ganzkörperphantome in normaler Auflösung

Das Voxelmodell Klara wurde aus dem Ganzkörper-CT (Computertomographie)-Bildsatz einer Leukämiepatientin im Alter von 43 Jahren erstellt. Das Phantom ist 1,63 m hoch und wiegt 60 kg. Somit gleicht Klara in etwa dem weiblichen Referenzmenschen. Das Phantom verfügt über 88 unterschiedliche Organe und Gewebe; die Voxelauflösung beträgt $1,765 \times 1,765 \times 4,84 \text{ mm}^3$. Dieses Phantom war bereits zu Projektbeginn verfügbar.

4.1.2 Hochaufgelöste Teilkörperphantome

Bilddatensätze der Lunge und der weiblichen Brust mit der für dieses Projekt erforderlichen sehr hohen Auflösung standen nicht zur Verfügung. Es konnten jedoch anatomische Präparate einer weiblichen Brust und eines Lungenflügels für die Zwecke des Projekts verwendet werden. Von diesen beiden Präparaten sollten hoch aufgelöste CT-Untersuchungen angefertigt werden. Wegen der geforderten sehr hohen Bildauflösung von ca. $50 \mu\text{m}$ in allen Dimensionen war es erforderlich, diese Aufnahmen an einem Spezialgerät anzufertigen.

4.1.3 Hochauflösende CT-Scans

Zur Erstellung der hochaufgelösten Datensätze wurden zwei Kooperationen mit Gruppen arrangiert, die CT-Geräte mit hoher Auflösung betreiben.

In der Frühphase des Projekts war nur ein experimentelles Gerät am Center for Gamma-Ray Imaging der Universität von Tucson, Arizona (USA) bekannt und erreichbar, das eine genügend hohe Auflösung bei gleichzeitig möglichst großem Messfeld bot. Trotzdem war die verfügbare maximale Objektgröße so gering, dass das Präparat nicht in einem Stück in diesem Gerät gescannt werden konnte. Daraufhin wurde beschlossen, die präparierte Mamma in geeignet große Teile zerlegen zu lassen und in drei Stücken zu scannen. Ein für die Erstellung eines hochaufgelösten Voxelmodells geeigneter Bilddatensatz konnte auf Grund von Artefakten bei der Rekonstruktion der Bilddaten durch die Mitarbeiter der kooperierenden Gruppe dennoch nicht erstellt werden. Nach mehreren erfolglosen Versuchen wurden die drei Teile des Präparats wieder zurückgesandt.

Nach Beginn der Aufnahmen in Tucson wurde bekannt, dass der Lehrstuhl von Prof. Dr. Franz Pfeiffer an der Physik-Fakultät der TU München ein hochauflösendes CT betreibt, das auf eine Bohrung völlig verzichtet und dementsprechend auch größere Objekte in variabler Vergrößerung aufnehmen kann. Auf diesem Gerät wurde das Mammapräparat in der Folge in mehreren Versuchen aufgenommen. Auf Grund der Größe des Präparats mussten die Einzelteile des Mammapräparats entlang ihrer Längsachse in jeweils drei getrennten Arbeitsgängen gescannt werden. Die Fusion dieser Teile zu einem gesamten dreidimensionalen Datensatz benötigte wiederum erheblichen Mehraufwand bei der Verarbeitung der Bilddaten. Letztendlich konnten Rohdatensätze mit einer Auflösung von ca. $86\text{-}95 \mu\text{m}$ Voxelgröße für die drei geschnittenen Teile des komprimierten Mammapräparats gewonnen werden.

Das Lungenpräparat, das als Leihgabe selbstverständlich nicht beschädigt werden durfte, wurde ausschließlich am Gerät im Institut von Prof. Pfeiffer aufgenommen. Auch hier gilt, dass das Lungenpräparat in drei ge-

trennten Arbeitsgängen gescannt werden musste, was wiederum zu einem beträchtlichen Aufwand bei der Zusammenführung dieser einzelnen Bilddatensätze zu einem Gesamtvolumen führte.

4.1.4 Datenverarbeitung

Die Rohversion der hochauflösenden CT-Teils cans wies eine Größe von jeweils ca. 2 - 8 GB auf. Der Kombination mehrerer Teils cans zu einem Gesamtdatensatz und dessen Anzeige bzw. Verarbeitung auf einem Standard-Computersystem musste daher eine Datenreduktion vorausgehen.

Eine Datenreduktion wurde beim **Lungenphantom** erreicht durch

- Zuschnitt der Schichtbilder auf die maximale Abmessung der Präparate,
- Entfernen von randständigen Schichten, die keinen Teil des Präparats enthielten,
- Verrechnung überlappender und Artefakt-arter Bereiche aneinander angrenzender Teils cans mit gleitendem Übergang durch gewichtete Mittelung.

Insgesamt erreichten diese Maßnahmen eine Reduktion des Datenvolumens von 22 GB auf 6,6 GB unter Erhalt der Auflösung in Raum und Pixelwerten.

Für die spätere Simulation von Organdosen muss die Zugehörigkeit eines Voxels zu einem bestimmten Gewebetyp bzw. Organ festgelegt werden, d. h. die Daten segmentiert werden. Die in CT-Daten visualisierten Schwächungskoeffizienten des durchstrahlten Materials können aber nicht immer uneindeutig in Gewebzugehörigkeiten umgerechnet werden. Die hohe Anzahl an Voxeln in den neuen Datensätzen machte jedoch eine manuelle Segmentierung praktisch unmöglich, so dass Lösungen für eine zumindest teilautomatische Behandlung der Daten gefunden werden mussten.

Die erste Schwierigkeit hierbei stellte die Abtrennung des eigentlichen Lungengewebes von dem Zellstoff-Material dar, das zur Halterung des Präparats eingesetzt wurde. Weil es in direktem Kontakt mit dem Gewebe lag und seine Pixelwertebereiche sich an vielen Stellen mit denen des Gewebes überdeckten, war eine Unterscheidung mit einem Schwellwert nicht möglich. Einfache Erosionsverfahren scheiterten am Verlust von Strukturen im Phantom. Das Problem wurde letztendlich gelöst, indem für jede Schicht eine Serie von manuell an den Phantomrändern gesetzten Punkten zu einem geschlossenen Spline verbunden und daraus eine binäre Maske erzeugt wurde. Das Multiplizieren dieser Maske mit den Bilddaten setzte dann die Pixel außerhalb des Phantoms auf Null.

Mangels einer hinreichend allgemeinen und zuverlässigen Methode der Gewebetypsegmentierung wurde letztendlich entschieden, die Pixelwerte im Phantom in 20 kontrasterhaltende Bereiche einzuteilen und diesen für die Simulation im Voxelmodell jeweils eine eigene Dichte und Elementmischung zuzuweisen.

Das Vorgehen bei der Datenreduktion des aus 9 Teils cans und insgesamt 13,4 GB bestehenden **Mamma-Datensatzes** folgte im Prinzip dem Ablauf beim Lungendatensatz. Für die jeweils drei Teils cans eines physischen Phantomteils wurden die rekonstruierten Schichten zugeschnitten, Schichten ohne Phantomanteil entfernt und die Überlappbereiche von zwei, für einige Schichten auch drei Teils cans gewichtet gemittelt. Wie bei der Verarbeitung der Lungendaten war auch in diesem Fall eine Skalierung der Grauwerte nötig, um die Teils cans zur Deckung zu bringen.

Die nach mehreren Arbeitsschritten vorliegenden drei Datensätze für die Phantomteile waren zusammen nur noch 2,85 GB groß bei einer Voxelabmessung von ca. $95,4 \mu\text{m}^3$.

Um aus dem nach der weitgehend informationsverlustfreien Datenreduktion zur Verfügung stehenden dreiteiligen Datensatz ein für Bildgebung und Dosimetrie verwendbares Voxelphantom zu erstellen, verblieben zwei wesentliche Herausforderungen, die zum Ende der Projektlaufzeit noch teilweise ungelöst sind. Zum einen war dies die Segmentierung der Daten in Gewebetypen, zum anderen mussten die drei Datensätze der physisch getrennten Teile des Mammapräparats wieder zusammengesetzt werden.

Die drei Datensätze ließen durch ihre innere Struktur sowie die unterschiedlichen Hautgewebedicken eine Zuordnung der im Originalpräparat angrenzenden Schnittkanten zu. Es war auch möglich, die Schichten so zu rotieren, dass jeweils zwei Scans zu den Schichtbildrändern parallele Kanten aufwiesen. Eine leichte Verformung der Präparatteile durch die Transporte und Scans führte jedoch dazu, dass die Kanten nicht mehr genau zueinander passten.

Wie beim Lungenphantom war die Zuordnung von Pixelwerten zu Gewebetypen nicht uneindeutig möglich. Die in den Bilddaten vorhandenen Kontraste ließen zwar eine Abtrennung des Fettgewebes vom Rest des Präparats zu, aber Gefäßwände, Drüsen und Hautschichten wiesen jeweils einen breiten Bereich höherer Pixelwerte auf, der vor allem bei kleinen Details stellenweise fast übergangslos aus dem Fettgewebe hervorzugehen scheint. Bei näherer Betrachtung war selbst die bei der Lunge verwendete Lösung einer Einteilung der

Phantomvoxel in Pixelwertbereiche als kritisch zu betrachten, weil die Bilddaten bei entsprechender Fensterung deutliche Aufhärtungsartefakte aufwiesen, und zwar so stark, dass sich ortsabhängig im Bild das Pixelwertverhältnis zwischen Paraffin und Fettgewebe qualitativ umkehren ließ. Vor einer weiteren Verarbeitung der Daten musste demnach zuerst diese Art von Artefakten korrigiert werden.

4.1.5 Kombination der hochaufgelösten Teilkörperphantome mit den Ganzkörperphantomen

Als erstes wurde der hoch aufgelöste Lungenbereich in das Phantom Klara eingepasst, wobei zunächst die ursprüngliche Auflösung von Klara beibehalten wurde. Erste Simulationsrechnungen zur Bildqualität zeigten jedoch, dass die Auflösung des Ganzkörperphantoms zu grob ist im Vergleich zum Teilkörperphantom der Lunge und das simulierte Röntgenbild infolgedessen insbesondere an den Rändern der Rippen zu stufig ist. Diese Stufigkeit überdeckt die Feinstrukturen und verhindert so deren Erkennbarkeit.

Aus diesem Grund wurde es erforderlich, diese Ränder zu glätten. Zu diesem Zweck mussten auch die das hoch aufgelöste Teilkörperphantom umgebenden Organe in einer höheren Auflösung dargestellt werden. Um den Speicherbedarf einigermaßen im Rahmen zu halten, wurde für die den hoch aufgelösten Teilkörperbereich umgebenden Organe eine Auflösung von 500 μm gewählt. Diese Glättung und die dafür erforderliche Erhöhung der Auflösung wurden in mehreren Schritten mit den Softwareprogrammen IDL (Interactive Data Language), Rhinoceros und binvox bewerkstelligt.

4.2 ENTWICKLUNG VON METHODEN ZUR DOSISBERECHNUNG UND QUANTIFIZIERUNG DER BILDQUALITÄT MIT HYBRIDEN VOXELMODELLEN

Der Strahlentransport wird mit dem Programmpaket EGSnc (electron-gamma shower National Research Council Canada) durchgeführt. Dabei sind die Geometrie und Materialeigenschaften des Objektes vom Benutzer (User) durch Definition von Unterroutinen und Makros explizit zu definieren. Dieser Programmteil wird daher üblicherweise im EGS-Jargon als „Usercode“ bezeichnet. Die Geschichte eines jeden Teilchens und dessen Sekundärteilchen werden mittels der Monte-Carlo-Methode solange verfolgt, bis ihre Energie unter einen Schwellenwert fällt bzw. der Usercode signalisiert, dass kein Interesse mehr am weiteren Schicksal des Teilchens besteht. Der Schwellenwert ist sinnvollerweise so zu wählen, dass die mittlere freie Weglänge des Teilchens klein verglichen mit der relevanten Struktur ist, d. h., in diesem Fall kleiner als die kleinste Voxeldimension. Dann kann davon ausgegangen werden, dass das Teilchen innerhalb des Voxels verbleibt, und seine Restenergie zu dessen (Energie-) Dosis beiträgt.

Um einen Teilbereich eines Voxelmodells („Originalmodell“) durch ein Teilvoxelmodell höherer Auflösung zu ersetzen, ist der Usercode so verändert worden, dass er zwei Voxelmodelle beinhaltet, zwischen denen während der Verfolgung einer Teilchengeschichte geeignet hin- und her geschaltet wird. Der Transport innerhalb eines Modells läuft dabei wie vorher ab. Im Originalmodell wird der Bereich bestimmt, der vom Teilmodell überdeckt wird. Die Voxel in diesem Bereich werden eigens markiert. Tritt ein Teilchen in ein solches Voxel ein, so wird auf das Teilmodell umgeschaltet, d. h. Voxelgröße, Organ und Medium des Teilmodells werden verwendet. Um zu bestimmen, ob ein Teilchen das Teilmodell wieder verlässt, wird das Teilmodell mit einer speziell markierten Voxelreihe umgeben. Beim Eintreten eines Teilchens in die markierten Voxel wird wieder auf das Originalmodell umgeschaltet.

Als zusätzliches Element der Simulationsrechnungen wurde ein digitales Bildaufzeichnungssystem betrachtet. Dafür wird eine Teilchengeschichte nicht beim Verlassen des Körpers beendet, sondern sie wird bis zum Auftreffen auf eine Detektorebene weiterverfolgt. Diese Detektorebene ist in Bildelemente unterteilt, deren Abmessung bei der Mammographie höchstens 100 μm und bei Thoraxaufnahmen höchstens 200 μm betragen. Der Detektor wurde als "idealer" Detektor simuliert, d. h. mit einer einfachen Beziehung zwischen Dosis und Detektoransprechverhalten, ohne besondere Detektoreigenschaften zu berücksichtigen.

Für die Monte-Carlo-Modellierung der Bildgebung mit einem realistischen Streustrahlenraster wurde für EGSnc ein Usercode entwickelt, der ein solches Raster ohne die Verwendung quaderförmiger Voxel implementiert. Der Code beschreibt ein ebenes, periodisches Raster aus Lamellen mit Zwischenschichten, dessen Lamellen in einer Richtung parallel und in der anderen auf die Strahlenquelle fokussiert sind. Die Dicken von Lamellen und Zwischenschichten, die Dicke des Gitters in Strahlrichtung sowie die Materialien sind frei wählbar. Als Basis wurde ein in der Mammographie typisches Modell gewählt, das 16 μm dicke Bleilamellen und 300 μm dicke Zwischenschichten aus Kohlenstoff bei einer Gesamtdicke von 1,5 mm, d. h. einem Schachtverhältnis von 5:1, verwendet. Durch zufallsgewählte Positionierung senkrecht zu den Lamellen für jedes Primärphoton kann eine Bewegung des Gitters simuliert werden, die in üblichen Geräten verhindert, dass das Gitter in den erzeugten Bildern sichtbar wird. Das Programm wurde in einer Simulation mit einem einfachen Phantom getestet und mit dem physikalisch erwarteten Verhalten verglichen. Die Ergebnisse decken sich mit den Abschätzungen, die

ohne Zuhilfenahme einer Monte-Carlo-Simulation ermittelt werden können, z. B. der erwarteten Strahlschwächung in den Materialien, so dass eine korrekte Funktion des Programms anzunehmen ist. Der Programmcode des Rasters kann in eine Bildgebungssimulation integriert werden, indem er für jedes Teilchen ausgeführt wird, nachdem es das Voxelmmodell verlässt und bevor es den Detektionsprozess durchläuft.

Die Bildqualität sollte durch Analyse der Dosisverteilung in der Detektorebene bestimmt werden. Als Zielparаметer wurde das Kontrast-Rauschverhältnis, zunächst integriert über die Frequenzkomponenten, allerdings für mindestens drei Kontrastobjektgrößen, gewählt. Dazu mussten jeweils geeignete Bereiche in der Detektorebene ausgewählt werden, um sowohl den Kontrast von abgebildeten Strukturen zum Hintergrund zu ermitteln als auch das Rauschen in Bereichen, die homogen sein sollten. Gemäß Publikationen zur Detektionsfähigkeit des Auges (insbesondere von Barton) ist bekannt, dass ein Kontrast-Rauschverhältnis von mindestens 3:1 – besser 5:1 – benötigt wird, um Strukturen visuell sicher zu erkennen. Für alle drei Objektgrößen werden die gemessenen Kontrast-Rauschverhältnisse anhand dieser Schwellenwerte bewertet.

4.3 BESTIMMUNG VON DOSIS UND BILDQUALITÄT FÜR THORAXAUFNAHMEN UND MAMMOGRAPHIEN

Die Größenordnung von Photonenzahlen in einer realen Mammographie oder Thoraxaufnahme beträgt schätzungsweise ungefähr 500 Milliarden. Das bedeutet mit den momentan am Helmholtz Zentrum München verfügbaren Rechenkapazitäten eine Rechenzeit von mehreren Wochen pro Simulation einer einzelnen Aufnahme. Aus diesem Grund war die geplante Anzahl der zu simulierenden Variationen der Aufnahmeparameter durch die Rechenzeit beschränkt. Folgende Simulationsrechnungen waren daher geplant:

1. Mammographie: zwei verschiedene Strahlenqualitäten für das weibliche Referenzphantom. Die Strahlenqualitäten sollten sich dabei hinsichtlich des Anodenmaterials unterscheiden.
2. Thoraxaufnahme: eine Strahlenqualität für die beiden Phantome (männliches und weibliches Referenzphantom) mit der jeweils ungefähr gleichen Lungen-Feinstruktur; zusätzlich für eines der beiden Referenzphantome 2-3 weitere Strahlenqualitäten, die sich hinsichtlich Spannung und Filterung unterscheiden.

In allen Fällen sollte hinter dem Phantom ein so genanntes reales Strahlenbild gespeichert werden; so können dann zusätzlich zwei bis drei verschiedene Streustrahlenreduktionsverfahren je Strahlenqualität simuliert werden.

Für diese Aufnahmen sollten jeweils Organdosen und die effektive Dosis sowie die oben genannten Parameter zur Beschreibung der Bildqualität (Kontrast-Rauschverhältnis) berechnet werden.

Da zum Projektende noch keine qualitativ zufriedenstellenden Hybrid-Voxelsysteme vorlagen, konnte dieses Arbeitspaket innerhalb der Projektlaufzeit nicht mehr bearbeitet werden.

5. ERGEBNISSE

Um zu überprüfen, ob mit dem dargestellten Verfahren eine realitätsnahe Bildgebung simuliert werden kann, wurden zwei Fälle untersucht, eine Mammographie und eine Lungenaufnahme.

5.1 MAMMOGRAPHIE

Als virtuelles Modell der weiblichen Brust diente ein bereits früher segmentierter Datensatz einer CT-Aufnahme eines Mammapräparats mit einer Auflösung von $0,470703 \times 0,470703 \times 1,0 \text{ mm}^3$. Dieses wurde mit Hilfe einer IDL-Routine an die Stelle der linken Brust des weiblichen ICRP/ICRU (International Commission on Radiation Units and Measurement)-Referenzmodells positioniert. Beim Anpassen des Brustmodells an das ICRP/ICRU-Modell hat sich gezeigt, dass die Ausrichtung der beiden Modelle nicht übereinstimmt. Um eine optimale Anpassung zu erreichen, hätte das Brustmodell um $10\text{-}20^\circ$ gedreht werden müssen. Für diese Testrechnung war eine optimale Anpassung jedoch nicht zwingend, so dass die Orientierung der beiden Modelle beibehalten wurde und das Brustmodell um einen Faktor 2 verkleinert wurde, d. h. die Voxelgröße des Mammaphantoms betrug in der Simulation $0,23535 \times 0,23535 \times 0,5 \text{ mm}^3$. Damit ist seine Auflösung näher an der Auflösung des endgültigen Brustmodells, und es lässt sich besser abschätzen, welchen Einfluss die hochauflösende Brust auf die simulierten Bilder hat.

Es wurde eine Mammographie mit einer Röhrenspannung von 27 kV und eine Filterung von 0,03 mm Molybdän und 0,025 mm Rhodium simuliert. Die Röhre wurde zentral über der Brust positioniert, wobei der Abstand zum Brustzentrum 40 cm betrug. Der Detektor lag 4 cm von der Brustmitte entfernt, d. h. ca. 2,5 mm unterhalb

der Brust. Es wurde ein Detektor mit einer Auflösung von $200 \times 200 \mu\text{m}^3$ und einer Größe von 680×166 Pixel angenommen. Um ein Bild in akzeptabler Rechenzeit, aber mit möglichst niedrigem Rauschen, zu simulieren, wurden die Geschichten von 9 Milliarden Photonen verfolgt. Es wurden 2 Simulationen durchgeführt, eine mit der originalen Brust des ICRP/ICRU-Referenzmodells, und eine mit dem hochaufgelösten Mammamodell. Die resultierenden Projektionsbilder zeigten deutlich, dass das vorgestellte Verfahren zur Implementierung eines hochaufgelösten Teilmodells funktioniert. Die erhebliche Verbesserung der Auflösung beim Verwenden des Mammamodells gegenüber der originalen Brust war deutlich erkennbar. Bei geeigneter Fensterung der Graustufen war außerdem die Feinstruktur im Mammamodell ersichtlich.

5.2 LUNGENAUFNAHME

Für den Test der Simulation einer Lungenaufnahme wurde nur ein Teilbereich des hochaufgelösten Lungenmodells verwendet. Dieses wurde mit Hilfe der IDL-Routine in das Modell Klara eingepasst.

Das Lungenpräparat wurde mit einer Auflösung von $114 \times 114 \times 114 \mu\text{m}^3$ gescannt. Wie bereits erläutert, wurde für die ersten Tests nur ein Teil des gesamten Modells verwendet. Um unnötigen CPU (Central Processing Unit)-Aufwand beim Einpassen des Modells in Klara und der anschließenden Simulation zu vermeiden, wurde außerdem die Auflösung des Lungenmodells um einen Faktor 4 in jede Richtung verschlechtert. Die Form des Lungenpräparats stimmt nur sehr grob mit der der originalen Lunge von Klara überein. Mittels geeigneter Programme erscheint es aber möglich, die Form des Lungenmodells durch Verzerren und Drehen besser an Klaras Lunge anzupassen. Vorerst wurde auf diese Schritte jedoch verzichtet, weil es in erster Linie darum ging, zu zeigen, ob eine Bildgebungssimulation mit der Kombination einer hochaufgelösten Lunge und einem Menschmodell niedrigerer Auflösung zielführend ist. Die einzigen Anpassungen, die durchgeführt wurden, waren Skalierungen in der transversalen Ebene, die letztlich zu einer Voxelgröße von $434 \times 274 \times 457 \mu\text{m}^3$ geführt haben.

Mit dem hybriden Modell wurde eine Thorax-Aufnahme mit einer Röhrenspannung von 75 kV und einer Filtrierung von 2 mm Aluminium simuliert. Der Fokus-Detektor-Abstand betrug 75 cm, wobei sich der Detektor ca. 15 cm vor dem Modell befand. Die Detektorgröße betrug 900×800 Pixel, wobei ein Pixel eine Größe von $500 \times 500 \mu\text{m}^3$ besaß. Bei der Simulation wurden 24 Milliarden Photonen verfolgt.

In der simulierten Lungenaufnahme waren Wirbelsäule und Rippen deutlich zu erkennen, aber auch die grobe Voxelstruktur von Klara. Es konnte gezeigt werden, dass das angewendete Verfahren zur Kombination zweier Voxelmodelle auch dann funktioniert, wenn ein Modell komplett in das andere eingebettet ist. Allerdings wurde auch deutlich ersichtlich, dass die grob-aufgelösten Strukturen des Menschmodells die feinen Strukturen des Lungenmodells überlagern und es so unmöglich ist, verlässliche Bildqualitätsparameter zu bestimmen.

6. UMSETZUNG DER ERGEBNISSE

Wenn die innerhalb dieser Pilotstudie aufgetretenen Probleme gelöst sind, können die Ergebnisse dieser Studie dazu verwendet werden, in einem weiteren Vorhaben Aufnahmeparameter für häufige Untersuchungsarten wie Thoraxaufnahmen und Mammographie zu optimieren und so dazu beizutragen, die medizinische Strahlenbelastung durch diese Untersuchungsverfahren zu senken.

Thema			
Machbarkeitsstudie zur Erhebung der Medizinischen Strahlenexposition in der Helmholtzkohorte (jetzt Nationale Kohorte)			
Subject			
<i>Feasibility study for the assessment of medical ionising radiation exposure in the Helmholtz Cohort (German National Cohort)</i>			
Kennzeichen 3610S40001	Beginn 01.11.2010	Ende 31.10.2012	Fördermittel EUR 191.852,-
Forschungs- / Auftragnehmer			
Leibniz - Institut für Präventionsforschung und Epidemiologie - BIPS GmbH			
Projektleitung Prof Dr. H. Zeeb	Fachbetreuung BfS Dr. A. Tschense / AG-SG 1.3	verantwortlich für den Text Prof Dr. H. Zeeb	

1. ZIELSETZUNG

Das Hauptziel der Machbarkeitsstudie war die Entwicklung praktikabler und valider Erhebungsinstrumente für die Ermittlung individueller Daten zur medizinischen Strahlenexposition im Rahmen der Nationalen Kohorte. Das Projekt bestand aus den unten aufgelisteten vier Arbeitsschritten, die nacheinander einzeln dargestellt werden.

2. EINZELZIELSETZUNG

Die Arbeitspakete umfassten die nachfolgend genannten Einzelziele:

2.1 ENTWICKLUNG PRAKTIKABLER ERHEBUNGSINSTRUMENTE FÜR EINE VALIDE ERHEBUNG DER MEDIZINISCHEN STRAHLENEXPOSITION IN DER NATIONALEN KOHORTE (AP 1)

- Systematische Recherche und Zusammenstellung validierter Erhebungsinstrumente zur Erfassung der medizinischen Strahlenexposition;
- Bewertung der Erhebungsinstrumente unter den Gesichtspunkten der Anwendbarkeit und Qualität sowie der Fehlerquellen und möglicher Gegenmaßnahmen;
- Entwicklung geeigneter Instrumente für eine valide Expositionserhebung;
- Durchführung eines Pilottestes.

2.2 ERPROBUNG DER IN AP 1 ENTWICKELTEN INSTRUMENTARIEN IN EINER PILOTPHASE AN EINER STICHPROBE VON ETWA 100 PROBANDEN DER NATIONALEN KOHORTE (AP 2)

- Kontaktaufnahme mit Studienzentren, Auswahl einer Studienkohorte;
- Einsatz und Erprobung des/der Instrumente an ca. 100 Probanden;
- Erstellung einer Datenbank;
- Prüfung, Bewertung, Diskussion von Fehlerquellen.

2.3 ABSCHÄTZUNG DER EFFEKTIVEN DOSIS (BZW. ORGANDOSIS) ANHAND DER IN AP 2 ERHOBENEN DATEN (AP 3)

- Methodenentwicklung/Prüfung vorhandener Methoden zur Abschätzung der medizinischen Strahlendosis aus Angaben zur Exposition bei verschiedenen Untersuchungsarten gemäß Erhebungsprotokoll (AP 1/2);
- Anwendung dieser Dosis-schätzungsmethodik auf die in AP 2 erhobenen Daten;
- Prüfung, Bewertung, Diskussion von Fehlerquellen und Unsicherheiten.

2.4 ABSCHÄTZUNG DES AUFWANDS UND DER KOSTEN FÜR EINE ERHEBUNG IM RAHMEN DER HAUPTSTUDIE DER NATIONALEN KOHORTE (AP 4)

- Abschätzung des Aufwands und der Kosten.

3. METHODIK

Die Recherche zur Entwicklung des Erhebungsinstrumentes umfasste folgende methodische Ansätze (AP 1):

- Literaturreview;
- Sichtung von Fragebögen früherer nationaler und internationaler strahlenepidemiologischer Studien;
- Erstellung eines Fragebogens zur Erhebung der lebenslangen medizinischen Strahlenexposition für den Einsatz in der Machbarkeitsstudie.

Die Methodik in AP 2 ist ein persönliches Interview durch geschulte Interviewer/innen im Rahmen der Basisuntersuchung für die Nationale Kohorte.

In AP 3 wurde anhand der in AP 2 erhobenen retrospektiven und prospektiven Daten eine adäquate Methode zur Abschätzung der Organdosis von Röntgen- und CT (Computertomographie)-Untersuchungen entwickelt und angewendet.

In AP 4 wurden anhand der in AP 1-3 erarbeiteten Informationen und Methoden sowie anhand weiterer Überlegungen zu alternativen Szenarien der personelle und zeitliche Aufwand sowie entsprechende Mengen und Preise für eine Erhebung der medizinischen Strahlenexposition in der Gesamtkohorte bzw. einer größeren Teilkohorte geschätzt.

4. DURCHFÜHRUNG

4.1 ENTWICKLUNG GEEIGNETER INSTRUMENTE FÜR DIE EXPOSITIONSERHEBUNG

Auf der Grundlage von Fragebögen, die in strahlenepidemiologischen Studien bereits eingesetzt wurden, wurde ein neues Instrument für die Erhebung der diagnostischen Strahlung in der Nationalen Kohorte entwickelt. Für die prospektive Erhebung wurde ein Röntgenpass entwickelt, auf dem über übliche Angaben hinaus expositionsrelevante Informationen (z. B. das Dosisflächenprodukt) eingetragen werden können.

4.2 AUSWAHL EINER STUDIENKOHORTE

Die Rekrutierungsorte des Rekrutierungszentrums Nord-West (Bremen, Hamburg und Hannover/Braunschweig) wurden gebeten, den in AP 1 entwickelten Fragebogen zur medizinischen Strahlenexposition im Rahmen ihrer Machbarkeitsstudien einzusetzen. Die Teilnehmer für die Machbarkeitsstudie wurden anhand einer nach Alter und Geschlecht stratifizierten Zufallsstichprobe der Einwohnermeldeämter in Bremen und Hamburg gezogen. Hannover/Braunschweig konnte wegen späten Rekrutierungsbeginns nicht teilnehmen.

4.3 EINSATZ UND ERPROBUNG DES/DER INSTRUMENTE

Der in 4.1 entwickelte Fragebogen wurde im Institut für Medizinische Biometrie, Epidemiologie und Informatik (IMBEI) bei 12 freiwilligen Personen auf sprachliche Verständlichkeit, zeitliche Dauer des Interviews und logische Konsistenz der Filterführung getestet.

Vor der Durchführung der Machbarkeitsstudie wurde eine SOP (Standard Operating Procedure) für den Einsatz des Fragebogens entwickelt, anhand derer eine Schulung der Interviewerinnen in Bremen durchgeführt wurde.

4.3.1 Retrospektive Erhebung

Der in AP 1 entwickelte Fragebogen wurde bei alle Teilnehmer/innen in Bremen und Hamburg im Rahmen der Basisbefragung der Machbarkeitsstudien für die Nationale Kohorte eingesetzt.

4.3.2 Prospektive Erhebung

Für die prospektive Erhebung wurden nur Teilnehmer aus Bremen gebeten, den für die Machbarkeitsstudie entwickelten Röntgenpass bei zukünftigen radiologischen Untersuchungen in den nächsten 6 Monaten nach

der Befragung dem behandelnden Radiologen/in vorzulegen. Die Teilnehmer bekamen einen an das BIPS adressierten Umschlag für die Rücksendung des Röntgenpasses ausgehändigt.

4.4 ABSCHÄTZUNG DER ORGANDOSIS

Gemäß DIN 6809-3 und den Leitlinien der Bundesärztekammer zur Qualitätssicherung in der Computertomographie bzw. Röntgendiagnostik wurde eine Methode für die Abschätzung der dadurch verursachten mittleren Dosis per Untersuchung entwickelt.

Auf Grund der fehlenden untersuchungsspezifischen Angabe konnte nur eine Methode verwendet werden, in der die Berechnung der Dosisausbeute, der Einfalldosis und der Organdosis anhand von Literaturangaben berechnet werden. Für Röntgen- und interventionelle Untersuchungen wurden Geräteherstellerempfehlungen, Leitlinien der Bundesärztekammer und Konversionsfaktoren aus Drexler u. a. (1993) benutzt, um eine retrospektive Schätzung der Organdosen, z. B. für das Gehirn, die Augenlinse, die Nebennieren, die Lunge und die Speicheldrüse durchzuführen. Bei den CT-Untersuchungen wurden Organdosen mit dem Programm CT-Expo ermittelt.

4.5 KOSTENABSCHÄTZUNG

Zunächst wurden für alle Aufgabenbereiche, die bei der Durchführung der Machbarkeitsstudie bearbeitet wurden, das eingesetzte Personal und dessen Tätigkeiten aufgelistet. In Rücksprache mit den jeweiligen Abteilungen bzw. Arbeitsgruppen wurden die durchschnittlichen zeitlichen Aufwände für jede Tätigkeit, basierend auf den Erfahrungen aus der Machbarkeitsstudie, kalkuliert. Die Personalkosten wurden anhand von Verwaltungsinformationen sowie von Annahmen zu den zeitlichen Aufwänden für eine Studie in einem größeren Kollektiv berechnet.

5. ERGEBNISSE

Insgesamt nahmen 99 Personen aus Bremen und 100 aus Hamburg an der Studie teil (112 Frauen und 87 Männer). Die Geschlechterverteilung in den beiden Orten war ähnlich, die Altersspanne der teilnehmenden Personen beträgt 20-69 Jahre.

5.1 RETROSPEKTIVE ERHEBUNG

Der Fragebogen konnte ohne größere Probleme in das Untersuchungsprogramm integriert werden. Die Median-Dauer der Interviews betrug 12 Minuten (Spanne 2-40), im arithmetischen Mittel 11 Minuten (Standardabweichung 5 Minuten). Alle Studienteilnehmer gaben an, jemals radiologisch untersucht worden zu sein, wobei am häufigsten die Zähne ($n = 191$), obere ($n = 124$) sowie untere Extremitäten ($n = 121$) und der Brustraum ($n = 117$) untersucht wurden (Abbildungen 1 und 2). 45% der Studienteilnehmer ($n = 90$) hatten jemals eine CT-Aufnahme (Abbildungen 3 und 4). Am häufigsten wurde eine CT des Schädels ($n = 42$) genannt. Grundsätzlich wussten alle Teilnehmer, ob sie Röntgenuntersuchungen ohne Kontrastmittel, interventionelle Radiologie und Radioiod- und Strahlentherapie jemals gehabt hatten oder nicht. Nach Angaben der Interviewerinnen hatten manche Teilnehmer Schwierigkeiten, sich an Untersuchungsangaben, insbesondere die Zeitpunkte bzw. Jahre der Untersuchungen, zu erinnern.

In der Kategorie ‚andere‘ innerhalb der Abbildungen sind Untersuchungen, die im Fragebogen nicht aufgelistet waren, aber von den Teilnehmern genannt wurden (wie Fuß, Genitalregion, Kiefer, Niere, Nase oder Nasennebenhöhlen).

5.2 PROSPEKTIVE ERHEBUNG

Insgesamt 98 Teilnehmer aus Bremen nahmen den Röntgenpass an. Nach 6 Monaten wurden 55 (56%) Röntgenpässe an das BIPS zurückgeschickt. Von diesen enthielten 13 (23,6%) entsprechende Angaben zu radiologischen Untersuchungen.

5.3 ABSCHÄTZUNG DER ORGANDOSIS

Bei den Zahnuntersuchungen wurde eine mittlere Dosis per Untersuchung von $4,8 \mu\text{Sv}$ ermittelt, hierbei entfielen 60% der Gesamtdosis auf das Knochenmark im Kiefer und 20% der Gesamtdosis auf die Schilddrüse. Eine mittlere Dosis von $0,6 \text{ mSv}$ wurde bei den Brustraumuntersuchungen ermittelt, mit einer Organdosis von jeweils $0,11 \text{ mSv}$ für die Nebennieren und die Lunge (Tabelle 1). Knapp die Hälfte (45%) aller Studienteilnehmer hatte jemals eine CT-Untersuchung. Am häufigsten wurden CT-Aufnahmen des Schädels mit einer mitt-

leren Gesamtdosis von 52,9 mSv durchgeführt; 16,9 mSv entfielen auf das Gehirn und 22,2 mSv auf die Augenlinsen (Tabelle 1). Unsicherheitsquellen wurden aufgeführt und diskutiert.

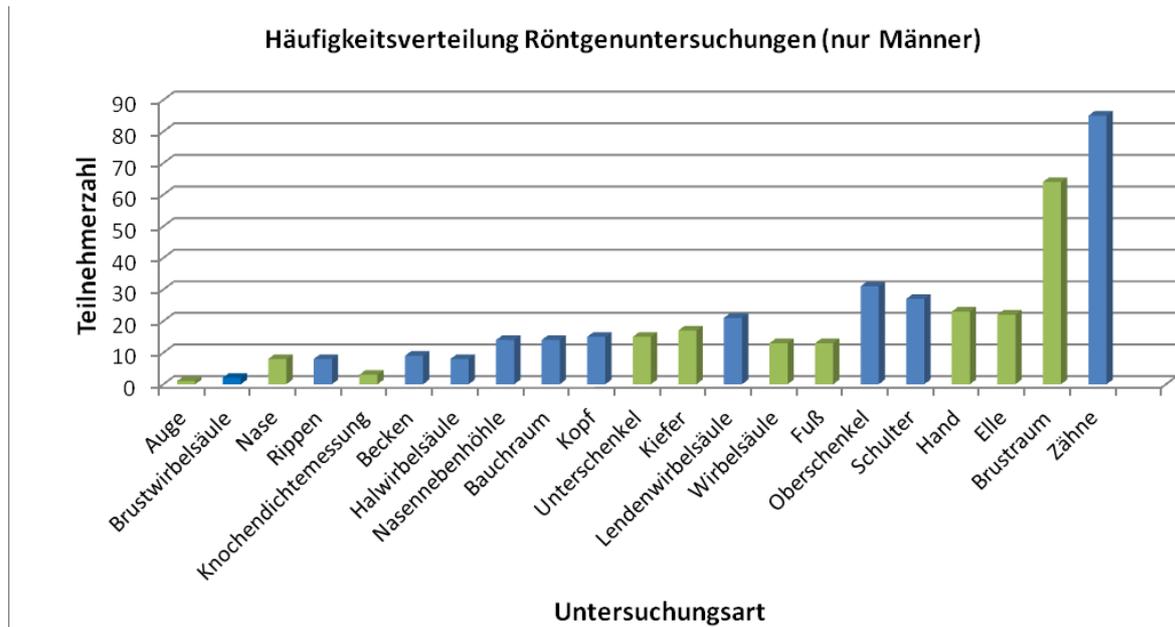


Abbildung 1: Häufigkeitsverteilung selbstberichteter Röntgenuntersuchungen bei Männern. Die Untersuchungsarten, für die eine Dosisberechnung durchgeführt wurde, sind blau markiert

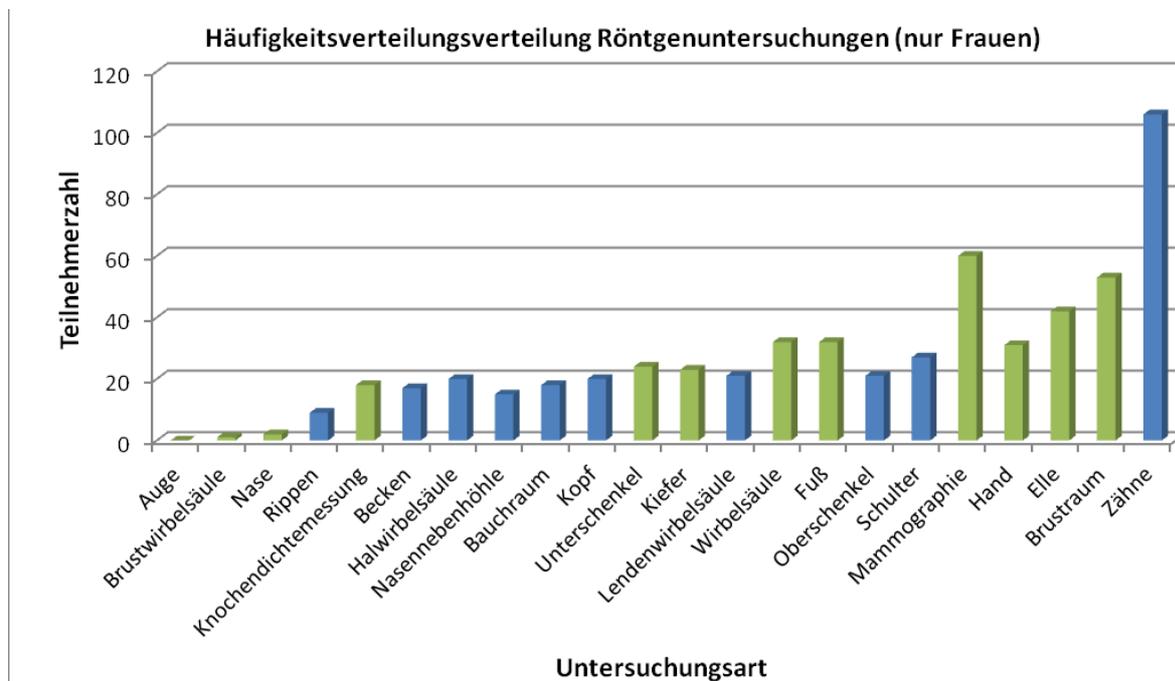


Abbildung 2: Häufigkeitsverteilung selbstberichteter Röntgenuntersuchungen bei Frauen. Die Untersuchungsarten, für die eine Dosisberechnung durchgeführt wurde, sind blau markiert

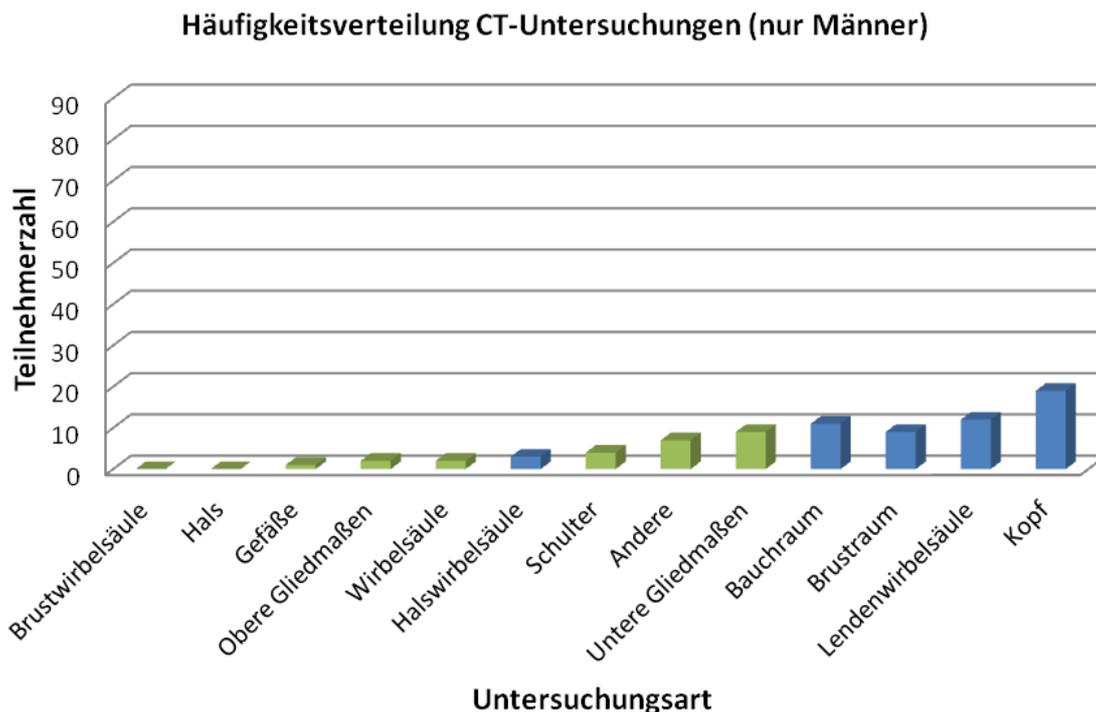


Abbildung 3:
Häufigkeitsverteilung selbstberichteter CT-Untersuchungen bei Männern. Die Untersuchungsarten, für die eine Dosisberechnung durchgeführt wurde, sind blau markiert

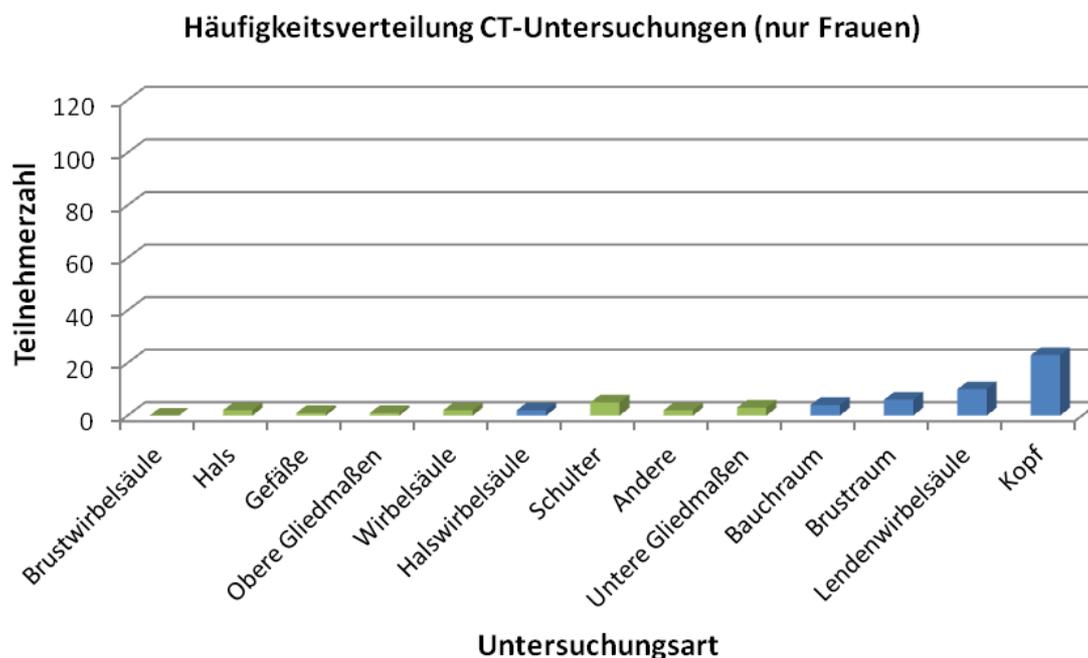


Abbildung 4:
Häufigkeitsverteilung selbstberichteter CT-Untersuchungen bei Frauen. Die Untersuchungsarten, für die eine Dosisberechnung durchgeführt wurde, sind blau markiert

Tabelle 1:
Organdosis-Zuordnung bei 5 Röntgen- bzw. CT-Untersuchungsarten

Untersuchungstyp		Organdosis (mSv)						
		Gehirn	Augenlinse	Schilddrüse	Lunge	Magenwand	Kolon	Rotes Knochenmark
Kopf	Röntgen	0,23	1,57	1,15	0,01	0,01	0,03	0,03
	CT	16,90	22,20	0,50	0,00	0,00	0,00	2,10
Brustraum	Röntgen	0,00	0,00	0,02	0,11	0,02	0,00	0,02
	CT	0,00	0,00	0,30	2,50	0,10	0,00	0,50
Bauchraum	Röntgen	0,01	0,01	0,01	0,01	0,61	0,91	0,06
	CT	0,00	0,00	0,00	1,30	8,70	16,30	3,90
HWS (Halswirbelsäule)	Röntgen	0,01	0,33	0,27	0,00	0,00	0,01	0,00
	CT	0,20	0,10	17,40	0,30	0,00	0,00	0,40
LWS (Lendenwirbelsäule)	Röntgen	0,02	0,02	0,02	0,02	0,16	0,47	0,02
	CT	0,00	0,00	0,00	0,10	3,90	9,40	1,10

5.4 KOSTENABSCHÄTZUNG

Für die retrospektive Erhebung der medizinischen Strahlenexposition sind zwei Szenarien möglich: computergestütztes Interview CAPI (Szenario 1) und Interview mit der Papierversion des Fragebogens (Szenario 2). Eine Schätzung der Gesamtpersonal- und Sachkosten (Netto) auf der Basis der Erfahrungen in dieser Machbarkeitsstudie beläuft sich für 10 000 Personen bei Szenario 1 auf ca. 143 000 Euro und bei Szenario 2 auf ca. 218 000 Euro.

Die prospektive Erhebung der medizinischen Strahlenexposition könnte durch den Einsatz des Röntgenpasses, ein Record-linkage mit Krankenkassendaten oder per regelmäßiger (z. B. telefonischer) Nacherhebung im Rahmen der Nationalen Kohorte erfolgen. Der Einsatz eines Internet-basierten Fragebogens ist zu erwägen.

6. UMSETZUNG DER ERGEBNISSE

Derzeit liegen keine repräsentativen Zahlen zur individuellen kumulativen Dosis infolge medizinisch induzierter Strahlenanwendungen in Deutschland vor. Die Nationale Kohorte liefert die einzigartige Möglichkeit, individuelle medizinische Strahlenanwendungen in einer langfristig und groß angelegten Studie zu erheben und zu bewerten.

Die Machbarkeitsstudie hat gezeigt, dass eine grobe Dosisabschätzung der retrospektiven medizinischen Strahlenanwendungen möglich ist, diese aber teilweise mit großen Unsicherheiten verbunden ist. Für die prospektive Erhebung kann jedoch eine deutlich verbesserte Quantifizierung erwartet werden. Da die Kosten für den Aufbau und die notwendigen Basiserhebungen der Nationalen Kohorte vom BMBF (Bundesministerium für Bildung und Forschung) und Helmholtzzentrum getragen werden, reduzieren sich die Kosten für eine Hauptstudie der Erhebung der medizinischen Strahlenexposition innerhalb der Nationalen Kohorte. Zudem können die in der Machbarkeitsstudie entwickelten Instrumentarien (Fragebogen, Röntgenpass) genutzt werden.

Thema			
Risiko für angeborene Entwicklungsfelddefekte bei Kindern von Mitarbeiterinnen im medizinisch-diagnostischen Bereich, die im Rahmen ihrer beruflichen Tätigkeit mit ionisierender Strahlung arbeiten			
Subject			
<i>Risk for congenital anomalies in the offspring of women occupationally exposed to ionising radiation in the medical-diagnostic field</i>			
Kennzeichen 3610S40004	Beginn 01.03.2011	Ende 31.12.2012	Fördermittel EUR 197.159,-
Forschungs- / Auftragnehmer Geburtenregister Mainzer Modell, Zentrum für Kinder- und Jugendmedizin der Universitätsmedizin Mainz			
Projektleitung PD Dr. A. Queißer-Wahrendorf	Fachbetreuung BfS Dr. A. Dehos / AG-SG 1.4	verantwortlich für den Text Dr. A. Wiesel / PD Dr. A. Queißer-Wahrendorf Dr. A. Dehos	

1. ZIELSETZUNG

In einer prospektiven Studie sollte überprüft werden, ob Kinder von Frauen, die im Rahmen ihrer medizinischen Tätigkeit im strahlenschutzüberwachten Bereich arbeiten (ionisierende Strahlung, Tragen eines Dosimeters), eine im Vergleich zum nicht exponierten Kollektiv erhöhte Fehlbildungsprävalenz aufweisen. Das vorliegende Projekt untersuchte die Machbarkeit eines entsprechenden Forschungsvorhabens.

2. EINZELZIELSETZUNG

- Überprüfung der Vollständigkeit / Vollzähligkeit der Datenlage zur Beantwortung der logistischen Kernfragen des Forschungsvorhabens (Zielgruppenidentifizierung, Anschreibe-Logistik, Teilnehmerrate, Kooperation der Zielgruppe), Dokumentation des Vorliegens ausreichender Angaben des beim BfS geführten Strahlenschutzregisters zur Ermittlung der notwendigen Daten (Adressen, Dosis, etc.), Durchführung einer umfassenden „Non-Responder“ Analyse.
- Darstellung der Möglichkeit der Erhebung einer adäquaten Vergleichskohorte mit Daten zur Strahlenexposition im Geburtenregister Mainzer Modell.
- Überprüfen eines alternativen Rekrutierungswegs.
- Bewertung, ob ein Übergang der Machbarkeitsstudie in die Hauptstudie möglich ist.
- Ergänzung des wissenschaftlichen Sachstandes.

3. METHODIK

Diese Machbarkeitsstudie diente dazu, die logistische Umsetzbarkeit für eine Hauptstudie zu überprüfen und die Vorgaben für das Studiendesign dieser Hauptstudie zu präzisieren, auch um die Powerberechnungen adäquat durchführen zu können. Die ausführliche Literaturrecherche erfolgte nach den üblichen Parametern der „Good Epidemiological Practice“.

3.1 ROUTINEANGABEN DES STRAHLENSCHUTZREGISTERS UND LOGISTISCHE KERNFRAGEN

Die Angaben und Daten des Strahlenschutzregisters wurden überprüft, ob sie sowohl für die Rekrutierung der potenziellen Teilnehmerinnen als auch für die Abschätzung der Strahlenexposition der Mütter verwertbar sind. Es sollten die für die Machbarkeit einer möglichen Hauptstudie wichtigen Fragen, wie z. B. Erreichbarkeit und Kooperationsbereitschaft der potenziellen Teilnehmerinnen, geklärt werden.

Infolge der unerwartet niedrigen Teilnehmerate nach dem ersten Anschreiben wurde nach erneuter datenschutzrechtlicher Bewertung eine eingehende computer-assistierte Telefonrecherche zur Nachverfolgung der Non-Responder durchgeführt.

3.2 ERHEBUNG DER VERGLEICHSKOHORTE

In der zeitgleich laufenden Erhebung des Geburtenregisters Mainzer Modell in der Frauenklinik der Universitätsmedizin Mainz waren Fragen (freiwillige Angabe) zur möglichen Strahlenbelastung implementiert.

3.3 PRÜFUNG EINES ALTERNATIVEN REKRUTIERUNGSWEGES

Wegen der niedrigen Teilnehmerate beim Anschreiben der möglichen Teilnehmerinnen über das Strahlenschutzregister wurde ein alternativer Rekrutierungsweg geprüft. Dafür wurden in einer großen Geburtsklinik in der Nähe der Universität Mainz die zur Geburt angemeldeten Schwangeren um Informationen hinsichtlich einer Berufstätigkeit im medizinischen Bereich mit potenzieller Strahlenbelastung und gegebenenfalls um die Bereitschaft zur Teilnahme an einer Studie gebeten.

3.4 EMPFEHLUNGEN FÜR EINE MÖGLICHE HAUPTSTUDIE

Aus den Ergebnissen der Machbarkeitsstudie werden Empfehlungen für eine mögliche Hauptstudie abgeleitet.

4. DURCHFÜHRUNG

4.1 ROUTINEANGABEN DES STRAHLENSCHUTZREGISTERS UND LOGISTISCHE KERNFRAGEN

Für eine vorab definierte Region wurden aus dem im BFS geführten Strahlenschutzregisters 792 Frauen im Alter von 18-45 Jahren ausgesucht. Diese wurden an ihrem Arbeitsplatz persönlich über das Strahlenschutzregister angeschrieben. Sie wurden über die geplante Studie informiert und um Teilnahme gebeten. Die Zustimmung zur Teilnahme beinhaltete auch das Einverständnis zur Verwendung der vom Strahlenschutzregister dokumentierten Monatsdosen in individualisierter Form. Außerdem wurden die Teilnehmerinnen gebeten, einige allgemeine Fragen (z. B. zu einer bestehenden Schwangerschaft und nach der ausgeübten Berufstätigkeit) zu beantworten. Die zurückgesandten Unterlagen wurden in der Studienzentrale erfasst und digitalisiert. Nach Mitteilung der Geburt eines Kindes durch eine Studienteilnehmerin wurde durch den Studienpädiater ein Termin zur standardisierten Untersuchung (nach dem standardisierten Verfahren, das im Geburtenregister Mainzer Modell angewandt wird) am Zentrum für Kinder- und Jugendmedizin der Universitätsmedizin Mainz vereinbart. Bei diesem Vorstellungstermin wurde das Kind klinisch/sonographisch untersucht und es wurden die Daten aus dem Mutterpass sowie dem gelbem Vorsorge-Untersuchungsheft des Kindes erhoben. Außerdem machte die Mutter Angaben zu vorausgegangenen Expositionen gegenüber ionisierender Strahlung und zu Anzahl und Ergebnis („Outcome“) vorausgegangener Schwangerschaften.

4.2 ERHEBUNG DER VERGLEICHSKOHORTE

Die Befragung der Mütter der Vergleichsgruppe aus dem Geburtenregister Mainzer Modell wurde den Hebammen der Universitätsfrauenklinik Mainz übertragen. Sie konnte dort reibungslos und planmäßig durchgeführt werden. Alle werdenden Mütter, die sich zur Geburt in der Universitätsfrauenklinik Mainz angemeldet hatten, wurden befragt.

4.3 NON-RESPONDERANALYSE DER BERUFSKOHORTE

Im September 2012 wurde eine eingehende, computer-assistierte telefonische Nachverfolgung und differenzierte Einteilung der Non-Responder (n=425) durchgeführt.

4.4 PRÜFUNG EINES ALTERNATIVEN REKRUTIERUNGSWEGES

Die Prüfung eines alternativen Rekrutierungsweges fand von Oktober 2012 bis Ende Januar 2013 in einer Klinik in Wiesbaden statt. Nach Zustimmung des geburtshilflichen Klinikchefs wurde das medizinische Fachpersonal in einem Einführungsseminar über die Ziele und die Aufgabenstellung des bestehenden Forschungsprojekts, die genauen Aufgaben und den damit verbundenen Arbeitsaufwand aufgeklärt. Eine entsprechende finanzielle Vergütung wurde in Aussicht gestellt. In den Folgemonaten wurde zusätzliche Hilfe angeboten.

5. ERGEBNISSE

5.1 ROUTINEANGABEN DES STRAHLENSCHUTZREGISTERS UND LOGISTISCHE KERNFRAGEN

5.1.1 Anschreiben, Erreichbarkeit und Teilnehmerate

Für die Erstaussendung und Erinnerung wurden insgesamt etwa 1 500 Anschreiben durch das BfS und die Studienzentrale in Mainz versandt.

Ohne Non-Responder-Analyse stellte sich der Anschreibeerfolg wie folgt dar: Es gab 296 (42,2%) aktive Rückmeldungen auf 792 versandte Erstanschreiben, wobei 183 (26,1%) Frauen bereit waren an der Studie teilzunehmen. Da mehr als 50% der Anschreiben ohne jegliche Antwort blieben (Frage der Erreichbarkeit) wurde eine eingehende und ausführliche Non-Responder-Analyse notwendig. Die Angaben konnten entsprechend adjustiert und ergänzt werden (siehe 5.3.).

Bei den Frauen, die sich zur Teilnahme entschlossen hatten, war der Rücklauf bei den Folgeanschreiben gut (ca. 80%). Unter den Teilnehmerinnen waren - verglichen mit den aktiv nicht teilnehmenden Frauen - überproportional viele Frauen im Alter zwischen 25 und 35 Jahren, Schwangere, in einem ärztlichen Beruf tätige Frauen, sowie Angestellte einer Klinik vertreten.

Bei der Erstellung der Ausgangsdatenbank und dem Versand der Anschreiben traten folgende Probleme auf:

- Identifizierung und Aktualität der Arbeitsstätten und potenziellen Teilnehmerinnen: Bei der Auswahl der Arbeitsstätten wurde festgestellt, dass die universitären Einrichtungen fehlten, da sie im Strahlenschutzregister der Rubrik „Forschung und Industrie“ zugeordnet waren. Einundzwanzig Arbeitsstellen konnten postalisch nicht lokalisiert werden, z. B. weil die Praxis/Klinik aufgelöst war.
- Filtergenauigkeit: Die Altersberechnung im Strahlenschutzregister war teilweise ungenau oder falsch, die Zuordnung hinsichtlich des Geschlechts war nicht immer eindeutig.
- Anschreibezeitpunkt: Teilweise erfolgte auf Grund logistischer Probleme die Aussendung in der Urlaubszeit - dies war mit einer niedrigeren Teilnehmerate verbunden (eine Quantifizierung ist nicht möglich).
- Logistik: Auf Grund von Empfehlungen von Seiten des Datenschutzes erfolgte die Koordination der Aussendungen und Rückläufer dezentral.

5.1.2 Outcome

Die ermittelte Fehlbildungsprävalenz der untersuchten Kinder von Dosimeterträgerinnen lag explorativ - verglichen mit der Vergleichsgruppe aus der Geburtskohorte „Mainzer Modell“ - um ein Mehrfaches höher (Abbildung 1). In der Vergleichsgruppe lag die Fehlbildungsprävalenz bei 6,2% (Tabelle 1).

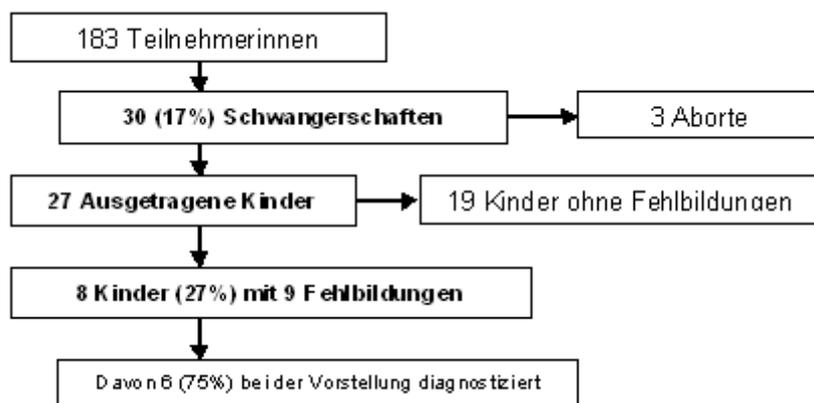


Abbildung 1:
Schwangerschaft und angeborene Fehlbildungen

5.1.3 Ermittlung der Strahlendosis aus den Angaben im Strahlenschutzregister

Die Zuordnung der Dosisangaben aus dem Strahlenschutzregister zu den Teilnehmerinnen war technisch nicht einfach. Die Gründe lagen vor allem in Namensänderungen und unterschiedlichen Schreibweisen der Namen (insbesondere bei Umlauten). Von den 183 Datensätzen der Teilnehmerinnen konnten 10 (5 davon mit einem Kind, das in der Studie eingeschlossen war) erst nach vielfachen Abgleichen zusammengeführt werden.

Bei der Bewertung der potenziellen oder tatsächlichen Strahlenexposition wurde keine Korrelation der Gamma-Dosis aus den Ganzkörperfilmdosimetern, der Gesamtarbeitszeit im überwachten Bereich und/oder der Dosisspitzen mit den angeborenen Fehlbildungen gefunden.

5.2 ERHEBUNG DER VERGLEICHSKOHORTE

Im Studienzeitraum Juli 2011 bis Okt. 2012 wurden für 1.003 der insgesamt 1 920 in der Klinik geplanten Geburten die Zusatzfragebögen ausgefüllt (entsprechend 52%). Davon waren 974 Fragebögen eindeutig zuzuordnen und auswertbar. Diese 974 Mutter-Kind-Paare wurden als Vergleichskohorte verwendet. Mütterliches Alter, Raucherstatus, sozio-ökonomischer Status, präexistenter Diabetes mellitus, künstliche Befruchtung, Erstgebärende, bekannte Fehlbildungen in der Familie waren zwischen den Müttern mit und ohne Zusatzfragebogen gleich verteilt. Lediglich Frauen mit Migrationshintergrund waren in der Vergleichskohorte erwartungsgemäß leicht unterrepräsentiert (30,0 vs. 36,4%), was vermutlich in der deutschen Sprache des Fragebogens begründet ist. Auf Grund des Ausschlusses von Notfällen sind auch die Frühgeborenen in der Vergleichskohorte unterrepräsentiert (10,8 vs. 15,8%).

Tabelle 1 vergleicht die 30 Schwangerschaften bzw. Mütter und Kinder aus der Berufskohorte mit den 974 Müttern und Kindern der befragten Vergleichsgruppe (Normalkollektiv). Auf Grund der niedrigen Zahl von 30 wird auf statistische Signifikanzen verzichtet.

Der Anteil der Raucherinnen ist relativ gering. Der niedrige Anteil an Müttern mit Hypothyreose ist ggf. als Zufallsbefund zu werten. Die Anzahl der Fehlbildungen ist insgesamt als sehr hoch einzuschätzen (siehe Absatz 5.1). Anscheinend unternahmen die Dosimeterträgerinnen weniger Flugreisen. Auch leben diese Frauen häufiger mit einem Partner zusammen, der auch aus einem strahlenexponierten Umfeld kommt.

Tabelle 1:

Berufskohorten (BeKo)-Teilnehmerinnen mit Kind vs. „Normalkollektiv“

	BeKo Teilnehmerinnen n=30° (%)		UFK mit Zusatzfragebogen n=974 (%)	
Mutter / Schwangerschaft				
Rauchen (Ja)	0	-	87	(8,9)
Hypothyreose (Ja)	2	(7)	144	(14,8)
Kind				
Fehlbildungen° (Ja, 8 Kinder mit 9 FB)	8	(27)	60	(6,2)
Zusatzfragen (Ja)				
Haben Sie in den ersten 3 Monaten der Schwangerschaft Flugreisen unternommen?	2	(7)	128	(13,3)
Hat der Vater des Kindes in einem Beruf mit möglicher Strahlenbelastung gearbeitet?	6	(22)	28	(2,8)

° inkl. Deformationen und 3 Aborten (10%)

UFK: Universitätsfrauenklinik Mainz 6/2011 - 10/2013

Die Teilnehmerinnen aus der Berufskohorte haben ihren Arbeitgeber zwischen der 4. und 21. Schwangerschaftswoche (im Mittel in der 9. Schwangerschaftswoche) über die Schwangerschaft informiert.

5.3 NON-RESPONDERANALYSE

Eine Ausgangsliste des Strahlenschutzregisters von insgesamt 792 ausgewählten Dosimeter-Trägerinnen lag den ursprünglichen Anschreiben zu Grunde. Diese Liste enthielt 188 Zielpersonen, die als Mitarbeiterinnen nicht aufgefunden wurden. Somit ist für die Studie von einem Ausgangskollektiv von 604 erreichbaren Ziel-

personen auszugehen (Abbildung 2). Von diesen 604 (100%) Mitarbeiterinnen wurden primär 183 (30,3%) Studienteilnehmerinnen rekrutiert. Eine Teilnahme an der Studie haben 113 (18,7%) Zielpersonen aktiv abgelehnt.

Entsprechend der geringen Rücklaufquote (49%) erfolgte eine ausführliche Non-Responder-Analyse. Dafür wurde im September 2012 - nach erfolgtem datenschutzrechtlichem Einverständnis - im BfS eine Namensliste der potenziellen „Zielpersonen ohne Teilnahme“ (n=610 Datensätze) erstellt. Letztendlich wurden 425 Datensätze (53,7% der Ausgangsliste) in die Non-Responder-Analyse einbezogen.

Aus der Non-Responder-Analyse ergeben sich klare Ansatzpunkte, deren Umsetzung zu einer deutlich höheren Teilnehmerrate in der Hauptstudie führen kann.

Beispiele für weitere Auffälligkeiten und Probleme der Non-Responder-Analyse:

- In 48 Fällen (6,1%) gab es Schwierigkeiten bei der Identifikation der Person. Beispiele: Namensänderung, andere Schreibweise (Umlaute, Bindestriche etc.);
- In 11 Fällen konnte den Nichtteilnehmerinnen kein Name zugeordnet werden, da diese den Nichtteilnehmer-Fragebogen anonym zurückgeschickt hatten;
- Unschärfen:
 - Person bei 2 Arbeitgebern (AG) gemeldet;
 - Person hat doppelt teilgenommen / wurde an 2 Adressen angeschrieben;
 - Personen, die zunächst als Non-Responder registriert wurden, haben doch teilgenommen.

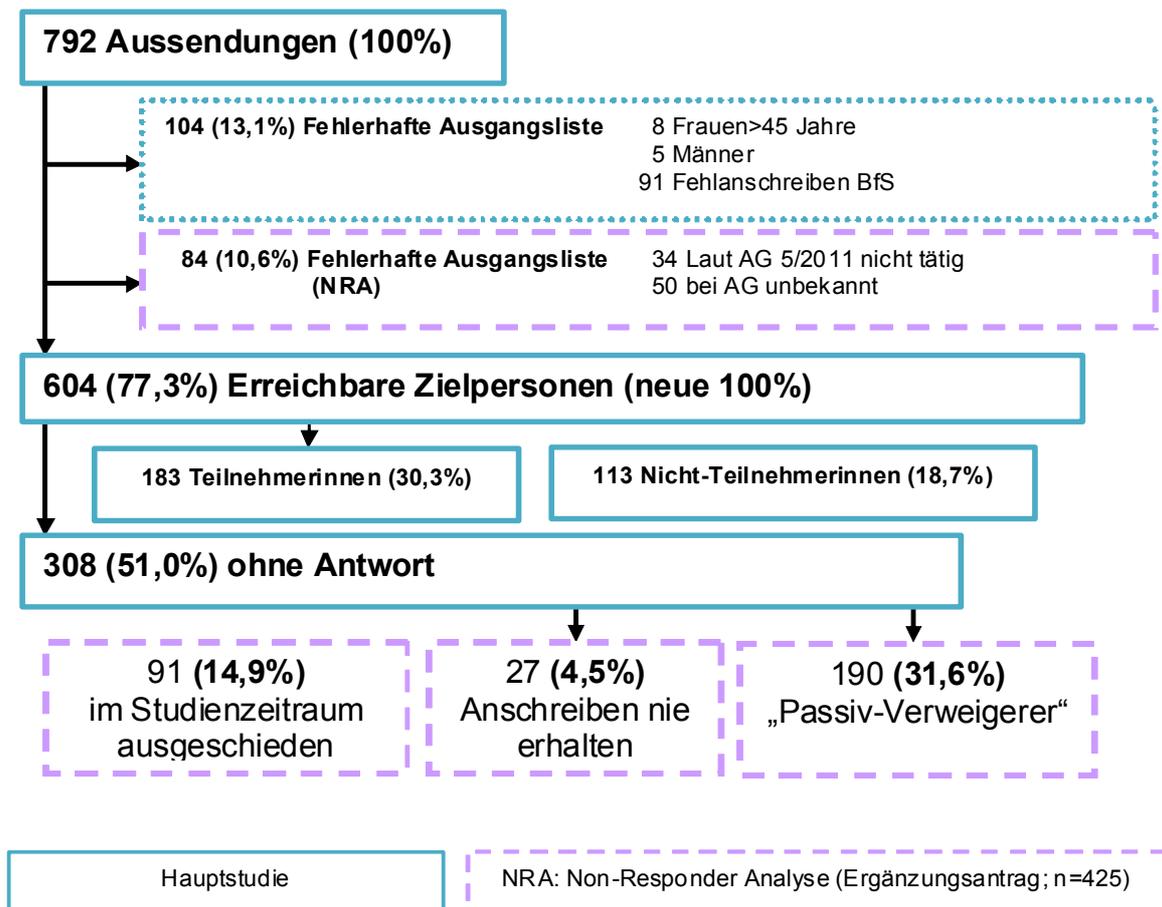


Abbildung 2:
Anschreibelogistik, Rücklauf und Non-Responder Analyse

5.4 ALTERNATIVER REKRUTIERUNGSWEG

Insgesamt wurden die Fragebögen für den alternativen Rekrutierungsweg nur sehr unzureichend ausgefüllt. Das Unterstützungsangebot durch die Studienzentrale wurde nicht in Anspruch genommen. Als Begründung wurde eine sehr hohe Arbeitsbelastung in der Klinik angeführt. In Zeiten extremer Arbeitsverdichtung führt der hier getestete Weg nicht - wie primär angenommen - zu einer verbesserten Teilnahme und Datenqualität. Diese Art der Rekrutierung ist somit in einer Hauptstudie nicht anzustreben.

5.5 DURCHFÜHRUNG EINER HAUPTSTUDIE

Die Machbarkeitsstudie hat ergeben, dass die Durchführung einer Hauptstudie möglich ist. Die notwendigen Voraussetzungen und Änderungen im Design sind im Abschnitt 5.6 beschrieben.

5.6 EMPFEHLUNGEN FÜR DIE HAUPTSTUDIE

Für eine mögliche Hauptstudie ergeben sich folgende essentielle Aussagen und Anpassungen, um valide wissenschaftliche Ergebnisse erzielen zu können:

- Es kann von einer möglichen Teilnehmergebiet von 50% ausgegangen werden. Diese ist erreichbar, wenn die unten aufgeführten Empfehlungen beachtet werden. Auch 60-70% sind möglich, hierzu ist aber die Motivation der potenziellen Teilnehmerinnen zu steigern.
- Alle Listen des BfS sind - nach datenschutzrechtlicher Überprüfung des Prozederes - vorab zu überprüfen und zu aktualisieren. Durch eine Überprüfung der Ausgangsliste vor dem Erstkontakt kann der Aufwand um knapp 25% reduziert werden.
- Durch die persönliche Ansprache durch einen Studienmitarbeiter könnten auch die Zielpersonen erreicht werden, die angeben, nie ein Anschreiben erhalten zu haben (4,5%) oder die im Studienzeitraum nicht oder nicht mehr bei dem entsprechenden Arbeitgeber tätig sind (inkl. Mutterschutz; ca. 15%). Anteilig könnten auch die „Passiv-Verweigerer“ (geschätzt 30%) rekrutiert werden. Außerdem muss ein geeigneter Zeitraum für den Versand der Anschreiben gewählt werden. Damit könnte die Teilnehmergebiet von derzeit 30% auf insgesamt etwa 60% erhöht werden. Eine Teilnehmergebiet von über 70% ist eher unwahrscheinlich.
- Ein prospektiver Ansatz, das heißt eine Rekrutierung der potenziellen Teilnehmerinnen bereits vor oder während einer Schwangerschaft, erscheint als die qualitativ beste und erfolgsversprechendste logistische Möglichkeit.
- Die regelmäßigen, halbjährlichen Wiederholungen der Anschreiben haben sich bewährt.
- Eine Erhebung exponierter Mütter ausschließlich bei der Anmeldung in der Geburtsklinik ist nicht vorteilhaft. Sie erlaubt u. a. keine Einschätzung eventueller Unterschiede bei der Häufigkeit von Aborten.
- Die Landesorganisationen, Klinikleiter und Strahlenschutzbeauftragten sollten vorab ausführlich über die Studie informiert und um Mithilfe gebeten werden. Auch sollten sie deutlich vor Studienbeginn gebeten werden, die biographischen Eckdaten ihrer Mitarbeiter zu aktualisieren und diese an das Strahlenschutzregister weiterzuleiten.
- Eine Vergleichskohorten-Erhebung über die Geburtskohorte im Mainzer Modell ist mit dem überprüften Weg problemlos und valide möglich.

6. UMSETZUNG DER ERGEBNISSE

Die Machbarkeitsstudie hat ergeben, dass die Durchführung der Hauptstudie möglich ist und die Ergebnisse aus der Kohortenstudie in der Umgebung von Kernkraftwerken wurden bestätigt. Es ergab sich allerdings keine Korrelation mit der aus den Dosimetern ermittelten Dosis an Gammastrahlung. Es ist zu überlegen, ob die Ergebnisse die Durchführung einer ausreichend großen Kohortenstudie notwendig machen, um zu prüfen, ob der Befund eines erhöhten Fehlbildungsrisikos bei Kindern von potenziell beruflich strahlenexponierten Müttern im medizinischen Bereich als zufällig einzuschätzen ist. Mit dem Ergebnis dieses Vorhabens wurde die Machbarkeit einer solchen Kohortenstudie gezeigt und das entsprechende Studiendesign entwickelt.

Themenbereich 05
Radioökologie

Subject area 05
Radioecology

Thema			
Vergleichende Betrachtung der probabilistischen/stochastischen und deterministischen Modellierung von Expositionen im Hinblick auf die Belastbarkeit des Modellergebnisses und die Anforderung an die Qualität der Eingangsdaten			
Subject			
<i>Comparative examination of probabilistic/stochastic and deterministic exposure modelling with regard to the reliability of the modelling results and the requirements concerning the quality of input data</i>			
Kennzeichen 3609S50002	Beginn 01.01.2010	Ende 31.03.2012	Fördermittel EUR 170.170 ,-
Forschungs- / Auftragnehmer Brenk Systemplanung GmbH, Aachen			
Projektleitung Dr. R. Barthel	Fachbetreuung BfS Dr. M. Steiner / SW 1.6		verantwortlich für den Text Dr. R. Barthel, Dr. S. Thierfeldt

1. ZIELSETZUNG

Mit dem Forschungsvorhaben sollte geklärt werden, unter welchen Randbedingungen (Fragestellung/Zweck, Expositionssituation, Qualität der Eingangsdaten etc.) den radioökologischen Modellen zur Expositionsbe-
rechnung deterministische bzw. probabilistische Ansätze zugrunde gelegt werden können oder sollten. Für
probabilistische und weitere Ansätze zur Modellierung von Unsicherheiten waren Mindestanforderungen an
die Qualität der Eingangsdaten und methodische Aspekte zu untersuchen sowie die Belastbarkeit dieser An-
sätze im Vergleich zur deterministischen Expositionsmodellierung zu bewerten.

2. EINZELZIELSETZUNG

Wie in anderen gesellschaftlichen Bereichen besteht auch im Strahlenschutz die Notwendigkeit, Bewertungen
und Entscheidungen bei unsicherem Wissen vorzunehmen. Dies betrifft Szenario-, Modell- und Parameter-
unsicherheiten, die zur Analyse und Bewertung möglicher Quellen von Unsicherheiten und ihrer Auswirkun-
gen auf die Expositionsmodellierung hierarchisch geordnet werden können. Der Schwerpunkt des For-
schungsvorhabens lag in der Untersuchung und vergleichenden Bewertung von Methoden zur Berücksichti-
gung von Parameterunsicherheiten durch konservative deterministische Expositionsrechnungen und pro-
babilistische Modellrechnungen, insbesondere Monte-Carlo-Simulationen und BAYES-Verfahren. Zusätzlich
waren alternative Methoden zur Modellierung von Unsicherheiten zu untersuchen. Die Bearbeitung dieser
Thematik erfolgte in drei Arbeitspaketen (AP) mit spezifischen Zielsetzungen.

2.1 AP 1: STAND VON WISSENSCHAFT UND TECHNIK

Im Rahmen des AP 1 sollte der nationale/internationale Stand von Wissenschaft und Technik zur probablis-
tischen/stochastischen Modellierung von Expositionen recherchiert und beschrieben werden. Weitere zur Be-
rücksichtigung von Parameterunsicherheiten angewandte Methoden sollten vergleichend gegenübergestellt
werden.

2.2 AP 2: AUSSAGEKRAFT DER MODELLPROGNOSEN BEI UNSICHEREN EINGANGSDATEN

Im Rahmen des AP 2 sollte die Aussagekraft von Modellprognosen bei unsicheren Eingangsdaten, die mit
Hilfe deterministischer, probabilistischer/stochastischer bzw. auch weiterer Modellierungsansätze erreicht
werden kann, für verschiedene Klassen relevanter Unsicherheiten, Modellierungsansätze, Modellstrukturen,
Fragestellungen und Bezugspersonen untersucht und vergleichend bewertet werden.

2.3 AP 3: ENTSCHEIDUNGSHILFEN ZUR WAHL GEEIGNETER MODELLIERUNGSANSÄTZE

Im Rahmen des AP 3 sollten Entscheidungshilfen/Kriterien erarbeitet werden, nach denen unter gegebenen
Randbedingungen beurteilt werden kann, welchem Modellierungsansatz der Vorzug zu geben ist. Insbeson-
dere waren Kriterien zu Mindestanforderungen an die Qualität der Eingangsdaten zu formulieren, die je nach
Fragestellung zur Anwendung der unterschiedlichen Methoden der Expositionsmodellierung zu erfüllen sind.

3. METHODIK

3.1 AP 1: LITERATURERECHERCHE ZUM STAND VON WISSENSCHAFT UND TECHNIK

Ausgehend von der Einordnung von Expositionsmodellen in Risikoabschätzungen und einer Darstellung mathematischer Strukturen (radio-)ökologischer Expositionsmodelle mit unterschiedlicher Komplexität modellierter Kompartimente des Schadstofftransports wurde zum Stand von Wissenschaft und Technik eine umfassende Recherche zu Methoden der Modellierung aleatorischer (durch die reale Variabilität der Modellparameter bedingter) und epistemischer (durch unzureichendes Wissen über die Modellparameter bedingter) Unsicherheiten sowie ihrer Anwendung für Expositionsrechnungen durchgeführt. Da die Nutzung von probabilistischen Methoden der Expositionsmodellierung im konventionellen Umwelt- und Gesundheitsschutz weit fortgeschritten ist, wurde die Recherche nicht auf radiologische Fragestellungen beschränkt, auch wenn diese bzgl. des Standes der Anwendung im Fokus stehen.

3.2 AP 2: MODELLPROGNOSEN BEI UNSICHEREN EINGANGSDATEN

Zur Anwendung von probabilistischen Ansätzen der Modellierung von Expositionen bei aleatorischen und epistemischen Parameterunsicherheiten wurden Anforderungen an die Qualität der Eingangsdaten abgeleitet und methodische Aspekte der Spezifizierung von Wahrscheinlichkeitsverteilungen, der Berücksichtigung von Abhängigkeiten zwischen unsicheren Verteilungsparametern sowie der probabilistischen bzw. stochastischen Simulation von Prozessen untersucht. Hierzu enthält der Abschlussbericht eine Vielzahl von Beispielen zu methodischen Fragestellungen und praxisrelevanten Expositionsabschätzungen. Der Abschlussbericht wird auf <http://doris.bfs.de> veröffentlicht. Die auf dieser Basis als geeignet eingeschätzten methodischen Ansätze wurden im Hinblick auf Anwendungen für unterschiedliche Modellstrukturen, wie

- algebraische Expositionsmodellstrukturen,
- Modelle mit gewöhnlichen und stochastischen Differentialgleichungen,
- Modelle mit Differentialgleichungssystemen (deterministische sowie stochastische Kompartiment-Modelle),
- Modelle mit partiellen Differentialgleichungen (z. B. deterministische und stochastische Advektions-Dispersion-Gleichungen sowie Random-Walk-Transportmodelle zur Beschreibung der Schadstoffmigration)

mit Methoden der Unsicherheits- und Sensitivitätsanalyse weiter analysiert. Ziel war es, spezielle Anforderungen an die Qualität der Eingangsdaten einzuschätzen sowie vergleichende Bewertungen zur Anwendung deterministischer, probabilistischer, stochastischer und weiterer Ansätze der Ausbreitungs- und Expositionsmodellierung vorzunehmen.

3.3 AP 3: ENTSCHEIDUNGSHILFEN ZUR WAHL GEEIGNETER MODELLIERUNGSANSÄTZE

Für die Auswahl zwischen deterministischen, probabilistischen (bzw. possibilistischen) sowie stochastischen Ansätzen der Modellierung von Strahlenexpositionen wurden verschiedene Kriterien herangezogen. Ihre Relevanz hängt maßgeblich vom Zweck der Expositionsmodellierung für konkrete Expositionssituationen und von der vorhandenen bzw. mit angemessenem Aufwand erreichbaren Qualität der Eingangsdaten ab.

Neben einer generellen Bewertung der Vor- und Nachteile deterministischer bzw. probabilistischer Expositionsabschätzungen, wobei für letztere die 1-dimensionale (1D) bzw. auch 2-dimensionale (2D) Monte-Carlo-Simulation sowie Bayes-Methoden verfügbar sind und alternativ die Evidenztheorie für eine adäquate Quantifizierung und Darstellung von aleatorischen und epistemischen Unsicherheiten von Expositionsmodellen genutzt werden kann, beziehen sich die Auswahlkriterien auf die Definition der Person(en), für die Expositionsabschätzungen vorzunehmen sind, auf die konkrete Aufgabenstellung einer Expositionsabschätzung, auf die Art zu bewertender Expositionssituationen sowie auf den Umfang bzw. die Komplexität der Modellierung des Radionuklidtransports.

4. DURCHFÜHRUNG

Das Vorhaben wurde durch Mitarbeiter der Brenk Systemplanung GmbH bearbeitet, die langjährige Kenntnisse und Erfahrungen im Strahlenschutz und insbesondere zur radioökologischen Modellierung und statistischen Analyse besitzen. Neben den internen Qualitätssicherungsmaßnahmen erfolgte eine Unterstützung durch das Institut für Radioökologie und Strahlenschutz der Universität Hannover. Die Bearbeitung der Arbeitspakete AP 1 und AP 2 wurde in Zwischenberichten dokumentiert. Der Abschlussbericht gibt eine Über-

sicht zum Stand von Wissenschaft und Technik bei der probabilistischen/stochastischen Modellierung von Expositionen (Teil I), stellt ausführlich Methoden und Ansätze zur Bewertung der Aussagekraft von Modellprognosen bei unsicheren Eingangsdaten dar (Teil II) und erläutert Entscheidungshilfen und Kriterien zur Nutzung deterministischer bzw. probabilistischer/stochastischer Expositionsmodelle (Teil III). Wichtige mathematische Grundlagen sind in Anhängen zusammengestellt.

5. ERGEBNISSE

Parameterunsicherheiten sind meistens durch die Variabilität von Parametern bedingt, mit denen die Ausbreitung von Schadstoffen in den Umweltmedien und in der Biosphäre sowie die Exposition von Personen modelliert werden. Sie resultieren bei gegebener Datenbasis aber auch aus Unsicherheiten bei der Identifikation der Verteilungsart von Modellparametern sowie der Schätzung entsprechender Verteilungsparameter. Als weitere Ursachen von Parameterunsicherheiten sind Messunsicherheiten, eine unzureichende Repräsentativität der Ergebnisse von Beprobungen sowie die Übertragung von empirischen Daten früherer Untersuchungen auf neue Situationen zu nennen. Ein spezieller Aspekt betrifft die Unsicherheit von Expertenschätzungen, die benötigt werden, wenn das Systemverhalten nur unzureichend bekannt ist oder für Modellparameter generische Aussagen zu treffen sind. Gemäß ihren Konsequenzen sind aleatorische Unsicherheiten (Variabilität eines Parameters, z. B. durch die Heterogenität einer Grundgesamtheit/Population oder stochastische Prozesse bedingt, objektiv vorliegend und nicht reduzierbar) und epistemische Unsicherheiten (z. B. durch ungenaue Daten oder beschränktes Wissen bedingt, subjektiv geprägt und durch zusätzliche Daten bzw. Informationen reduzierbar) voneinander zu unterscheiden und bezüglich ihrer Auswirkungen auf die Unsicherheit der Zielgröße "Exposition" möglichst separat zu analysieren und darzustellen.

5.1 STAND VON WISSENSCHAFT UND TECHNIK ZUR PROBABILISTISCHEN/STOCHASTISCHEN MODELLIERUNG VON EXPOSITIONEN

Anhand einer schematischen Darstellung mathematischer Strukturen von komplexen (radio-)ökologischen Expositionsmodellen werden wesentliche Unterschiede deterministischer und probabilistischer Abschätzungen von Strahlenexpositionen diskutiert. Bezüglich probabilistischer Ansätze wird die vielfach angewandte einfache (1-dimensionale) Monte-Carlo-Simulation, mit der näherungsweise die Variabilität von Modellparametern erfasst wird, mit Methoden zur Berücksichtigung und separaten Bewertung von aleatorischen und epistemischen Unsicherheiten verglichen, wozu auf die 2-dimensionale Monte-Carlo-Simulation, auf BAYES-Verfahren sowie auf Verallgemeinerungen der Wahrscheinlichkeitstheorie zur mathematischen Modellierung von epistemisch unsicherem Wissen (insbesondere Evidenztheorie, Possibilitätstheorie, p-Box-Methode) eingegangen wird. Ausführlich werden auch die diversen Methoden der Sensitivitätsanalyse erläutert, mit denen z. B. beurteilt werden kann, wie sich die Varianz der Zielgröße eines Modells aus einzelnen Beiträgen der Variation bzw. Unsicherheit von Inputvariablen zusammensetzt, um für deren Sensitivität eine Rangfolge zu bestimmen.

Im Ergebnis einer Recherche zum Stand der Anwendung probabilistischer Methoden bzw. von alternativen Verfahren zur Berücksichtigung aleatorischer und epistemischer Unsicherheiten bei der Modellierung von Expositionen, wozu neben Anwendungen im Strahlenschutz auch Entwicklungen im konventionellen Umwelt- und Gesundheitsschutz untersucht wurden, ist festzustellen, dass bei überwiegender Nutzung deterministischer Ansätze in den letzten Jahrzehnten die Anwendung probabilistischer Expositionsmodelle zunimmt. Im Strahlenschutz dominieren 1D-Monte-Carlo-Simulationen und nur vereinzelt werden Bayes-Methoden, probabilistisch-possibilistische Hybrid-Modelle und 2D-Monte-Carlo-Simulationen angewandt. Demgegenüber finden im konventionellen Umwelt- und Gesundheitsschutz Methoden, die eine separate Bewertung aleatorischer und epistemischer Unsicherheiten ermöglichen, eine stärkere Anwendung, was nicht zuletzt auf diesbezügliche Empfehlungen der Weltgesundheitsorganisation (WHO) und der US-Umweltschutzbehörde (EPA) zurückzuführen sein dürfte. Im internationalen Vergleich werden probabilistische und possibilistische Methoden für Expositionsmodellierungen in den USA, aber z. B. auch in Frankreich und Großbritannien, stärker genutzt als in Deutschland.

5.2 AUSSAGEKRAFT VON MODELLPROGNOSEN BEI UNSICHEREN EINGANGSDATEN

In Teil II des Abschlussberichts wird zunächst auf die Spezifizierung von statistischen Verteilungen für Modellparameter eingegangen. Für sensitive Modellparameter wird die Bestimmung des Typs univariater statistischer Verteilungen, die Berücksichtigung von Abhängigkeiten zwischen unsicheren Verteilungsparametern sowie die Analyse und Simulation von Abhängigkeiten zwischen Modellparametern mit Copulas behandelt.

Für die probabilistische bzw. stochastische Simulation von Prozessen werden danach Verdünnungs- und Ausbreitungsmodelle untersucht, die mit Hilfe gewöhnlicher bzw. stochastischer Differentialgleichungen, mit Differentialgleichungssystemen oder mit partiellen Differentialgleichungen beschrieben werden.

5.2.1 Spezifizierung von Wahrscheinlichkeitsverteilungen für Modellparameter

Für die probabilistische Beschreibung von Modellparametern stehen oft mehrere Verteilungsarten zur Auswahl, die sich weitgehend ähneln, sich jedoch insbesondere in den Randbereichen voneinander unterscheiden. Zur Auswahl der Verteilungsart und Anpassung der Verteilungsparameter an Stichprobendaten sollten vornehmlich solche Verteilungen in die engere Wahl einbezogen werden, die auf Basis fachspezifischer Überlegungen zur Genesis der jeweiligen Verteilungsart plausibel sind. Verteilungen, die nach gängigen Goodness-of-Fit-Tests (vorzugsweise Anwendung des Anderson-Darling-Tests) mit einer geringen Irrtumswahrscheinlichkeit abgelehnt werden, stellen in der Regel kein sinnvolles statistisches Modell für den untersuchten Modellparameter dar. Nach einer Anwendung dieser Kriterien können mehrere Verteilungsarten in der engeren Auswahl verbleiben. In der Regel sollten dann Verteilungen mit möglichst wenigen anzupassenden Parametern bevorzugt werden, die mit der Maximum-Likelihood-Methode geschätzt werden können. Der darauf basierende Log-Likelihood-Test ist eine effiziente Methode zur Selektion aus verschiedenen möglichen Verteilungsarten.

Für eine hohe Wahrscheinlichkeit der korrekten Selektion der Verteilungsart sind häufig Stichprobenumfänge von 200 (oder mehr) erforderlich. Der benötigte Stichprobenumfang wird durch mehrere Faktoren bestimmt, wie der Anzahl und Art von Verteilungsfamilien, mit denen die untersuchte Zufallsgröße ähnlich gut modelliert werden kann, sowie dem Verlauf der Wahrscheinlichkeitsdichte der "wahren" Verteilungsfamilie in Relation zu den alternativen Verteilungen. Für die Wahl einer speziellen Verteilung aus ähnlichen Alternativen sind bei der probabilistischen (Expositions-)Modellierung weitere Gesichtspunkte relevant. Diesbezügliche Kriterien sind die Eignung der Verteilungsart für andere Datensätze des gleichen Typs sowie die Konsequenzen für die Bewertung von extremen Ereignissen.

5.2.2 Schätzunsicherheiten und Abhängigkeiten zwischen Verteilungsparametern

1D-Monte-Carlo-Simulationen nutzen Punktschätzer der Verteilungsparameter, die z. B. mit der Maximum-Likelihood-Methode berechnet werden können. Mit Ansätzen der klassischen Statistik können dazu zwar Konfidenzintervalle für die einzelnen Verteilungsparameter berechnet werden, es werden jedoch keine Abhängigkeiten zwischen unsicheren Verteilungsparametern bestimmt. Diese werden aber für eine korrekte Erfassung der epistemischen Unsicherheiten dieser Schätzungen mit Hilfe von 2D-Monte-Carlo-Simulationen benötigt.

Eine gängige Methode zur Bestimmung solcher Abhängigkeiten ist das Bootstrapping. Aus der für eine Stichprobe geschätzten Verteilung wird hierbei eine große Anzahl neuer Stichproben simuliert, mit denen die Verteilungsparameter erneut geschätzt werden, um epistemische Unsicherheiten der ursprünglichen Schätzung zu quantifizieren. Diese Vorgehensweise ist aber in vielen Fällen unzureichend, da nominelle Vorgaben zum Vertrauensniveau von Konfidenzgrenzen erheblich verfehlt werden können.

Eine mathematisch konsistente Lösung des Problems ist die Berechnung Bayes'scher Posterioridichten für die aus einer Stichprobe resultierende Wahrscheinlichkeit, dass die Verteilungsparameter der zu Grunde liegenden Population in einem bestimmten Bereich des Parameterraums liegen. Die Analyse und Simulation unsicherer Verteilungsparameter unter Beachtung gegenseitiger Abhängigkeiten ist Kern der Bayes-Theorie, die für probabilistische Modellierungen vorzugsweise genutzt werden sollte. Beim Ansatz von geeigneten nicht-informativen Priorverteilungen für die unbekanntenen Verteilungsparameter resultieren auch gute frequentistische Eigenschaften für Konfidenzintervalle. Zur Berechnung und Simulation von Posterioridichten können neben allgemeinen Markov-Chain-Monte-Carlo-Methoden in vielen Fällen relativ einfach realisierbare spezielle Verfahren genutzt werden.

5.2.3 Berücksichtigung statistischer Abhängigkeiten zwischen Modellparametern

Zwischen den Parametern von Expositionsmodellen können statistische Abhängigkeiten vorliegen, die sich insbesondere auf die Randbereiche der Verteilung der Zielgröße stark auswirken können. Solche Abhängigkeiten werden oft vernachlässigt oder nur mit stark vereinfachten Ansätzen modelliert, die zu Fehleinschätzungen der Wahrscheinlichkeit des Auftretens extremer Ereignisse führen.

Zur Analyse und Simulation von Abhängigkeiten zwischen Modellparametern kann die Copula-Theorie effektiv genutzt werden. Copulas sind spezielle Funktionen, mit denen gemeinsame Verteilungsfunktionen von Zufallsvariablen mit Hilfe ihrer Randverteilungen dargestellt werden können. Zur Auswahl und Anpassung von Copulas an multivariate Stichproben wurden im vorliegenden Bericht die wichtigsten mathematischen Metho-

den dargelegt und beispielhaft veranschaulicht. Die mit Hilfe von Copulas mögliche Separation der statistischen Inferenz zu Randverteilungen und zu Abhängigkeitsstrukturen gestattet eine wesentliche Vereinfachung der Analyse, Modellierung und Simulation voneinander abhängiger Zufallsgrößen. Zur Auswahl und Anpassung von Copulas an Stichproben sind jedoch große Datensätze erforderlich (Stichprobenumfänge von mindestens 50 bis 200). Wenn Abhängigkeiten zwischen Expositionsfaktoren nicht auszuschließen sind, jedoch weder fachliche Ansätze noch ausreichendes Datenmaterial zur Modellierung der Abhängigkeit zur Verfügung stehen, sind konservative Berechnungen über Fréchet-Hoeffding-Schranken möglich, die alle denkbaren Abhängigkeitsstrukturen (Copulas) abdeckend einschließen.

5.2.4 Probabilistische bzw. stochastische Modellierung von Prozessen

Für komplexe Expositionsmodelle sind im Allgemeinen verschiedene Verdünnungs- und Ausbreitungsprozesse zu erfassen, die deterministisch mit gewöhnlichen oder partiellen Differentialgleichungen bzw. mit entsprechenden Gleichungssystemen beschrieben werden können.

Die Parameter solcher Modelle können bei Betrachtung einer Population gleichartiger Prozesse (z. B. für eine Vielzahl von Standorten) unterschiedliche Werte aufweisen bzw. epistemisch unsicher sein, woraus sich probabilistische oder auch possibilistische Verallgemeinerungen der deterministischen Modelle ergeben. In vielen Fällen sind einzelne Modellparameter jedoch als stochastische Prozesse zu betrachten, die z. B. durch zeitlich schwankende Umwelteinflüsse verursacht werden können. Die Zielgröße ist dann als Lösung einer stochastischen Differentialgleichung bzw. eines entsprechenden Gleichungssystems zu bestimmen. Anhand diverser Beispiele zeitlich-stochastischer Verdünnungs- und Ausbreitungsprozesse (u. a. für Kompartiment-Modelle) wird gezeigt, dass die strukturell unterschiedlichen Modellierungsansätze (stochastisch, deterministisch, probabilistisch) in Abhängigkeit von den Gegebenheiten und der jeweiligen Fragestellung ihre spezielle Berechtigung haben können. Es ist jedoch wichtig, die zu Grunde liegenden Annahmen der Modellierungsansätze und deren Relevanz für eine konkrete Fragestellung sachgerecht einzuschätzen.

Neben der Beurteilung von stochastischen Schwankungen mit Hilfe stochastischer Differentialgleichungen (im Vergleich zum Erwartungswert eines stochastischen Modells, der einem deterministischen Modell entspricht) dient die Entwicklung von stochastischen Modellen nicht zuletzt dem Verständnis der realen Prozesse und auch der Begründung vereinfachter deterministischer Ansätze. Zur Behandlung von Parameterunsicherheiten in Ausbreitungsmodellen, die durch partielle Differentialgleichungen beschrieben werden, wurde die Migration von Radionukliden in porösen Medien als Anwendungsfall betrachtet. Hierbei ist insbesondere die hydraulische Leitfähigkeit ein räumlich-stochastischer Prozess, der zu Abweichungen vom "normalen" (Gauss'schen) Transport führen kann. Für die Modellierung solcher Gegebenheiten gewinnen neben stochastischen partiellen Differentialgleichungen auch Random-Walk-Transportmodelle an Bedeutung, mit denen der in diesen Fällen häufig beobachtete Effekt der Superdiffusion relativ einfach erfasst werden kann.

5.3 ENTSCHEIDUNGSHILFEN UND KRITERIEN ZUR ANWENDUNG DETERMINISTISCHER, PROBABILISTISCHER BZW. STOCHASTISCHER EXPOSITIONSMODELLE

Die Eignung deterministischer, probabilistischer, possibilistischer bzw. auch stochastischer Expositionsmodelle wurde in Abhängigkeit vom Typ der Bezugspersonen (hypothetische bzw. reale Personen oder Personengruppen), der Aufgabenstellung der Abschätzung von Strahlenexpositionen (Nachweis der Einhaltung von Grenz- bzw. Richtwerten, Berechnung von mittleren individuellen Expositionen, Ermittlung hoher Perzentile der individuellen Strahlenexposition, Ermittlung der Variabilität bzw. Unsicherheit individueller Expositionen) sowie der Art von realen bzw. hypothetischen Expositionssituationen und dem Umfang der Modellierung bewertet.

Deterministische Expositionsmodelle sind für einige der oben genannten Ziele und Randbedingungen von Expositionsabschätzungen nicht geeignet, wogegen mit probabilistischen bzw. possibilistischen Ansätzen alle Aufgaben gelöst werden können. Für den Nachweis der Einhaltung von Grenz- bzw. Richtwerten erscheint unter Beachtung wesentlicher Vor- und Nachteile von deterministischen bzw. probabilistischen Expositionsabschätzungen eine gestufte Vorgehensweise angebracht, die von konservativen deterministischen Ansätzen (auch bezüglich der Szenarien und Modelle) bis hin zu realitätsnahen standortspezifischen probabilistischen Expositionsabschätzungen reicht.

5.4 EMPFEHLUNGEN FÜR WEITERE ARBEITEN

Empfehlungen für weitere Arbeiten wurden zur Modellierung statistischer Abhängigkeiten zwischen Verzehrswerten verschiedener Lebensmittelklassen, zur stochastischen Modellierung von radioökologischen Kompartiment-Modellen, zur Nutzung stochastischer Modelle der Radionuklidverbreitung im Grundwasser, zu Metho-

den der Verknüpfung von probabilistischen und possibilistischen Verteilungen, zu praxisrelevanten Anwendungen probabilistischer bzw. possibilistischer Expositionsmodelle sowie zur Bewertung der Ergebnisse von probabilistischen Expositionsabschätzungen abgeleitet.

6. UMSETZUNG DER ERGEBNISSE

Die Strahlenexposition von Mensch und Umwelt infolge der Freisetzung radioaktiver Stoffe wird in der Regel durch radioökologische Modelle ermittelt. Hierbei können deterministische und probabilistische/stochastische Modellierungsansätze mit unterschiedlicher Aussagekraft, aber auch unterschiedlichen Ansprüchen an die Qualität der Eingangsdaten verwendet werden. Die Ergebnisse des Forschungsvorhabens geben Hilfestellung, welchem Modellierungsansatz unter den jeweiligen Randbedingungen (Fragestellung, Expositionssituation, Qualität potenzieller Eingangsdaten etc.) der Vorzug zu geben ist. Sie schaffen damit die Grundlage, um gemäß dem Stand von Wissenschaft und Technik Dosisgrenzwerte nach dem Atomgesetz (AtG) oder nachgeordneten Rechtsvorschriften (z. B. §§ 46, 47 StrlSchV) sicher einzuhalten und gleichzeitig übermäßig konservative Berechnungsverfahren zu vermeiden.

Themenbereich 06
Notfallschutz

Subject area 06
Emergency management

Thema			
Ermittlung der Zeitabhängigkeit der Resuspension partikelgebundener radioaktiver Kontaminationen von urbanen Oberflächen unter Berücksichtigung unterschiedlicher Umwelteinflüsse und Gegenmaßnahmen			
Subject			
<i>Experimental determination of the time dependence of resuspension rates for particle-bound radioactive contamination from urban surfaces, taking into account varying environmental influences and counter-measures</i>			
Kennzeichen 3611S60012	Beginn 01.09.2011	Ende 31.08.2012	Fördermittel EUR 182.534,-
Forschungs- / Auftragnehmer			
Fraunhofer-Gesellschaft zur Förderung der angewandten Forschung – Institut für Toxologie und Experimentelle Medizin (ITEM) Hannover			
Projektleitung Prof. Dr. W. Koch	Fachbetreuung BfS Dr. R. Maier / AG-NGA	verantwortlich für den Text Dr. R. Maier	

1. ZIELSETZUNG

Im Rahmen der nuklearspezifischen Gefahrenabwehr (NGA) ist es erforderlich, über belastbare Erkenntnisse bezüglich der Resuspensionsgefahr von radioaktiven Stoffen, die sich z. B. nach einem dirty-bomb-Anschlag auf urbanen Oberflächen niedergeschlagen haben, zu verfügen, um eine fundierte Gefährdungsanalyse durchführen zu können.

Die derzeit verfügbaren, sehr begrenzten Kenntnisse über die zeitliche Entwicklung von Resuspensionsraten und deren Abhängigkeit von Eigenschaften kontaminierter Oberflächen und von Umwelteinflüssen weisen auf eine ausgeprägte Zeitabhängigkeit in den ersten Stunden und Tagen nach dem Ereignis hin. Für die Beurteilung gerechtfertigter Schutzmaßnahmen für das Einsatzpersonal und für die Bevölkerung sowie für die aus radiologischer Sicht zweckmäßigen Dekontaminationsmaßnahmen sollten die benötigten Daten zur Resuspension und Wirksamkeit von Gegenmaßnahmen, z. B. Fixierung, für repräsentative urbane Oberflächen experimentell bestimmt werden.

Ziel des Vorhabens war die Ermittlung experimentell abgesicherter Windresuspensionsraten und deren Zeitabhängigkeit bei der Beaufschlagung repräsentativ kontaminierter urbaner Oberflächen unter realitätsnahen Bedingungen und unter Berücksichtigung unterschiedlicher Wetterbedingungen und Gegenmaßnahmen. Der Einfluss der Partikelresuspension durch Einsatzfahrzeuge musste berücksichtigt werden. Dabei waren so weit möglich nachvollziehbare, realitätsnahe Modellierungen der Einflüsse des sich bewegenden Fahrzeuges zu berücksichtigen. Die Daten sollten eine belastbare Abschätzung der Strahlenexposition von Personen durch Inhalation radioaktiver Stoffe infolge Resuspension nach trockener oder nasser Deposition ermöglichen.

2. EINZELZIELSETZUNG

Das Vorhaben verfolgte folgende Einzelziele:

2.1 MÖGLICHE EINSATZSTRATEGIE ZUR ERFASSUNG VON RESUSPENSIONS-RATEN AN URBANEN STRUKTUREN UND AUSWAHL RELEVANTER URBANER OBERFLÄCHEN

Mögliche Einsatzstrategien und Szenarien zur Erfassung von Resuspensionsraten in Abhängigkeit von der Zeit und den Wetterbedingungen für unterschiedliche urbane Strukturen wurden erarbeitet.

2.2 EXPERIMENTELLE ERMITTLUNG DER RESUSPENSIONS-RATEN FÜR VERSCHIEDENE PARAMETERSÄTZE

Für die ausgewählten Oberflächen wurden die Resuspensionsraten lungengängiger Partikel ($< 10 \mu\text{m AED}$) in Abhängigkeit von der Zeit gemessen. Dabei wurden die folgenden Parameter variiert: Struktur der Oberfläche, mögliche Witterungseinflüsse, verschiedene Dekontaminations- und Fixierungsmaßnahmen sowie Art und Höhe des Energieeintrags (primär die Luftanströmgeschwindigkeit). In diesem Zusammenhang wurden

zehn verschiedene Oberflächentypen unterschiedlicher Rauigkeit, jeweils für trockene und nasse Deposition, untersucht. Als Testaerosole wurden trockene kugelförmige Silberpartikel sowie Lösungen von Cäsiumchlorid verwendet. Für das Gesamtverfahren wurde eine Nachweisgrenze von 10^{-5} 1/h gewährleistet. Die Zeitabhängigkeit der Resuspensionsrate wurde beginnend vom Zeitpunkt der Beaufschlagung über mehrere Tage untersucht.

2.3 UNTERSUCHUNG ZUR ÜBERTRAGBARKEIT DER PARAMETERSTUDIE AUF DEN REALFALL

Für die Parameterstudie wurde eine weiterentwickelte Testapparatur verwendet. Die Übertragbarkeit der Ergebnisse auf den Realfall wurde durch Nachstellung typischer repräsentativer Vorgänge an Probanden unter Verwendung von vorher auf den zu untersuchenden Oberflächen realitätsnah aufgebrachtener Surrogatmaterialien bewertet. Hierfür wurden die Freisetzungsraten der lungengängigen Kontaminationen in einem Reinraum ermittelt. Bei den Kammerversuchen wurde neben der Resuspensionsrate auch die Relation zwischen luftgetragener Konzentration und Oberflächenkontamination gemessen.

2.4 ERMITTLUNG DER STRAHLENBELASTUNG

Anhand der Resuspensionsraten wurden die damit verbundenen Strahlenbelastungen (Dosen) als Funktion der Zeit nach der Kontamination für das Einsatzpersonal und Dritte ermittelt. Ferner wurden die mögliche Dosisreduzierungen durch die konzipierten Dekontaminations- und Fixierungsmaßnahmen angegeben.

3. METHODIK

Zur Durchführung des Vorhabens wurde ein Miniaturwindkanal zur definierten Aufprägung von hydrodynamischen und mechanischen Kräften, eine Sedimentationskammer für die Beaufschlagung kleiner Materialproben sowie ein Verfahren zur Messung von Resuspensionsraten entwickelt. Die realskaligen Versuche wurden in einem Reinraum durchgeführt.

4. DURCHFÜHRUNG

Zunächst wurden die Versuchsdurchführungen geplant und die verschiedenen urbanen Oberflächen ausgewählt und bereitgestellt. Ferner wurden die erforderlichen Testaerosole ausgewählt und in der jeweiligen Partikelgrößenverteilung beschafft.

Zudem wurden im Windkanal für die ausgewählten Oberflächen die Resuspensionsraten lungengängiger Partikel ($< 10 \mu\text{m AED}$) in Abhängigkeit von der Zeit gemessen. Dabei wurde die Struktur der Oberfläche, die möglichen Witterungseinflüsse, der Einfluss verschiedener Methoden zur Dekontamination und Fixierung sowie Art und Höhe des Energieeintrags (primär die Luftanströmgeschwindigkeit) variiert.

Zur Validierung der Ergebnisse wurden in einem Reinraum die gewonnenen Erkenntnisse durch realskalige Versuche mit realen Probanden in einem Reinraum erfolgreich durchgeführt.

5. ERGEBNISSE

Die Kurzzeitwindresuspensionsraten ($t < 0,5$ h) nach Beaufschlagung von Materialproben für den Außenbereich wie z. B. Straßenbeläge, Glas- und Holzoberflächen, diverse Ziegel sowie Fliesen liegen bei einer Überströmgeschwindigkeit von 6 m/s im Bereich um 10^{-2} 1/h mit einer Variationsbreite von ca. einer Größenordnung, $2,5 \cdot 10^{-3}$ 1/h für Holzoberflächen und $5 \cdot 10^{-3}$ 1/h für die Straßen- und Kalksandsteinoberfläche. Das Zeitverhalten der Resuspensionsrate, R_R , kann durch $R_R = A \cdot t^{-\mu}$ beschrieben werden, wobei dem Exponent μ der Wert 1,3 für Zeitskalen kleiner als 1 Stunde und der Wert 1 für Resuspensionsbetrachtungen über längere Zeitskalen zugeordnet werden kann. Dieses qualitative Verhalten ist unabhängig von der Windgeschwindigkeit und wurde bis zu Windgeschwindigkeiten von 20 m/s bestätigt.

Werden nasse Oberflächen kontaminiert und anschließend getrocknet, so führt dies zu einer verstärkten Partikelhaftung und die Windresuspensionsraten reduzieren sich um ca. eine Größenordnung. Analog ist die Benetzung kontaminierter, trockener Oberflächen ein probates Mittel der Kontaminationsfixierung. Die Effizienz beträgt für alle getesteten Oberflächen 90% bei Verwendung von Wasser und 99% für ein Glycerin-Wasser-Gemisch als Fixierflüssigkeit. Eine Alterung kontaminierter Oberflächen durch mehrtägige Exposition gegenüber Außenluft (ohne Niederschlag!) kann ebenfalls eine Kontaminationsfixierung bewirken. Für poröse

Straßenoberflächen wurden Effizienzen von ca. 90% gemessen im Gegensatz zu glatten Oberflächen, für die kein Alterungseffekt festgestellt wurde.

Neben den stationären Strömungsbedingungen wurden auch instationäre Überströmvorgänge (pulsartige Luftströmung) betrachtet. Diese Situationen repräsentieren die Strömungsbeaufschlagung von Straßenoberflächen durch den Autoverkehr, aber auch die Resuspension durch Gehbewegungen, die im Wesentlichen durch die Verdrängungsströmung der Luft unterhalb der Schuhsohle beim Annähern hervorgerufen wird.

Die Resuspensionsmessungen zeigten, dass sowohl bei einer Windgeschwindigkeit von ca. 10 m/s und bei einem Energieeintrag von 1 Joule (Klopfbeaufschlagung) die über eine Stunde akkumulierten Resuspensionsraten kleiner 0,01% sind. Die Resuspensionen liegen nach ca. 2 Stunden bei Freisetzungsraten von ca. $10^{-4}\%$. Durch die Klopfbeaufschlagung konnten im Vergleich zur Windresuspension etwas höhere Freisetzungsraten festgestellt werden. Die Oberfläche des Trägermaterials spielt für die Resuspension eine nachgeordnete Rolle.

Ein wesentliches Ergebnis ist, dass durch einfache Maßnahmen wie benetzen mit Wasser die Resuspensionsraten um mehrere Zehnerpotenzen reduziert werden können. In diesen Fällen liegen die Resuspensionsraten unter der Nachweisgrenze von 10^{-5} .

Die Resuspensionsexperimente mit Probanden im Reinraum bestätigten die Untersuchungsergebnisse aus dem Windkanal. Die Untersuchungen im Reinraum mit Probanden konnten nachweisen, dass die durch Bestimmung der Resuspensionsraten im Windkanal festgestellten geringen resuspendierbare Anteile auch unter realen Bedingungen Bestand haben.

Für die transienten Überströmereignisse wurde der resuspendierte Anteil, R_A , der Oberflächenkontamination gemessen. In kleinskaligen Experimenten in der Kanalapparatur mit Straßenbelagsoberflächen wurde eine Abnahme der Werte der Messgröße mit der Zahl (n) der Beaufschlagungen mit Strömungspulsen gemäß $R_A = n^{-1,2}$ ($n > 1$) festgestellt. Beim ersten Impuls werden bei 20 m/s ca. 5% der Bodenkontamination freigesetzt, bei 10 m/s ca. 1,4%. Diese Werte quantifizieren schon den größten Teil der ablösbaren Kontamination. Der kumulierte Beitrag aller nachfolgenden Ereignisse ist ca. 3,5% bzw. 0,8% beginnend mit $R_A = 0,7\%$ (20 m/s) bzw. $R_A = 0,15\%$ für $n = 2$. Die Strömungsgeschwindigkeit ist entscheidend für die Höhe der Freisetzung der lungengängigen Partikel. Ein Wechsel von hohen zu niedrigen Geschwindigkeiten bewirkt eine erhebliche Reduktion der Resuspensionsrate.

Die Untersuchungen zur Resuspension bei Gehbewegungen wurden im Reinraum durchgeführt. Die Werte des resuspendierten Anteils der lungengängigen Bodenkontamination liegen im Bereich zwischen 0,1 und 1%, bezogen auf die Auftrittsfläche. Dabei spielt die Art und Weise des Gehens eine große Rolle, indem „abrollende“ Bewegungen zu einer geringeren Freisetzung als „stampfende“ führen. Dies lässt sich unmittelbar mit den sich entwickelnden unterschiedlich starken Strömungen zwischen Sohle und Boden erklären. Bei wiederholter Überschreitung ein und derselben Fläche ergab sich eine ähnliche Abnahme des resuspendierten Anteils wie bei der transienten Strömungsbeaufschlagung von kontaminierten Testoberflächen in der Kanalapparatur.

Die experimentellen Ergebnisse zur Resuspension bei Einwirkung von Wind und durch von Fußgängern und Fahrzeugen erzeugte pulsartige Luftströmungen sind bei der Analyse von Kontaminationsszenarien angewandt worden. Dazu sind der Betrieb einer Notfallstation im Fall eines schweren Unfalls eines Kernkraftwerkes und ein Kontaminationsereignis durch eine Schmutzige Bombe in urbanem Gebiet im Hinblick auf eine Strahlenexposition von Einsatzpersonal durch resuspendierte radioaktive Stoffe untersucht worden. Damit lassen sich gerechtfertigte Maßnahmen zum Atemschutz von Einsatzpersonal auch in der Frühphase eines solchen Ereignisses beurteilen. Sowohl in einer Notfallstation als auch an einem Dekont-Platz bei der Überprüfung von Personen auf Kontamination und deren weiterer Betreuung kann auch die Resuspension von kontaminierter Kleidung eine wesentliche Quelle für luftgetragenen radioaktiven Staub und in der Folge für abgelagerte radioaktive Stoffe auf dortigen Oberflächen sein.

Aus den experimentellen und analytischen Untersuchungen sind Empfehlungen für einfache Schutz- und Verhaltensmaßnahmen von Einsatzpersonal abgeleitet worden, die eine deutliche Verminderung von Resuspensionsprozessen und damit einer Strahlenbelastung durch Inhalation bewirken.

6. UMSETZUNG DER ERGEBNISSE

Der Bericht soll für die zuständigen Behörden des Bundes und der Länder verfügbar gemacht werden, so dass diese die Erkenntnisse über deren Struktur an die Einsatzkräfte weitergeben können.

Ferner sind die Ergebnisse für das BfS, im Rahmen seiner Aufgaben in der „Zentralen Unterstützungsgruppe des Bundes“ (ZUB), von wesentlicher Bedeutung. Die wissenschaftlichen Erkenntnisse werden sowohl bei der Festlegung der Vorgehensweisen bei der Dekontamination von kontaminierten Einsatzkräften als auch bei der Tatortarbeit von entscheidendem Nutzen sein.

Der Bericht liefert eine belastbare Datenbasis einer möglichen zeitabhängigen Resuspension von lungengängigen, radioaktiven Aerosolen, die sich auf typischen urbanen Oberflächen, z. B. Asphalt, Ziegel, Kalksandstein, Glas und Holz, abgelagert haben. Von besonderem Interesse sind die aus den Versuchen abgeleiteten maximalen Strahlenexpositionen für das Einsatzpersonal an Notfallstationen. Dieser Bericht erlaubt es den zuständigen Behörden eine einheitliche Vorgehensweise und einheitliche Schutzkleidung für das Einsatzpersonal an Notfallstationen zu empfehlen.

Thema			
Adaptierung des Programmsystems LASAIR für aktuelle und erweiterte Aufgabenstellungen im Bereich der Nuklearspezifischen Gefahrenabwehr			
Subject			
<i>Adaption of the systems program LASAIR for actual and extended tasks in the context of the Defence against Nuclear Hazards</i>			
Kennzeichen 3611S60015	Beginn 01.01.2012	Ende 31.01.2013	Fördermittel EUR 107.814,-
Forschungs- / Auftragnehmer Ingenieurbüro Janicke, Überlingen			
Projektleitung Dr. L. Janicke	Fachbetreuung BfS H. Walter / SW 2.2		verantwortlich für den Text H. Walter / Dr. L. Janicke

1. ZIELSETZUNG

Das Programmsystem LASAIR berechnet den Transport von radioaktiven Nukliden in der Atmosphäre und ihre Deposition am Erdboden nach einer instantanen oder kurzzeitigen Freisetzung. Unter Anwendung eines vorgegebenen Nuklidspektrums soll durch LASAIR die Aktivität und die Dosis hinsichtlich Inhalation und Gamma-Wolken- und Bodenstrahlung berechnet werden. Zur interaktiven Erstellung der Eingabedaten (Freisetzungparameter, Meteorologie und Gelände), der Durchführung der Ausbreitungsrechnung und der Ergebnisdarstellung stellt LASAIR eine graphische Benutzeroberfläche bereit (Java-Programm) und greift zur Berechnung des Transportes und der Gammasubmersion auf das Programmsystem LASAT (C-Programme) zurück. Zur Geländedarstellung werden die topographischen Karten DTK200 und DTK25 verwendet. Im Rahmen dieses Forschungsvorhabens sollte die Anpassung des Programmsystems an aktuelle Fragestellungen von Anwendern aus Katastrophenschutzbehörden oder entsprechend beauftragten Institutionen geprüft und durchgeführt werden.

2. EINZELZIELSETZUNG

In diesem Projekt sollte LASAIR für genauere Aussagen in urbanen Gebieten und für erweiterte Anwendungsbereiche ertüchtigt werden. Die Arbeitspunkte waren im Wesentlichen:

- Berücksichtigung von Gebäudestrukturen und Orographie,
- Reduktion der Maschenweite im Nahbereich,
- Anpassung der Expositionszeiträume,
- Nutzungsmöglichkeit von gerichteten Freisetzungen,
- Erweiterung für die Nutzung in anderen Ländern.

Randbedingung bei allen Erweiterungen von LASAIR ist, dass die Rechnung für typische Anwendungsfälle nicht länger als 1 Stunde dauert.

3. DURCHFÜHRUNG

3.1 BERÜCKSICHTIGUNG VON GEBÄUDESTRUKTUREN UND OROGRAPHIE

Das Ausbreitungsmodell LASAT bietet unter Verwendung des Zusatzprogramms Lprwnd die Möglichkeit, Gebäudestrukturen bei der atmosphärischen Ausbreitung zu berücksichtigen. Dabei wird von einem diagnostischen Windfeldmodell die Veränderung der Strömung und der Turbulenz durch Gebäude modelliert. Ebenso kann die Wirkung von Geländeunebenheiten (Umströmung von Hügeln, Kanalisierung in Tälern) berücksichtigt werden.

Um diese Fähigkeiten von LASAT zu nutzen, wurde LASAIR so erweitert, dass der Benutzer die erforderlichen zusätzlichen Eingabedaten bereitstellen kann und die zusätzlichen Windfeldberechnungen durchgeführt werden.

Da beim Einsatz von LASAIR nicht davon ausgegangen werden kann, dass ein einheitliches Gebäudekatalog zur Verfügung steht, wurde die Möglichkeit geschaffen, dass der Benutzer die Gebäude anhand eines Lageplans selbst definiert.

Zunächst wird das Bild eines Lageplans eingelesen und dieses interaktiv vom Benutzer unter Angabe der (UTM (Universal Transverse Mercator)-) Koordinaten von drei Referenzpunkten georeferenziert. Der georeferenzierte Lageplan wird dann von einem Zeichenprogramm (aus den LASAT-Tools) übernommen, in welchem der Benutzer die Konturen der Gebäude mit der Maus nachfahren kann. Mögliche Grundrisse sind Kreis, Rechteck und Polygon. Separat wird die Gebäudehöhe angegeben. Zusätzlich kann für jedes Gebäude ein Name und eine Darstellungsfarbe festgelegt werden. Zur visuellen Überprüfung der Eingabe kann eine 3-dimensionale Darstellung der Gebäude abgerufen werden.

Die so definierten Gebäude werden als Datei in einem projektübergreifenden Verzeichnis gespeichert, stehen also für jedes neu anzulegende Projekt zur Verfügung. Sie werden nur in einer Detail-Rechnung mit Netzschachtelung berücksichtigt; in einer Übersichtsrechnung mit relativ grobem Netz können Gebäude nicht berücksichtigt werden.

Das Programm LASAT erwartet, dass alle Gebäude im Inneren des feinsten Netzes liegen. Beim Anlegen eines neuen Projektes, für das Gebäude vorgegeben sind, werden in die Grafik die Gebäude und die Ausdehnung des feinsten Netzes eingezeichnet. Durch Verschieben des Rechnernetzes muss der Benutzer erreichen, dass die Gebäude im Innern dieses Bereiches liegen. Solange dies nicht erfüllt ist, kann das neue Projekt nicht angelegt werden.

Die Deutsche Topographische Karte 1:25.000 (DTK25) ist weniger gut geeignet, die Gebäudegrundrisse darzustellen. Es wurde daher die Möglichkeit geschaffen, den zur Definition der Gebäude benutzten Lageplan als zusätzliche Detailkarte zu verwenden. Sie wird dann in die Projektkarte mit dem größten Abbildungsmaßstab maßstabsgetreu eingeblendet.

Bei einer Rechnung mit Berücksichtigung von Gebäuden wird vor der eigentlichen Ausbreitungsrechnung das 3-dimensionale Windfeld durch das Programm Lprwnd aus dem LASAT-Programmsystem berechnet. Es kann auf einem Rechner mit mehreren Prozessoren mehrere Windfelder gleichzeitig berechnen und so die Rechenkapazität optimal ausnutzen. Dies ist ein für typische LASAT-Anwendungen geeignetes Verfahren, greift aber bei LASAIR häufig nicht, da hier die verschiedenen zu behandelnden meteorologischen Situationen erst im Verlauf der Rechnung festgelegt zu werden brauchen. Um die vorgegebene Rechenzeitbeschränkung einhalten zu können, wurde das Programm Lprwnd so umstrukturiert, dass es auch bei der Berechnung eines einzelnen Windfeldes weitgehend parallelisiert arbeitet.

Die berechneten Windfelder werden projektbezogen in einer Bibliothek gespeichert. Wird bei der Ausbreitungsrechnung eine meteorologische Situation angetroffen, für die schon ein Windfeld berechnet worden ist, dann wird das entsprechende Windfeld aus der Bibliothek verwendet und es wird nicht neu berechnet. Für alle Windfelder in der Bibliothek kann eine graphische Darstellung in den verschiedenen verwendeten Maßstäben abgerufen werden.

Da die Gebäudeumrisse in den gewählten Farben in die Projektkarten eingezeichnet sind, erscheinen sie auch in der Ergebnisdarstellung. Zusätzlich ist die Aufrasterung der Gebäude eingezeichnet, so wie sie vom Windfeldmodell vorgenommen wird. Zur Veranschaulichung kann auch eine 3-dimensionale Darstellung gewählt werden.

Unabhängig von Gebäuden können auch allgemeine Geländeunebenheiten berücksichtigt werden. Hierfür wird auf das vom Bundesamt für Kartographie und Geodäsie (BKG) bereitgestellte Digitale Geländemodell von Deutschland (DGM25) zurückgegriffen. Es wird in LASAIR neben den topographischen Karten in den Rasterweiten 25, 50, 100, 200 und 400 m installiert. Bei der Anlage eines neuen Projektes kann eine 3-dimensionale Geländedarstellung abgerufen werden, um zu entscheiden, ob bzw. in welchem Ausschnitt Geländeunebenheiten berücksichtigt werden müssen.

Für die Berechnung, Handhabung und Darstellung des Windfeldes gilt ebenfalls das für die Gebäudeumströmung gesagte.

3.2 REDUZIERUNG DER MASCHENWEITE IM NAHBEREICH

Für die Darstellung von Gebäuden auf dem Rechnernetz ist die bisher in LASAIR enthaltene feinste Maschenweite von 25 m immer noch zu grob. Es wurde daher ein neues Schema von geschachtelten Rechnernetzen entworfen, bei dem sich die Maschenweiten jeweils um den Faktor 2 unterscheiden. Es beginnt mit einer Ma-

schenweite von 5 m und besitzt eine etwas erhöhte Maschenzahl, so dass das neue Netz mit 20 m Maschenweite den gleichen Bereich abdeckt wie das alte mit 25 m Maschenweite.

Nicht für jedes LASAIR-Projekt ist es notwendig, in Quellnähe mit 5 m Maschenweite zu arbeiten und bis in eine Entfernung von 40 km zu rechnen. Der Anwender kann daher beim Anlegen eines neuen Projektes wählen, ob die feinste Maschenweite 5, 10 oder 20 m betragen soll und die größte Entfernung 10, 20 oder 40 km.

3.3 ANPASSUNG DER EXPOSITIONSZEITRÄUME

Bisher wurde die Gamma-Dosis durch Bodenstrahlung als Lebenszeit-Folgedosis berechnet. Für typische LASAIR-Anwendungen sind aber auch kürzere Expositionszeiten interessant. Hierzu müssen die Formeln zur Berechnung der Lebenszeit-Folgedosis ergänzend so modifiziert werden, dass sie für beliebige Expositionszeiten von höchstens 1 Jahr gelten. In diesem Fall vereinfachen sie sich dadurch, dass während der Expositionszeit kein Wechsel der Altersgruppe stattfindet.

Bei der Ergebnisdarstellung kann der Anwender, wenn er die Gamma-Dosis wählt, zusätzlich aussuchen, ob der Expositionszeitraum 1 Tag, 1 Woche, 1 Monat, 1 Jahr oder die Lebensfolgezeit für die betreffende Altersgruppe betragen soll.

Bei der Berechnung der Gamma-Dosis durch Bodenstrahlung wird der Zerfall des betrachteten Nuklids berücksichtigt. Die eingesetzte Zeitspanne ist die Zeit seit Start der Rechnung, also seit dem Emissionsbeginn. Für kurzzeitige Freisetzung ist dies korrekt. Bei lang andauernder Freisetzung, wie es seit dieser LASAIR-Version vorgebar ist, kann es bei kurzlebigen Nukliden zu Ungenauigkeiten kommen.

LASAT kann zwar den Zerfall eines Nuklids während des Transportes berücksichtigen und damit dieses Problem beheben, muss dazu aber die Zerfallszeit des Nuklids kennen. Damit würde ein großer Vorteil von LASAIR zunichte gemacht, nämlich dass das Nuklidspektrum erst bei der Auswertung der Ausbreitungsrechnung festgelegt zu werden braucht. Dies ermöglicht Korrekturen bei der Auswertung, ohne dass die ganze Ausbreitungsrechnung noch einmal durchgeführt werden muss. Andernfalls müsste die Ausbreitungsrechnung mit allen möglicherweise relevanten Nukliden durchgeführt werden, was eine erhebliche Komplizierung des Arbeitsablaufs für den Benutzer und eine deutliche Verlängerung der Rechenzeit und Vergrößerung des Speicherbedarfs bedeuten würde. Dies ist für LASAIR nicht akzeptabel.

Eine Abhilfe wäre, das Verfahren der Ausbreitungsrechnung so zu erweitern, dass neben Konzentration und Deposition auch die (mittlere) Transportzeit bestimmbar ist. Dies sollte für eine einzelne Emissionsquelle realisierbar sein und wurde ansatzweise in LASAIR implementiert. Es zeigte sich jedoch, dass eine konsequente Umsetzung dieser Idee gerade im Hinblick auf die Gamma-Dosisberechnung sehr aufwendig wäre. Da dies bei weitem den Projektrahmen gesprengt hätte, mussten die weiteren Arbeiten hierzu eingestellt werden.

3.4 ERWEITERUNG FÜR DIE NUTZUNG IN EUROPÄISCHEN LÄNDERN

LASAIR ist in seinem Benutzer-Interface schon zu Beginn seiner Entwicklung mehrsprachig angelegt worden. Alle Texte im Benutzer-Interface und der Ergebnisdokumentation sind aus dem Programm ausgelagert und können ohne Programmänderung durch anderssprachige Texte ersetzt werden. So kann man schon seit einiger Zeit beim Programmstart zwischen der deutschen und der englischen Sprache wählen.

Von den zur Verfügung gestellten Karten und dem digitalen Geländemodell her ist man aber auf Deutschland beschränkt. Eine Abhilfe besteht darin, auf im Internet verfügbare Landkarten und Geländeinformation zurückzugreifen.

Bei den Landkarten stellt OpenStreetMap (OSM) eine interessante Wahlmöglichkeit dar. Es besitzt möglicherweise nicht die gleiche Abdeckungsdichte wie Google Maps, liefert aber häufig mehr Details und erfordert keine Lizenzkosten. Der direkte Weg für die Nutzung wäre, für das interessierende Gebiet die geographischen Daten herunterzuladen und daraus mit Hilfe eines Renderers die gewünschte Karte zu erzeugen. Der Nachteil davon ist, dass die Installation und Bedienung eines Renderers (beispielsweise Mapnik) sehr aufwendig sein kann und für einen typischen LASAIR-Anwender zu umständlich ist.

Als Alternative bleibt, von OpenStreetMap gerenderte Kartenkacheln in der gewünschten Vergrößerungsstufe herunterzuladen und zu der benötigten Karte zusammensetzen. Damit kann man eine gleitende Landkarte (slippy map) realisieren, bei der sich das Kartenbild in einem Fenster ohne Sprünge beliebig verschieben lässt. Der Nachteil ist, dass hierbei eine (longitudinale) Mercator-Projektion verwendet wird, die in Nord/Süd-Richtung einen variablen Abbildungsmaßstab besitzt. Nur mit zusätzlichem Aufwand lässt sich hieraus eine Landkarte in vorgegebenem Maßstab und UTM-Projektion erstellen, wie es für LASAIR erforderlich ist.

In LASAIR wurde zunächst die Möglichkeit geschaffen, direkt oder über einen Proxy auf das Internet zuzugreifen und Daten herunterzuladen. Dies wurde in einen separaten Prozess (Thread) ausgelagert, so dass die normale Arbeit mit LASAIR dadurch nicht behindert wird, und fehlertolerant ausgelegt, um Verbindungsabbrüche zum Server oder durch den Server abzufangen. Im Konfigurationsfenster von LASAIR kann festgelegt werden, ob man mit den lokal gespeicherten topographischen Karten oder mit Daten aus dem Internet arbeiten will.

Die heruntergeladenen Kartenkacheln werden einmal für schnellen Zugriff im RAM zwischengespeichert und zusätzlich auf der Festplatte in einem eigens hierfür eingerichteten Magazin (repository) abgespeichert. Einmal besuchte Kartenausschnitte können also später auch ohne Internetverbindung wieder dargestellt und verwendet werden.

Beim Anlegen eines neuen Projektes wird jetzt eine gleitende OpenStreetMap-Karte gezeigt, in die man hinein- und herauszoomen kann. Soll mit Gebäuden gerechnet werden, dann wird bei Auswahl der Gebäudedatei die Karte automatisch so zentriert, dass der Mittelpunkt des Darstellungsfensters mit dem Referenzpunkt der Gebäude übereinstimmt, so dass die interessierende Region ohne vieles Suchen sofort eingestellt ist. Zur Darstellung der Gebäude, die in UTM-Koordinaten definiert sind, werden die Koordinaten in die Mercator-Projektion der angezeigten Karte umgerechnet, ebenso für den eingeblendeten Rand des feinsten Rechengitters.

Wenn LASAIR das Projekt erstellt, werden die für die Projektkarten benötigten Karten-Kacheln heruntergeladen, zusammengesetzt und in eine UTM-Projektion umgewandelt. Die weitere Handhabung des Projektes ist dann unabhängig davon, ob die verwendeten Landkarten von einer topographischen Karte oder von OpenStreetMap stammen.

Im Hilfsmittel-Fenster von LASAIR gibt es die Möglichkeit, einen OSM-Kartenbrowser (wie beim Anlegen eines neuen Projektes) aufzurufen und den gewählten Kartenausschnitt als UTM-Karte abzuspeichern. Eine solche Karte ist oft gut geeignet, als Detail-Karte für das Abgreifen von Gebäudeumrissen zu dienen. Sie kann auch bei einem Projekt, das mit den topographischen Karten arbeitet, als Detail-Karte verwendet werden.

Bei den orographischen Daten (Geländehöhen) scheint im Internet bevorzugt der SRTM-Datensatz verwendet zu werden. Er enthält aus Radar-Messungen von einem Satelliten aus die Geländehöhen für den Großteil der Erde in einer räumlichen Auflösung von 3 Bogensekunden (ca. 90 m). Diese von den USA zur Verfügung gestellten Daten wurden vom JRC (Joint Research Centre) der EU überarbeitet, um Datenlücken zu füllen, so dass die Daten ohne weitere Nachbearbeitung verwendet werden können.

Leider sind die zur Verfügung gestellten Datenpakete unhandlich umfangreich, teilweise nicht lesbar, teilweise fehlerhaft (nur Nullwerte) und nur sehr mühsam herunterzuladen. Daher scheint der einfachste Weg für den Einsatz in LASAIR zu sein, den Datensatz trotz seiner Größe (etwa 50 GB) den Benutzern komplett auf einem geeigneten Datenspeicher zur Verfügung zu stellen. Er wurde umgearbeitet und enthält jetzt in handlichen Dateien (2,7 MB) die Geländehöhen für ein Gebiet von $1^\circ \times 1^\circ$.

Wenn diese Dateien im Magazin abgespeichert sind, greift LASAIR automatisch darauf zu, falls der Benutzer die Berücksichtigung von Geländehöhen wünscht (und die Konfiguration auf *Internet* gestellt ist).

4. ERGEBNISSE

Die im Rahmen der Einzelzielsetzung und der Durchführung genannten Eigenschaften stehen ab Frühjahr 2013 im Programmsystem LASAIR (Version 4) zur Verfügung. Nach entsprechenden Tests (Anwendung, Prüfung aller Eigenschaften, Vergleichsrechnungen mit früherer Version) steht das Programmsystem LASAIR im Bundesamt für Strahlenschutz für die nuklearspezifische Gefahrenabwehr und im Bereich Notfallschutz zur Verfügung; es kann dann auch an berechnete Anwender abgegeben werden.

5. UMSETZUNG DER ERGEBNISSE

Bei der Entschärfung einer USBV-R (Unkonventionelle Spreng- oder Brandvorrichtung - mit radioaktivem Kampfstoff), die neben Sprengstoff auch radioaktives Material enthält, sind kurzfristig Entscheidungen über Schutzmaßnahmen für Einsatzkräfte und Bevölkerung für den Fall zu treffen, dass die radioaktiven Stoffe durch eine Detonation des Sprengstoffs freigesetzt werden. Dabei ist insbesondere die Ausbreitung der radioaktiven Stoffe in der Atmosphäre von Bedeutung. Das bestehende Programmsystem unterstützt die beteiligten Strahlenschutzfachkräfte bzw. die Mitarbeiter der Gefahrenabwehrbehörden durch eine geeignete Simulation der komplexen Ausbreitungsvorgänge nach einer Explosion sowie durch eine Abschätzung der potenziellen Strahlenexposition. Konkret werden durch dieses Forschungsvorhaben bestehende Fragen zur

Ausbreitung explizit in städtischer Umgebung (Gebäudeumströmung) bzw. bei Orographie (Flusstallagen usw.) in höherer Genauigkeit beantwortet.

Die Aufgabe einer Unterstützung der für die Nuklearspezifische Gefahrenabwehr zuständigen Landesbehörde auf deren Ersuchen ist im Rahmen der Gründung einer Zentralen Unterstützungsgruppe des Bundes (ZUB) festgeschrieben worden; darin wird die Zusammenarbeit der Fachbehörden Bundeskriminalamt, Bundespolizei und Bundesamt für Strahlenschutz in Bezug auf die Bewältigung einer Bedrohungslage mit einer „Schmutzigen Bombe“ festgelegt. Mit der Nutzung des Programmsystems LASAIR kann diese Aufgabe besser bearbeitet werden. Dies betrifft auch die Aufgabenstellungen im Rahmen des sogenannten Trinationalen Abkommens (Zusammenarbeit und Unterstützung zur Abwehr einer terroristischen oder sonstigen schwerwiegenden Bedrohung auf radiologischem oder nuklearem Gebiet) zwischen Frankreich, Großbritannien und Deutschland. Im wissenschaftlichen Bereich wird die neue Version von LASAIR im Rahmen der Zusammenarbeit mit der IAEA (International Atomic Energy Agency) im Projekt MODARIA (Models and Data for the Radiological Impact Assessment) eingesetzt. Dabei soll insbesondere die Nachrechnung von Ausbreitungsexperimenten in der Tschechischen Republik mit Te-99m durchgeführt werden (Verifikation des Modells) sowie die Auswirkung einer Freisetzung radioaktiver Substanzen im urbanen Bereich analysiert werden.

Thema Evaluation der Krisenkommunikation im radiologischen Notfall am Beispiel von Fukushima			
Subject <i>Evaluation of crisis communication in case of a radiological emergency in the context of the nuclear accident in Fukushima</i>			
Kennzeichen 3612S60020	Beginn 01.08.2012	Ende 31.01.2013	Fördermittel EUR 157 056,-
Forschungs- / Auftragnehmer ESN Sicherheit und Zertifizierung GmbH, Schwentimental			
Projektleitung Dr.-Ing. A. Bartsch	Fachbetreuung BfS Dr. F. Gering / SW 2.2	verantwortlich für den Text Dr.-Ing. A. Bartsch, J. Rehr	

1. ZIELSETZUNG

In diesem Forschungsvorhaben sollten die Notfallorganisationen und -strukturen des

- Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (BMU),
- des Bundesamtes für Strahlenschutz (BfS),
- des Krisenstabs der Strahlenschutzkommission (SSK-Krisenstab) und
- der Gesellschaft für Reaktorsicherheit (GRS)

im Hinblick auf die Krisenkommunikation innerhalb der und zwischen den einzelnen Behörden und Organisationen sowie die Presse- und Öffentlichkeitsarbeit untersucht und bewertet werden. Dazu wurden die sich aus der Literatur und den Planungsunterlagen ergebenden theoretischen Anforderungen an bzw. Regelungen für die Krisenkommunikation mit den praktischen Erfahrungen und Bewertungen der Mitarbeiter der betrachteten Behörden und Organisationen im Rahmen des Fukushima-Unfalles gegenüber gestellt und die Abläufe und Vorgehensweisen analysiert.

Dabei war es das Ziel des Forschungsvorhabens, auf Basis dieser Untersuchungen bzw. Analysen und unter Berücksichtigung der sich aus der Literatur ergebenden Anforderungen an die Krisenkommunikation konkrete Empfehlungen zur Verbesserung der vorhandenen Krisenkommunikation und der Kommunikationswege zu entwickeln.

2. EINZELZIELSETZUNG

Zum Erreichen des Zieles wurde das Forschungsvorhaben in die einzelnen Arbeitspakete

- Bestandsaufnahme und Datenerhebung (AP 1),
- Schwachstellenanalyse (AP 2) und
- Ausarbeitung von Verbesserungsvorschlägen (AP 3)

untergliedert und bearbeitet.

3. METHODIK

Im AP 1 wurde im Zuge der Bestandsaufnahme und Datenerhebung zunächst eine Literaturanalyse durchgeführt, um einen Überblick über die bestehenden Anforderungen an die Krisenkommunikation zu erstellen. Als Ergebnis dieser Analyse wurden die grundlegenden Anforderungen und Empfehlungen zur Krisenkommunikation nach einzelnen Themenkomplexen (z. B. Aufbau- und Ablauforganisation, Öffentlichkeitsarbeit) gegliedert erfasst. Darüber hinaus wurden im AP 1, soweit vorliegend, sowohl die Planungsunterlagen als auch die bereits vorhandenen internen Bewertungen der beteiligten Behörden und Organisationen zur Krisenkommunikation während des Unfallablaufs in Fukushima erfasst.

Unter Berücksichtigung der herausgearbeiteten Anforderungen sowie der Erkenntnisse aus den Planungsunterlagen und den internen Bewertungen wurden zum einen Leitfadenterviews geführt und zum anderen eine Ana-

lyse der organisationsübergreifenden Prozesswege, Schnittstellen und genutzten Kommunikationspfade durchgeführt. Die Leitfadeninterviews wurden mit Mitarbeitern durchgeführt, die im Rahmen ihrer Tätigkeit während des Fukushima-Unfalls in die bestehenden Notfallorganisationen der betrachteten Behörden und Organisationen (BMU, BfS, SSK-Krisenstab und GRS) eingebunden waren, so dass sich aus den Aussagen der Interviewten Rückschlüsse auf die Stärken und Schwächen in der jeweiligen Notfallorganisation in der Praxis ableiten ließen.

Auf Grundlage dieser erstellten Wissensbasis wurden dann im nächsten Schritt die etwaigen Schwachstellen in der Notfallorganisation bzw. der Krisenkommunikation durch einen Abgleich der Anforderungen aus der Literatur, den Planungsunterlagen und den Ergebnissen aus den internen Bewertungen und durchgeführten Leitfadeninterviews herausgearbeitet.

Abschließend wurden basierend auf der erfolgten Schwachstellenanalyse konkrete Handlungsempfehlungen zur Optimierung der Krisenkommunikationsstrategien innerhalb und zwischen den Behörden und Organisationen sowie zur Kommunikation mit der Öffentlichkeit und den Medien entwickelt.

4. DURCHFÜHRUNG

4.1 ANALYSE DER BESTEHENDEN ANFORDERUNGEN AN DIE KRISENKOMMUNIKATION

In diesem Teilarbeitsschritt wurde ein Überblick über die sich aus den vorliegenden Leitfäden, Regelwerken und internationalen Empfehlungen ergebenden Anforderungen an die Krisenkommunikation erstellt. Hierbei wurden vorrangig die folgenden Unterlagen herangezogen und ausgewertet:

- SSK: „Rahmenempfehlung für den Katastrophenschutz in der Umgebung kerntechnischer Anlagen“ (GMBI Nr. 62/63 vom 19.12.2008)
- RSK (Reaktor-Sicherheitskommission)/SSK: „Rahmenempfehlung für die Planung von Notfallschutzmaßnahmen durch Betreiber von Kernkraftwerken“ (BAnz (Bundesanzeiger) Nr. 65 vom 28.04.2011 / Nr. 73 vom 12.05.2011)
- SSK: „Leitfaden zur Information der Öffentlichkeit in kerntechnischen Notfällen“ (BAnz Nr. 152a vom 08.10.2008)
- BBK (Bundesamt für Bevölkerungsschutz und Katastrophenhilfe): Broschüre „Information der Öffentlichkeit über Strahlenrisiken – Krisenkommunikation für Verantwortliche im Katastrophenschutz“ (2008)
- IAEA (International Atomic Energy Agency): „Communication on nuclear, radiation, transport and waste safety: a practical handbook“ (IAEA-TECDOC-1076, 1999)
- OECD/NEA (Organisation for Economic Cooperation and Development / Nuclear Energy Agency): Bericht „CRPPH (Committee on Radiation Protection and Public Health) Expert Group on the Radiological Protection Aspects of the Fukushima Accident – CRPPH-EGRPF (Expert Group on the Radiological Protection Aspects of the Fukushima Accident)“
- Endbericht zum BMU/BfS-Vorhaben „Kommunikation mit der Öffentlichkeit bei radiologischen Ereignissen in kerntechnischen Anlagen“, Kennzeichen: StSch 4480
- Strahlenschutzvorsorgegesetz

Ziel war es hierbei, ein Verständnis für die der späteren Auswertung der Leitfadeninterviews zugrunde liegenden Anforderungen zu entwickeln und einen Überblick über die existierenden Grundlagen und Empfehlungen in Hinblick auf die Krisenkommunikation zu schaffen.

Die Anforderungen und Empfehlungen wurden den einzelnen Themenkomplexen Organisation, interne und externe Zusammenarbeit der Behörden und Organisationen, Öffentlichkeitsarbeit, Notfallschutzübungen sowie Technische Einrichtungen zugeordnet.

4.2 LEITFADENINTERVIEWS

Die Entwicklung der Fragen für die Leitfadeninterviews basierte auf den Informationen aus der vorab ausgewerteten Literatur, den vorliegenden internen Bewertungen von Mitarbeitern sowie den vorhandenen Planungsunterlagen der betrachteten Behörden und Organisationen. Insgesamt sind mit 20 Mitarbeitern von BMU, BfS, SSK-Krisenstab und GRS (jeweils 5 Mitarbeiter pro Behörde bzw. Organisation) Interviews geführt worden. Dabei wurden 13 Interviews mit direktem Kontakt und sieben telefonisch bzw. in Form einer Videokonferenz durchgeführt. Die Dauer der Interviews betrug durchschnittlich eine Stunde und die Gespräche wur-

den zunächst in Stichpunkten protokolliert. Wenn nötig wurden die Protokolle im Anschluss an die Interviews anhand der aufgezeichneten Audioaufnahmen vervollständigt.

4.3 ANALYSE DER ORGANISATIONSÜBERGREIFENDEN PROZESSWEGE, SCHNITTSTELLEN UND KOMMUNIKATIONSPFADE

Der Schwerpunkt dieser Analyse war die Betrachtung der Schnittstellen und Kommunikationspfade innerhalb der und zwischen den beteiligten Behörden und Organisationen sowie die Kommunikation der Behörden und Organisationen mit der Öffentlichkeit und den Medien.

Dabei wurden zunächst für die betrachteten Behörden und Organisationen die vorliegenden Planungsunterlagen zur Notfallorganisation in Hinblick auf die Darstellung der Schnittstellen und Informationsflüsse zwischen den Stäben respektive Organisationseinheiten und die Beschreibung der Zuständigkeiten näher betrachtet.

In einem zweiten Schritt wurde auf Basis der Ergebnisse der Leitfadeninterviews die im Zusammenhang mit dem Unfall in Fukushima tatsächlich stattgefundene Kommunikation und die genutzten Schnittstellen sowie Kommunikationspfade an den Planungsunterlagen zur Notfallorganisation gespiegelt, um entsprechende Abweichungen herauszuarbeiten.

4.4 SCHWACHSTELLENANALYSE UND ERARBEITUNG VON EMPFEHLUNGEN

Die Schwachstellenanalyse und die daraus resultierende Erarbeitung von Empfehlungen basierten im Wesentlichen auf den folgenden Schritten:

- Auswertung der Interviews nach Häufigkeit der Aussagen
- Spiegelung der Aussagen aus den Interviews an der einschlägigen Literatur
- Abgleich der internen Bewertung mit den Aussagen aus den Interviews sowie der einschlägigen Literatur
- Abgleich der Planungsunterlagen mit der durchgeführten Praxis und Spiegelung an der vorhandenen Literatur

Darüber hinaus wurden die langjährigen Erfahrungen mit der Planung, Durchführung sowie der Aus- und Bewertung von Notfall- und Katastrophenschutzübungen und die aus der Bewertung von Betriebsorganisationen und Prozessen resultierende Fachkunde des Auftragnehmers bei der Ableitung von Empfehlungen herangezogen.

Basierend auf der Schwachstellenanalyse wurden Empfehlungen für die Verbesserung der Krisenkommunikation für die betrachteten Behörden und Organisationen abgeleitet. Die resultierenden Empfehlungen bzw. Verbesserungsvorschläge betrafen zum einen konkret einzelne Behörden und Organisationen bzw. deren Stäbe oder Organisationseinheiten. Zum anderen wurden aber auch übergeordnete Empfehlungen zur Verbesserung der Krisenkommunikation abgeleitet, die für mehrere bzw. alle betrachteten Behörden und Organisationen anwendbar sind.

5. ERGEBNISSE

Als grundlegendes Ergebnis des Vorhabens ist festzustellen, dass die stattgefundene Krisenkommunikation innerhalb der und zwischen den einzelnen Behörden und Organisationen sowie die Information der Öffentlichkeit grundsätzlich gut funktioniert haben. Allerdings wurde auch im Rahmen der Interviews zum Ausdruck gebracht, dass ein Grad maximaler Belastung erreicht wurde und man einem vergleichbaren Unfall mit direkteren Auswirkungen auf Deutschland kaum gewachsen gewesen wäre, wobei insbesondere die im Vergleich zur Erwartung deutlich höhere Belastung durch die Anfragen aus der Bevölkerung und den Medien herausgestellt wurde.

Auch wenn die Krisenkommunikation im Zusammenhang mit dem Unfall in Fukushima grundsätzlich gut funktioniert hat, konnten sowohl übergreifend als auch innerhalb der einzelnen Behörden und Organisationen Schwachstellen identifiziert werden. Aus diesen wurden für die hier betrachteten vier Behörden und Organisationen (BMU, BfS, SSK-Krisenstab und GRS) konkrete Empfehlungen bzw. Verbesserungsvorschläge abgeleitet, die die unterschiedlichen Bereiche Organisation, interne und externe Zusammenarbeit, Öffentlichkeitsarbeit, Notfallschutzübungen sowie Technische Einrichtungen betreffen.

Bei der Analyse der Schwachstellen und der Ausarbeitung von Empfehlungen zeichneten sich neben den Aspekten, die eher einzelne Behörden und Organisationen betrafen, insbesondere die

- Kommunikation mit der bzw. Information der Bevölkerung und der Medien sowie die
- Durchführung von Notfallschutzübungen

als Schwerpunkte für Verbesserungsvorschläge ab, die auch übergeordnet für alle betrachteten Behörden und Organisationen gelten.

Einer der wesentlichen Schwerpunkte, der sich aus dem Abgleich des tatsächlich erfolgten Aufbaus und der Arbeitsweise der Notfallorganisationen mit den Planungsunterlagen sowie der einschlägigen Literatur ableiten ließ, betraf das Themengebiet der Öffentlichkeitsarbeit. Der Unfall in Fukushima zeigte deutlich, dass die bestehenden Planungen und Ressourcen der betrachteten Behörden und Organisationen nicht ausreichend aufgestellt waren, um die Anfragen der Medien und Bevölkerung vollumfänglich bedienen zu können. Grundsätzlich ist die Kommunikation mit der Öffentlichkeit eine originär dem BMU obliegende Aufgabe. In der Praxis zeigte sich jedoch, dass alle in diesem Forschungsvorhaben betrachteten Organisationen – mitunter in Abstimmung mit dem BMU – in die Öffentlichkeitsarbeit eingebunden wurden.

Unter Berücksichtigung der Entfernung des Unfallortes ist darüber hinaus davon auszugehen, dass die Anfragen aus der Bevölkerung und den Medien ein erheblich größeres Ausmaß annehmen würden, wenn Deutschland oder ein europäisches Nachbarland von einem vergleichbaren kerntechnischen Unfall betroffen wäre.

Vor diesem Hintergrund und unter Einbeziehung der sich aus der Praxis ergebenden Erkenntnisse im Umgang mit der Öffentlichkeit, wurden im Rahmen dieses Forschungsvorhabens diverse Empfehlungen zur Verbesserung der Kommunikation mit der Öffentlichkeit erarbeitet. Dabei wurde zum einen organisationsübergreifend die verstärkte Einbindung der betrachteten Organisationen in die Planungen zur Öffentlichkeitsarbeit und die in diesem Zusammenhang zu erfolgende Festlegung von Zuständigkeiten und Abgrenzung von Aufgabenbereichen thematisiert. Darüber hinaus wurden für die einzelnen Organisationen Empfehlungen zur Verbesserung im Hinblick auf die Öffentlichkeitsarbeit erarbeitet. Diese variieren in ihrem Ausmaß von der Aufnahme eines Stabes in die Notfallorganisation bis zur Nutzung von Callcentern für die Kommunikation mit der Bevölkerung.

Bezogen auf Notfallschutzübung wurde in den Leitfadenterviews von den Befragten einvernehmlich die Bedeutung und Notwendigkeit der Durchführung entsprechender Übungen herausgestellt, was auch durch die Anforderungen aus der Literatur und durch die langjährigen Erfahrungen des Auftragnehmers mit der Durchführung und Auswertung von Notfallschutzübungen bestätigt wird. In allen betrachteten Behörden und Organisationen werden, wenn auch in unterschiedlichem Ausmaß, Notfallschutzübungen durchgeführt. Allerdings konnten im Zuge des Forschungsvorhabens anhand der Aussagen aus den Leitfadenterviews deutliche Ansätze zur Verbesserung bei der Planung und Durchführung von Notfallschutzübungen herausgearbeitet werden. Dies betrifft insbesondere die den Notfallschutzübungen zugrunde gelegten Szenarien sowie den Umfang und die Schwerpunkte der Übungen.

Zum einen wurde durch das Ausmaß des Unfalles in Fukushima deutlich, dass in den Notfallschutzübungen auch Szenarien mit Blick auf INES (International Nuclear and Radiological Event Scale) 7-Ereignisse (insbesondere mit Ereignissen mit unklarem weiteren Verlauf und dauerhafter oder wiederkehrender Freisetzung, auch in Verbindung mit Ereignissen in Europa oder Deutschland) geübt werden sollten. Hierbei sind auch längere Abläufe (>1 Tag) zu üben. Es sollten sowohl auf Einzelaspekte bezogene Modulübungen (z. B. Lageermittlung, Öffentlichkeitsarbeit) als auch Vollübungen der betroffenen Institutionen und Behörden Anwendung stattfinden. Dabei sollten die Notfallschutzübungen vermehrt behörden- bzw. organisationsübergreifend stattfinden, um so auch die Zusammenarbeit und die Abstimmungsprozesse besser verinnerlichen zu können.

Zum anderen sind, vor dem Hintergrund der im Zuge des Fukushima-Unfalls stattgefundenen Öffentlichkeitsarbeit, verstärkt Aspekte der Öffentlichkeitsarbeit (Umgang mit den Medien und der Bevölkerung) in Notfallschutzübungen einzubeziehen. Wobei auch hier neben dem Umgang mit der Öffentlichkeit und den Medien insbesondere die Abstimmung von Informationen unter den involvierten Behörden und Organisationen eine Rolle spielen sollte.

Darüber hinaus hat sich bei der Durchführung von Notfallschutzübungen gezeigt, dass diese auch unangekündigt und mit einem für den Übenden unbekanntem Szenario durchgeführt werden sollten. Auf diese Weise wird eine möglichst realitätsnahe Übung sichergestellt, bei der auch eine aussagekräftige Überprüfung des Alarmierungsverfahrens sowie des Aufbaus der Notfallorganisation gewährleistet ist.

6. UMSETZUNG DER ERGEBNISSE

Die Ergebnisse des Forschungsvorhabens werden insbesondere in der SSK-Arbeitsgruppe „Erfahrungsrückfluss Fukushima“ diskutiert und in der in dieser Arbeitsgruppe erfolgenden Überarbeitung der Leitfäden, Empfehlungen und Regelwerke zum Notfallschutz von Kernkraftwerken in Deutschland berücksichtigt. Ob weiterer Forschungsbedarf zur Krisenkommunikation im radiologischen Notfall besteht, wird u. a. auch von den Ergebnissen der Diskussion in der SSK-Arbeitsgruppe abhängig sein.

Themenbereich 07

Vorhaben mit allgemeiner Bedeutung für den Strahlenschutz

Subject area 07

Projects of general importance to radiation protection

Thema			
Quantitative Abschätzung des Strahlenrisikos unter Beachtung individueller Expositionsszenarien – Neufassung der Strahlenepidemiologischen Tabellen			
Subject			
<i>Quantitative radiation risk assessment under consideration of individual exposure scenarios – update of the radio-epidemiological tables</i>			
Kennzeichen 3607S04570	Beginn 01.11.2009	Ende 31.10.2012	Fördermittel EUR 301.312,-
Forschungs- / Auftragnehmer Helmholtz-Zentrum München			
Projektleitung Dr. P. Jacob	Fachbetreuung BfS Dr. B. Grosche / AG-SG 1.4	verantwortlich für den Text Dr. A. Ulanouski, Dr. M. Eidemüller	

1. ZIELSETZUNG

Das Projekt konzentrierte sich auf die Methodenentwicklung und die Erstellung eines Computerprogramms für Krebs nach Exposition mit Gamma- und Röntgenstrahlung für diejenigen Organe, in denen Krebs besonders häufig auftritt oder die besonders strahlenempfindlich sind. Dieses sind der Dickdarm, die Lunge, der Magen und die weibliche Brust. Die Abschätzungen der Krebsrisiken beruhen auf den Inzidenzdaten für die Atombombenüberlebenden von Hiroshima und Nagasaki. Da verschiedene Modelle eines Dosis-Wirkungs-Zusammenhangs auf Basis der gleichen Daten unterschiedliche Aussagen machen können, wurde die Methode der „Multi-model inference“ benutzt, um modellunabhängige Risikofaktoren abzuleiten. Für Brustkrebs sollten auch Ergebnisse anderer Studien als die der Atombombenüberlebenden berücksichtigt werden. Bei der Übertragung der Risikofaktoren von den Atombombenüberlebenden auf einen Krebsfall in Deutschland wurden aktuelle Daten zum Krebsrisiko in Deutschland und Unsicherheiten, die sich z. B. durch den geringen Kenntnisstand zum Krebsrisiko nach Expositionen mit niedrigen Dosisleistungen ergeben, berücksichtigt. Das Programm ProZES (**P**rogramm zur Berechnung der **Z**usammenhangswahrscheinlichkeit einer **E**rkrankung und einer **S**trahlenexposition) berechnet eine Wahrscheinlichkeitsverteilung für den Zusammenhang der Erkrankung und einer vorherigen Strahlenexposition.

2. EINZELZIELSETZUNG

- Analyse existierender Ansätze zur Berechnung einer Zusammenhangswahrscheinlichkeit, insbesondere des U.S. „NIOSH/NCI (National Institute for Occupational Safety and Health / National Cancer Institute) Interactive Radio-Epidemiological Program (IREP)“;
- Review und Analyse der stochastischen Korrektur-Faktoren für die empirischen Funktionen des zusätzlichen relativen Risikos;
- Bestimmung der Parameter der Risikomodelle mit der Methode der „Multi-model inference“;
- Berücksichtigung der Übertragung des Strahlenrisikos von der LSS-Kohorte (Kohorte der Atombombenüberlebenden von Hiroshima und Nagasaki) auf die deutsche Bevölkerung;
- Stochastische Berücksichtigung von Unsicherheiten aus Korrekturen für niedrige Dosisraten (DREF (Dosisrateneffektivitätsfaktor));
- Entwicklung und Implementierung von Risikomodellen für Darmkrebs, Magenkrebs, Brustkrebs und Lungenkrebs;
- Entwicklung und Validierung von Algorithmen zur Simulation der Wahrscheinlichkeitsverteilung der Krebsentstehung - Prototyp in der mathematischen Entwicklungsumgebung Matlab;
- Vergleich der Zusammenhangswahrscheinlichkeit von ProZES und dem IREP-Programm;
- Entwicklung einer ersten Version eines End-Benutzerprogramms (Visual Basic.NET und Intel Fortran Math Kernel Library (MKL)).

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) folgendermaßen ausgedrückt werden:

$$Z = \text{ERR} / (1 + \text{ERR})$$

Funktionale Abhängigkeiten des ERR basieren auf empirischen Modellen von verschiedenen epidemiologischen Studien, z. B. von der Kohorte der Atombombenüberlebenden von Hiroshima und Nagasaki oder der gepoolten Studie von acht Kohorten bei Brustkrebs. Typischerweise hängt das ERR 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. Das resultierende ERR wird bestimmt durch die Methode der "Multi-model inference", d. h. die Verteilung der ERR-Werte wird erzeugt durch eine Verteilung spezifisch für die ausgewählten Modelle, die dann jeweils gewichtet werden mit dem globalen Gewicht der einzelnen Modelle, das durch den AIC-Wert bestimmt wird.

Die ERR-Modelle müssen auf die Zielbevölkerung (Deutschland) übertragen werden. Dazu werden Deutschland-spezifische demographische Daten und Daten für die Krebsinzidenz benutzt.

4. DURCHFÜHRUNG

Ein umfassender Review und kritische Analyse der existierenden Ansätze zur Bestimmung der Zusammenhangswahrscheinlichkeit, vor allem des US-Standard Programms IREP, wurde durchgeführt. IREP benutzt Krebs-Risiko-Modelle, die aus der LSS-Kohorte und dem Dosimetrie-System DS86 abgeleitet wurden. DS86 wurde inzwischen durch das neue Dosimetriesystem DS02 abgelöst, was eine Neu-Evaluierung vieler Modelle und Techniken in IREP notwendig gemacht hat.

Die in ProZES implementierten Modelle beruhen auf der Methode der „Multi-model inference“. Als Konsequenz daraus sind die Verteilungen für das ERR, und entsprechend für Z, nicht Gauss-verteilt.

Endgültige empirische Modelle für Darm-, Magen-, Brust- und Lungenkrebs wurden ausgewählt. Die Modelle für Darm-, Magen- und Lungenkrebs stammen von der LSS-Kohorte, während für Brustkrebs Modelle von der gepoolten Studie von acht Kohorten abgeleitet wurden.

Die Modelle für Lungenkrebs basieren auf der neuen Analyse der LSS-Kohorte und berücksichtigen sowohl Strahlung als auch Rauchen als mögliche karzinogene Ursache. Beide Faktoren können additiv oder multiplikativ behandelt werden. Zusätzlich können die Faktoren unabhängig voneinander wirken („einfache“ Modelle) oder sich gegenseitig beeinflussen („generalisierte“ Modelle). Das endgültige Modell, wie es in ProZES implementiert ist, beruht auf einer Mischung dieser Modelle nach der Methode der "Multi-model inference".

Unsicherheiten in der Dosisverteilung der LSS-Kohorte wurden evaluiert. Da einige Unsicherheitsfaktoren beim Übergang von DS86 zu DS02 weggefallen sind, bleibt bei den aktuellen Lösungen für ProZES nur noch ein einzelner Unsicherheitsfaktor, der durch eine log-normale Verteilung mit geometrischem Mittelwert von 1 und einer geometrischen Standardabweichung von 1,1 ausgedrückt wird.

Die Strahlenexposition der japanischen Atombombenüberlebenden entstand durch Gamma- und Neutronenstrahlung und die Unsicherheit des RBE (Relative biologische Wirksamkeit)-Faktors für Neutronen erzeugt einen zusätzlichen Fehler für die Risikoabschätzungen. Um dieser Unsicherheit Rechnung zu tragen, wurde ein zusätzlicher stochastischer Faktor in ProZES eingeführt. Dieser Faktor wird separat für interne und externe Organe mit einer angenommenen Neutronen-RBE Verteilung (Dreiecks-Verteilung von 5 bis 30 mit Maximum bei 10) simuliert.

Eine gründliche Analyse wurde durchgeführt um eine angemessene Art zu bestimmen, das ERR auf die deutsche Bevölkerung zu übertragen. Es wurde gezeigt, dass die in IREP implementierte Technik zeitabhängige Unterschiede in der Hintergrund-Inzidenz in der LSS-Kohorte ignoriert; dies führt zu einem potenziell fehlerbehafteten Übertrag des ERR auf die Zielbevölkerung. Die bei ProZES realisierte Methode gibt weder einem additiven noch multiplikativen Übertrag den Vorzug, da kein allgemeiner Konsens über den bevorzugten Mechanismus herrscht. Beiden Methoden wird deshalb gleiches Gewicht zugewiesen und die resultierende Ver-

teilung des ERR wird erzeugt aus einem zufälligen Sampling, das beide Mechanismen gleichermaßen berücksichtigt.

Für Brust- und Lungenkrebs treten Probleme beim Übertrag der Risikomodelle von der epidemiologischen Kohorte auf die Zielbevölkerung auf. Das Risikomodell für Brustkrebs, wie es in ProZES implementiert ist, basiert auf einer gepoolten Studie von mehreren Kohorten, und somit ist die Hintergrund-Inzidenzrate nicht definiert. Für Lungenkrebs basiert das Modell auf der Krebsinzidenz für Niemals-Raucher. Es gibt dafür jedoch keine epidemiologischen Daten für die deutsche Bevölkerung. Es wurde eine spezielle Technik entwickelt, um die Unsicherheiten für den Risikoübertrag bei fehlenden Hintergrundraten abzuschätzen. Diese Technik ist in der aktuellen Version von ProZES implementiert.

Eine Analyse der Mortalitätsdaten für die LSS-Kohorte hat gezeigt, dass eine in IREP benutzte Funktion für die Beschreibung der Krebs-Latenzzeiten revidiert werden muss. Nach einer Diskussion mit der UNSCEAR (United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation) Expertengruppe wurde diese Funktion neu bestimmt. Es gibt eine Form für alle soliden Krebsarten, und eine mit kürzerer Latenzzeit für Leukämie.

Zur Bestimmung von Korrekturfaktoren für Expositionen bei niedrigen Dosisraten wurde in ProZES ein neuer Zugang vorgeschlagen, begründet und implementiert. In diesem neuen Zugang wird angenommen, dass der Korrekturfaktor durch eine log-normale Verteilung mit geometrischem Mittelwert von 1 und einer dosisraten-abhängigen geometrischen Standardabweichung ausgedrückt wird.

Im Gegensatz zu IREP, wo die Verteilung des ERR aus vorberechneten kumulierten Verteilungen bestimmt wird, wurde für ProZES entschieden, die Risikofunktionen und alle Korrekturfaktoren unabhängig voneinander zu bestimmen und erst ganz am Ende zusammenzuführen. Ein solcher Zugang ist offensichtlich realistischer und flexibler, benötigt jedoch höhere Rechenzeiten. Besondere Aufmerksamkeit wurde deshalb auf eine effiziente und numerisch optimierte Implementierung verwendet.

Die benötigten Daten zur Krebsinzidenz in Deutschland für Magen, weibliche Brust und Lungenkrebs sind für den Zeitraum von 1980 bis 2009 erhältlich. Inzidenzdaten für Darmkrebs liegen nur für den kürzeren Zeitraum von 2002 bis 2008 und ausschließlich für Bayern vor, da bundesweit die Statistik für Darmkrebs (ICD (Internationale statistische Klassifikation der Krankheiten und verwandter Gesundheitsprobleme)10: C18) nur zusammen mit kolorektalen Tumoren (ICD10: C18-C21) berichtet wird. Für das Modell von Lungenkrebs werden in ProZES die Deutschland-spezifischen Daten zum Rauchverhalten der Bevölkerung als (veränderbare) Standardeinstellung genommen.

Die Entwicklung der Algorithmen in ProZES und die Tests wurden in der Computersprache Matlab durchgeführt; für die End-Benutzerversion von ProZES wurde eine spezielle statistische Bibliothek angefertigt mit optimierten Routinen von der Intel MKL (Math Kernel Library) und in ProZES integriert. Eine solche doppelte Implementierung der ProZES Algorithmen dient auch der Qualitätssicherung. ProZES ist als Windows .NET Anwendung realisiert (unter Benutzung des Windows Presentation Framework, das zugleich eine hohe Effizienz und eine flexible und benutzerfreundliche Windows-Oberfläche kombiniert). Testversionen des Programms wurden an die Mitglieder der SSK Arbeitsgruppe verteilt.

5. ERGEBNISSE

Ein Review und kritische Analyse der existierenden Ansätze zur Berechnung der Zusammenhangswahrscheinlichkeit wurden durchgeführt. Krebsrisikomodelle für Darm, Magen, Lunge und weibliche Brust wurden neu evaluiert und mit der Methode der „Multi-model inference“ bestimmt. Ein ausführlicher Vergleich mit existierenden Modellen (BEIR (Biological Effects of Ionising Radiation), RERF (Radiation Effects Research Foundation), UNSCEAR, IREP) wurde durchgeführt. Entsprechende Modelle und ihre Parameter sowie angemessene stochastische Faktoren, die die inhärenten Unsicherheiten repräsentieren, wurden ausgewählt oder entwickelt.

Eine erste Version des ProZES Programms wurde entwickelt. Das Programm implementiert numerische und stochastische Simulations-Routinen und stellt Funktionen zum Laden, Speichern oder Editieren von Eingabedaten zur Verfügung. Zurzeit werden Excel-spezifische, Komma- oder Tab-separierte Formate unterstützt. Ein Beispiel für einen Eingabe-Datensatz ist in Abbildung 1 dargestellt. Die Ergebnisse für die abgeschätzte Verteilung der Zusammenhangswahrscheinlichkeit Z können vom Programm in graphischer Form (Abbildung 2) oder in Textform dargestellt werden.

Kennwert	Wert	Kommentar	Extradata nur für Lungenkrebs (ICD10:C34)				
ID	B001 (z.B.)	nicht verbindlich	Kennwert	Wert	Kommentar		
Name	Mustermann	nicht verbindlich	Rauchstatus	-1	(unbekannt: -1; nie-Raucher: 0; je-Raucher: 1)		
Geschlecht	M	(M - männlich, F - weiblich)	Rauchverhalten	0	(unbekannt: 0; bekannt: 1)		
Geburtsjahr	1936		Rauchintensität	0	[Zigaretten pro Tag]		
Diagnosejahr	2006		Raucheinstiegsalter	0	[Lebensjahr]		
Diagnose (ICD10)	C34	ICD10 Kodierung nutzen	Rauchausstiegssalter	0	[Lebensjahr]		
Bestrahlung Nr.	Beginndatum	Dauer (Arbeit-St)	Strahlungstyp	Dosisverteilung	1.Parameter	2.Parameter	3.Parameter
X	01.01.1986	1	1	LN	1	1.7	0

Abbildung 1:
Beispiel einer Eingabe-Datei im MS Excel 2007–2010 Format

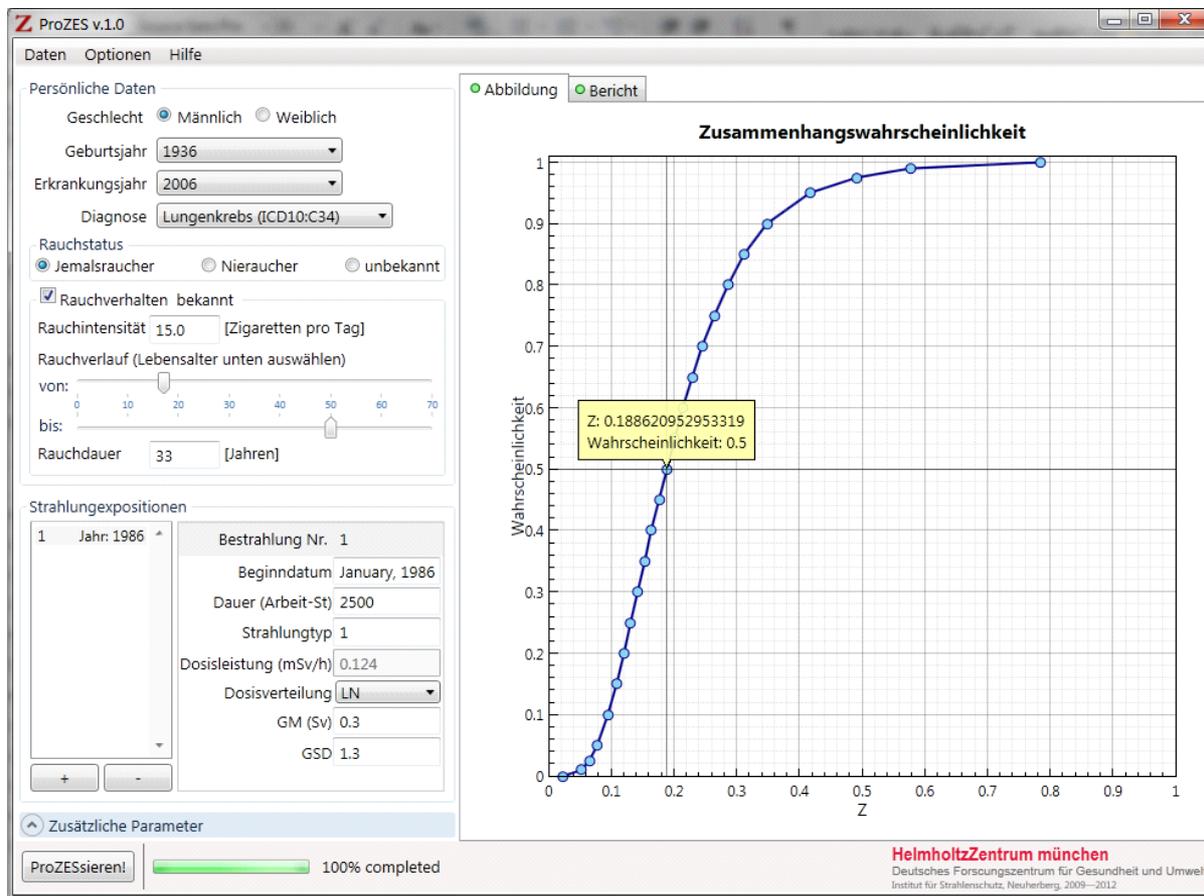


Abbildung 2:
Screenshot des ProZES Programms für die Berechnung der Zusammenhangswahrscheinlichkeit für Lungenkrebs. Ein spezifisches Rauchverhalten wurde vom Nutzer vorgegeben

In dieser ersten Version von ProZES gibt es keine Möglichkeit für den Endnutzer, die Krebsinzidenz- und Bevölkerungsdaten oder die Modellparameter der Risikomodelle zu verändern. Diese Daten sind in das Programm fest eingebaut.

Mitglieder der SSK (Strahlenschutzkommission)-Arbeitsgruppe waren involviert in die Tests dieser ersten Version von ProZES.

Ein Vergleich der Resultate der ersten Version von ProZES und den entsprechenden Resultaten der IREP-Programme (sowohl der NCI- wie NIOSH-basierten Version) zeigt ähnliche Ergebnisse, aber auch Unterschiede auf. ProZES implementiert die neuesten und fortgeschrittensten Modelle für das Risiko von strahleninduziertem Krebs, welche oftmals von den früheren Modellen der IREP-Programme abweichen.

Einer der offensichtlichen Unterschiede zwischen beiden Programmen hängt mit der Implementierung des Dosis- und Dosisrateneffektes zusammen. Der Dosisrateneffekt-Faktor DREF in ProZES führt zu einer Verbreiterung der Z-Verteilung, ändert aber nicht den Wert des Medians (Geometrisches Mittel). In IREP ändert der Dosis- und Dosisrateneffekt-Faktor (DDREF) den Median, und erniedrigt so die Zusammenhangswahrscheinlichkeit für chronische Expositionen und erhöht sie für akute Exposition.

Für Magenkrebs sind die Resultate von ProZES und IREP in guter Übereinstimmung, obwohl die Form der Z-Verteilung etwas unterschiedlich ist, vermutlich auf Grund starker Unterschiede der Krebsinzidenz bei Magen für Japan, den USA und Deutschland.

Bei der Zusammenhangswahrscheinlichkeit für Darmkrebs ist die geschlechter-gemittelte Verteilung bei ProZES und IREP in wesentlich besserer Übereinstimmung als die geschlechts-spezifische. Ein Vergleich der geschlechts-spezifischen Verteilung zeigt, dass die Resultate für Z in ProZES höher bei Männern und niedriger bei Frauen sind; der Grund liegt in den stark unterschiedlichen Darmkrebs-Inzidenzraten für Frauen und Männer in der LSS-Kohorte.

Die Zusammenhangswahrscheinlichkeit für weiblichen Brustkrebs in ProZES und IREP ist in guter Übereinstimmung, wobei die Resultate von IREP eine breitere Verteilung und keine Abhängigkeit vom Alter bei Exposition haben.

Die größten Unterschiede zwischen ProZES und beiden Versionen von IREP werden bei Lungenkrebs beobachtet. Diese Unterschiede rühren von den stark abweichenden Modellen in ProZES und den NCI- und NIOSH-Varianten von IREP her. Zum Beispiel zeigen ProZES und IREP ein ähnliches Verhalten für Nie-mals-Raucher, aber mit entgegengesetztem Verhalten von Alter bei Exposition: ProZES sagt eine kleinere Zusammenhangswahrscheinlichkeit als beide IREP-Varianten für junge Alter bei Exposition voraus. Für Viel-Raucher liefern beide IREP-Varianten ein kleineres Z als ProZES, das für die Berechnung auch ein generalisiertes Modell mit einer Interaktion zwischen Rauchen und Strahlung berücksichtigt.

6. ZUKÜNFTIGE ENTWICKLUNG

Die Entwicklung eines adäquaten Modells und des entsprechenden Programms ProZES zur Ermittlung der Zusammenhangswahrscheinlichkeit zwischen einer vorangegangenen Strahlenexposition und einer Krebserkrankung wurde in diesem Vorhaben für vier ausgewählte Lokalisationen und Expositionen mit Niedrig-LET (Linearer Energietransfer)-Strahlung sowie mit Neutronen entwickelt. Damit ist nur ein Ausschnitt aus dem gesamten Spektrum möglicher Expositionen und Krebserkrankungen abgedeckt.

Dem entsprechend werden in einer zweiten Phase der Entwicklung von ProZES weitere Krebslokalisationen wie Leukämie, Schilddrüse und andere solide Tumore berücksichtigt. Die Liste von berücksichtigten Strahlungstypen soll erweitert werden und auch Hoch-LET-Strahlung einschließen. Eine benutzerfreundliche Version von ProZES mit weiteren Funktionen soll erstellt werden. Bevölkerungs- und Krebsdaten, die derzeit noch im Programm selbst enthalten sind, sollen aus dem Programm in externe Dateien ausgelagert werden, so dass es möglich sein wird, diese Dateien zu ändern ohne das Programm zu modifizieren.

Die Arbeiten werden auch weiterhin von einer UNSCEAR-Expertengruppe und durch eine Arbeitsgruppe der SSK begleitet werden.

Das vollständige Produkt wird voraussichtlich Ende 2015 vorliegen und dann der interessierten Öffentlichkeit zur Verfügung gestellt werden.

Thema Vermittlung von Informationen zum Strahlenschutz und deren Wahrnehmung in der Öffentlichkeit			
Subject <i>Communication of information regarding radiation protection and its public perception</i>			
Kennzeichen 3611S70005	Beginn 01.09.2011	Ende 31.08.2012	Fördermittel EUR 129.73,-
Forschungs- / Auftragnehmer IKU GmbH, Dortmund, Dr. Peter M. Wiedemann, Berlin			
Projektleitung Dr. Frank Claus Prof. Dr. P. M. Wiedemann	Fachbetreuung BfS C. Egblomassé-Roidl / AG SG 1.4	verantwortlich für den Text K. Lühr	

1. ZIELSETZUNG

Ziel des Vorhabens war die Klärung, wer im Bereich Strahlenschutz die Öffentlichkeit informiert, welche Absicht damit verfolgt wird, wie diese Angebote bei den Zielgruppen wahrgenommen und inwieweit sie als glaubwürdig angesehen werden. Die betrachteten Akteursgruppen waren Wissenschaft, Behörden, Industrie und Zivilgesellschaft. Die betrachteten Strahlungsbereiche umfassten nieder- und hochfrequente elektrische und magnetische Felder (NF / HF EMF) sowie UV- und ionisierende Strahlung.

2. EINZELZIELSETZUNG

2.1 STAND RELEVANTER ERKENNTNISSE (AP 1)

Ziel des Arbeitspakets 1 war die Zusammenstellung von Forschungsarbeiten zur Bekanntheit und Glaubwürdigkeit von Institutionen in Deutschland, deren Aufgabe es ist,

- auf wissenschaftlicher Grundlage Risikobewertungen durchzuführen,
- Regulationen durchzusetzen und den Strahlenschutz zu überwachen oder
- Anlagen zu betreiben, die dem Strahlenschutz unterliegen.

Durch die geringe Zahl an Studien in Deutschland wurde die Analyse auch auf internationale Studien ausgeweitet.

2.2 BESTANDSAUFNAHME DES INFORMATIONSMANGELS (AP 2)

In Arbeitspaket 2 sollte das Informationsangebot zum Strahlenschutz seitens Wissenschaft, Behörden sowie Industrie und Zivilgesellschaft gesichtet und beschrieben werden. Herausgestellt wurde,

- wer im Medium Internet Informationen anbietet,
- was der sachliche Kern des Informationsangebots ist,
- was der Anbieter mit der Information bezweckt und
- an wen sich die Information richtet.

2.3 REPRÄSENTATIVE UMFRAGE ZUR WAHRNEHMUNG DER INFORMATIONSMANGEL (AP 3)

Ziel des dritten Arbeitspakets war es mit Hilfe einer repräsentativen Umfrage (N = 2 500) die Informationsangebote unter den Aspekten der Bekanntheit, Glaubwürdigkeit und Verständlichkeit bewerten zu lassen. Darüber hinaus wurde untersucht, welche Strahlungsbereiche als am risikoreichsten wahrgenommen werden und welche Kanäle für Informationen zum Strahlenschutz genutzt werden.

2.4 BERICHT MIT EMPFEHLUNGEN

Der abschließende Bericht zielt darauf, die Ergebnisse der Arbeitspakete 1 bis 3 zusammenzufassen und Empfehlungen für eine Optimierung der Informationsaktivitäten des BfS zu geben. Dabei lag der Fokus insbesondere auf den Informationsangeboten des BfS in seiner Internetpräsenz und der Darstellung von Strahlenschutzthemen. Zusätzlich wurden Empfehlungen für das BfS hinsichtlich der untersuchten Akteursgruppen Wirtschaft, Behörden, Zivilgesellschaft und Wissenschaft formuliert.

3. METHODIK

Zur Beantwortung der in Arbeitspaket 1 aufgeworfenen Fragen in den Bereichen Glaubwürdigkeit und Bekanntheit wurden mittels einer Literaturstudie jene Publikationen einbezogen, die in einschlägigen Datenbanken und Fachzeitschriften auffindbar sind. Auf Grund der mangelnden Anzahl deutschsprachiger Studien wurde die Literaturstudie erweitert, indem der aktuelle Stand der wissenschaftlichen Forschung zur Information über Strahlenschutz in den vier benannten Strahlungsbereichen nieder- und hochfrequente elektrische und magnetische Felder (NF / HF EMF) sowie UV- und ionisierende Strahlung gesichtet wurde.

Zur Bestandsaufnahme des Informationsangebots in Arbeitspaket 2 wurde entsprechend der Zielsetzung eine Recherchestrategie entwickelt und mit dem BfS abgestimmt. Ausgangspunkt der Bestandsaufnahme war die Frage, wo Menschen in ihrer Arbeits- und Freizeit mit Strahlung verschiedener Art in Berührung kommen können (siehe Abbildung 1).

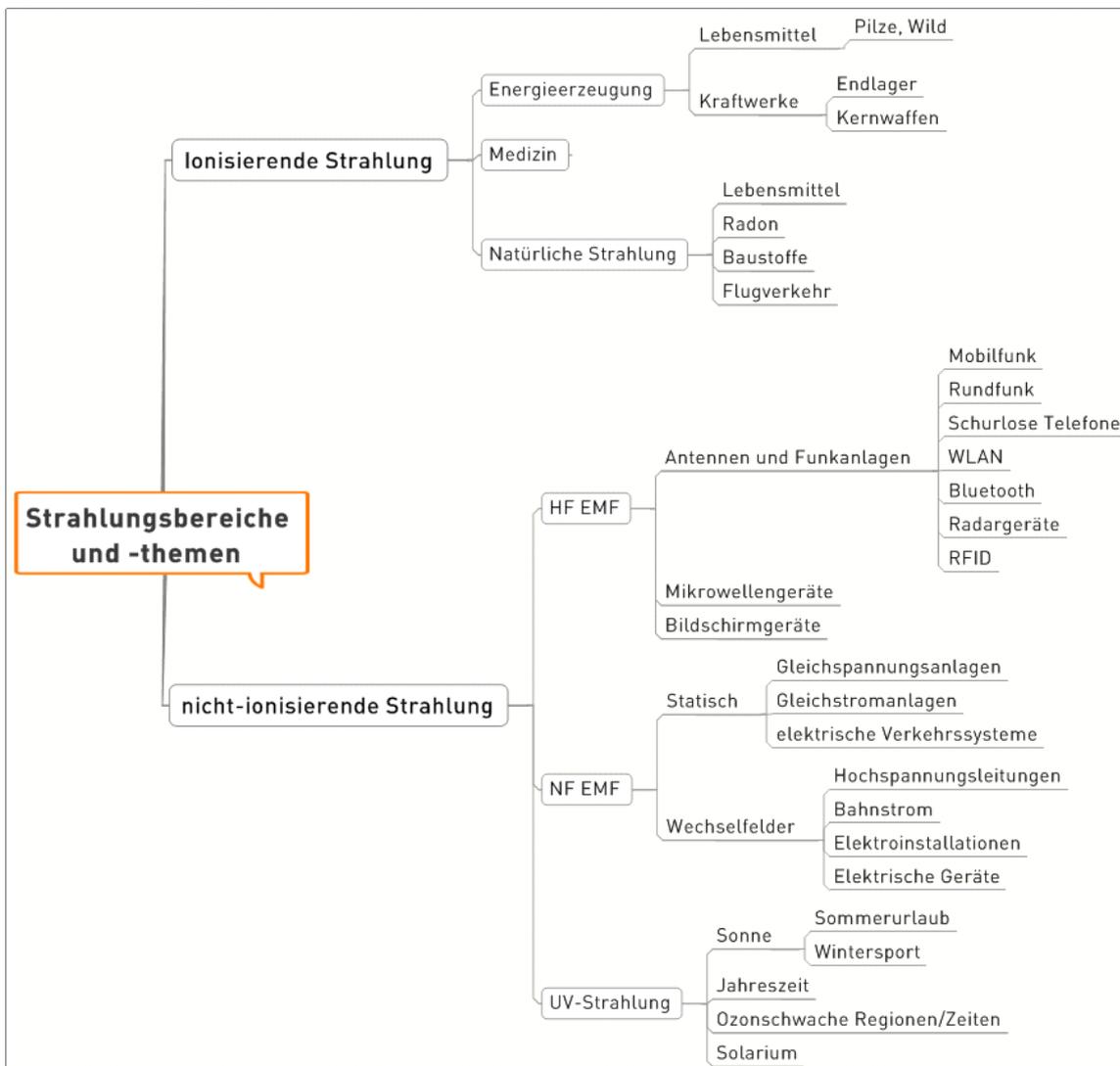


Abbildung 1:
Untersuchte Strahlungs- und Themenbereiche

Zu den relevanten Anwendungsfeldern (beispielsweise Radonbelastung in Heilbädern, EMF in Haushaltsgeräten usw.) wurden jene Akteure der Bereiche Wissenschaft, Behörden, Industrie und Zivilgesellschaft recherchiert, von denen Informationsangebote zu erwarten wären. Ort der Bestandsaufnahme stellte ausschließlich das Medium Internet dar und folgte der Logik eines Informationssuchenden. Die Dokumentation der Bestandsaufnahmen folgte der Frage: wer berichtet welche Sachverhalte zu welchem Zweck an welche Zielgruppe?

Ausgehend von der Zielsetzung des Arbeitspakets 3 wurden sowohl zu den Kriterien Bekanntheit und Verständlichkeit von Informationsangeboten als auch zum Kriterium Glaubwürdigkeit des Informationsgebers Fragestellungen operationalisiert. Das Unternehmen für Medien- und Sozialforschung TNS Emnid erstellte daraufhin ein Erhebungsinstrument für die 10-minütige telefonische Befragung, welches mit dem BfS abgestimmt wurde. Die Fragestellungen waren ausschließlich quantitativer Art. Die sozialdemografischen Daten umfassten neben Alter, Geschlecht und Bildung die Personenanzahl, das Einkommen und die Anzahl der Kinder im Haushalt der Studienteilnehmer. Zusätzlich wurden der Migrationshintergrund, die Erwerbstätigkeit und die Nutzung des Internets der Befragten erfasst.

4. DURCHFÜHRUNG

Bei der Durchführung von Arbeitspaket 1 wurden jene Publikationen berücksichtigt, die in einschlägigen Datenbanken und Fachzeitschriften auffindbar sind. In einem entsprechenden Bericht wurden diese zusammenfassend bewertet.

Im Arbeitspaket 2 wurden in einer ersten Phase Internet-Präsenzen von Akteuren bezüglich ihrer Informationen zum Strahlenschutz gesichtet, von denen der Auftragnehmer eine Aufklärungshaltung zur Bevölkerung erwartete. Im Sinne einer Verantwortungskette wurden ebenfalls jene Akteure hervorgehoben, bei denen Informationen zum Strahlenschutz erwartet, jedoch nicht gefunden wurden. Die zweite Suchphase benutzte als Instrument den Internet-Suchanbieter Google mit dem Ziel, die prominentesten Informationsgeber zu den inhaltlichen Anwendungsfeldern zu identifizieren. Abschließend wurden zu jedem Strahlungsbereich die Informationsangebote der BfS-Internetseite betrachtet. Die gesamte Recherchephase erstreckt sich auf den Zeitraum zwischen Dezember 2011 und Februar 2012. Als Produkt der Rechercheauswertung wurde in Berichtsform dargestellt, welche Akteursgruppen je Strahlungsbereich Informationen zum Strahlenschutz anbieten. Diese Informationen wurden in Hinblick auf Umfang, Handlungsrelevanz und Qualität bewertet. Vereinzelt finden sich im Ergebnisbericht sowohl qualitativ gute als auch für den Akteurs- oder Strahlungsbereich typische bzw. häufig angetroffene Beispiele von Informationsangeboten wieder, die durch Screenshots illustriert sind.

In der quantitativen Untersuchung des Arbeitspakets 3 wählte TNS Emnid repräsentativ eine Stichprobe von 2500 Teilnehmern aus und führte die Interviews in einer Feldzeit von zwei Wochen im Mai 2012 durch. Die Ergebnisse wurden von TNS Emnid in einem Tabellenband aufgeführt und als SPSS-Datei an IKU übermittelt. IKU führte die statistische Auswertung durch und stimmte sich für weitere Forschungsfragen mit dem BfS ab.

5. ERGEBNISSE

Die Literaturstudie zeigte, dass sozialwissenschaftliche Daten zur Risiko-Wahrnehmung und zur Risiko-Kommunikation umfassend für die hier zu beleuchtenden Strahlungsbereiche nieder- und hochfrequente elektrische und magnetische Felder (NF / HF EMF) sowie UV- und ionisierende Strahlung vorliegen. Lücken existierten hingegen bei den Bereichen sichtbares Licht, Infrarot, Behördenfunk (TETRA¹⁾), Mikrowelle sowie statische magnetische und elektrische Felder. Die meisten Studien lagen für den Bereich hochfrequente Felder vor und wurden hauptsächlich durch das BfS gefördert. Im Rahmen sozialwissenschaftlicher EMF-Forschung lag der Schwerpunkt auf der Erfassung der Risiko-Wahrnehmung, wobei analytische Studien, die Prozesse der Risiko-Wahrnehmung beschreiben, seltener sind. Studien zur akteursbezogenen Erfassung des Vertrauens sind hinlänglich vorhanden. Studien zu Dialog und Beteiligung sind dagegen eher die Ausnahme. Bereichsspezifisch betrachtet, ist die UV-Strahlung am besten erforscht, während die Forschung zu NF nur wenig evidenzbasierte Empfehlungen für die Risiko-Kommunikation zu bieten hat. Die Qualität der Studien variiert zum Teil beträchtlich, wobei insgesamt ein positiver Trend zu besseren Studien zu erkennen ist. Im Hinblick auf die Wirksamkeit von Risikoinformation zeigt sich, dass kein Akteur alle Voraussetzungen erfüllt, die für das Gelingen von Risikokommunikation von Bedeutung sind (siehe Tabelle 1).

¹⁾ Terrestrial trunked radio

Die durchgeführte Analyse in AP 2 in den einzelnen Strahlungsbereichen zeigte, dass besonders zu den Themenfeldern ultraviolette Strahlung, Mobilfunk und nukleare Unfälle über fast alle Akteursbereiche umfassende Informationsangebote mit Handlungsempfehlungen dargeboten werden. Demgegenüber fanden sich bei niederfrequenten Feldern, im Mobilitätsbereich und zu Radioaktivität im Bergbau und bei Baustoffen keine oder nur sehr wenige Informationen. Kein eindeutiges Bild lies sich über die Akteursbereiche Wirtschaft, Zivilgesellschaft, Behörden und Wissenschaft feststellen. So gab es zu jeder Strahlungsart aus jedem Akteursbereich wenigstens einen Informationsgeber, wenn auch mit Angeboten unterschiedlicher Qualität. Nichtregierungsorganisationen (NGO) fielen deutlich häufiger mit umfassenden Strahlenschutzinformationen auf, die auch Handlungsempfehlungen enthalten. Bei wissenschaftlichen Institutionen waren Hinweise zu Strahlenschutzverhalten eher die Ausnahme. Unternehmen und Behörden hielten sich bezüglich der Fokussierung auf Handlungsempfehlungen in etwa die Waage, wobei Ministerien und Ämter ein deutlich breites Themenspektrum bearbeiteten und darstellten. In der Betrachtung der Informationsangebote fielen verschiedene Ansätze der Darbietung von Information zum Strahlenschutz auf. Diese reichten von der Darstellung wissenschaftlicher Erkenntnisse oder gesetzlicher Grundlagen in Reinform bis zum laienverständlichen und verbraucherorientierten Aufzeigen, wie konkretes Schutzverhalten vor Strahlung gewährleistet werden kann (siehe Tabelle 2).

Die quantitative Studie des AP 3 ergab ein großes Interesse am Thema Strahlenschutz in der Stichprobe. Insbesondere die Themen „AKW¹⁾“ und „UV-Strahlung“ fanden besondere Beachtung. Die Risikowahrnehmung in Bezug auf die Strahlung von AKWs war am stärksten ausgeprägt. Die UV-Strahlung wurde als eher gefährlich eingeschätzt. Alle anderen Strahlenquellen wurden hingegen im Mittel als eher ungefährlich beurteilt. Die hauptsächlichen Informationsquellen zu Themen des Strahlenschutzes waren für die Öffentlichkeit Fernsehen und Printmedien. Informationsmaterialien aus Wissenschaft, von Behörden, NGOs und Industrie waren nur einer Minderheit bekannt.

Das Fachwissen zum Thema „Gefahr von Strahlen“ wurde bei allen Akteuren als „eher gut“ bis „gut“ eingeschätzt. Dabei wurde das BfS bezüglich des Fachwissens in einer Gruppe mit der Weltgesundheitsorganisation (WHO) gesehen. Personen, die angaben, die Internetseite des BfS schon einmal besucht zu haben, schrieben dem BfS zudem ein höheres Fachwissen zu. Außer der Industrie wurde allen anderen Akteuren - d. h. BfS, WHO, Umwelt- und Gesundheitsämtern, Ärzten, Bürgerinitiativen und Greenpeace - von der Mehrheit der Befragten zugesprochen, dass sie ehrlich und offen zum Thema Strahlenschutz informieren.

Tabelle 1: Merkmale der Risikokommunikation verschiedener Akteure zu Strahlenrisiken

	Informationsangebot	Bekanntheit des Angebots	Glaubwürdigkeit der Informationen	Risikoinformation wird verstanden	Wirkung
BfS	ja	gering	ja	hochgradig kontextabhängig	
WHO (World Health Organization)	ja	?	ja		
SSK (Strahlenschutzkommission)	ja	gering	wahrscheinlich		
Umwelt- & Gesundheitsämter	ja	gering	ja		
Bürgerinitiativen	ja	gering	wird unterschiedlich bewertet		
Verbraucherzentralen	ja	eher gering	ja		
Unternehmen	zum Teil	gering	eher ungläubwürdig		

¹⁾ Atomkraftwerk

Tabelle 2: Übersicht der Strahlenschutzinformationen je Akteursbereich (eine Auswahl)

Bereich	Wirtschaft	Zivilgesellschaft /NGO	Behörden (ohne BfS)	Wissenschaft
UV	*** (von Verbänden und Krankenkassen)	***	***	**
NF EMF - Mobilität	-	-	-	-
NF EMF-Elektrogeräte	-	***	-	-
NF EMF-Hochspannung	** (von Übertragungsnetzbetreibern)	***	**	*
Ionisierend - Kernkraftwerke	***	***	***	**
Ionisierend - Radon	*	-	***	***
Ionisierend - Kosmische Strahlung	-	***	-	**
Ionisierend - Uran im Wasser	*	**	**	**
Ionisierend - Medizin	*	*	*	*
Legende - Keine Angaben * nur physikalische Grundlagen, Studien, Richtlinien, Positionierungen ** sowohl über * als auch über biologische Wirkungen und Expositionsorte *** sowohl über ** als auch konkrete Empfehlungen zum Schutz				

Die Empfehlungen von IKU zielen in verschiedener Hinsicht auf eine Stärkung des breiten BfS-Informationsangebots ab. Dazu gehört es, die Inhalte laienverständlicher zu gestalten und einheitlicher zu gliedern, um Verständnis und Orientierung zu erhöhen. IKU empfiehlt zudem die sprachliche Ausweitung der englischen Angebote und die zusätzliche Erweiterung in türkischer Sprache. Dem BfS wird geraten, seine Bekanntheit zu stärken und Themen im Fernsehen und in Printmedien zu platzieren. In Kooperation mit den Akteursgruppen Wirtschaft, Behörden, Zivilgesellschaft und Wissenschaft sollten Informationsangebote stärker zielgruppen- und kontextbezogen ausgerichtet und mit Hilfe der Akteursgruppen den Zielgruppen aktiv angeboten werden.

6. UMSETZUNG DER ERGEBNISSE

Ziel des Vorhabens war es, auf der Basis

- relevanter Erkenntnisse zur Bekanntheit und Glaubwürdigkeit von Institutionen, die Informationen zum Thema Strahlenschutz anbieten,
- einer bewertenden Bestandsaufnahme dieser Informationen und
- einer repräsentativen Umfrage zu deren Wahrnehmung

Empfehlungen zur Informationsaufbereitung für das BfS zu erarbeiten. Diese Empfehlungen sollen dazu dienen, die Informationsseiten des BfS noch bürgerfreundlicher und somit auch verständlicher zu gestalten.

Eine grundsätzliche Feststellung war, dass der teilweise dreistufige kaskadische Aufbau (zuerst Botschaft und dann Details) des Informationsangebots auf den Internetseiten des BfS gut angenommen wird. Der einheitlich gestaltete Internetauftritt erleichtert dem Leser den Zugang und führt zu weniger Abbrüchen bei der Recherche. Der bereits begonnene Umbau des Informationsangebot des BfS (wie z. B. UV-Strahlung, Ausbau Stromnetze) sollte zügig vorangetrieben und auf das ganze Spektrum ausgedehnt werden. Dies beinhaltet sowohl die verständlichere Art zu schreiben (einfacher Satzbau, Substantivierungen vermeiden, Fachbegriffe erklären) als auch den kaskadischen Aufbau.

Eine zielgruppengerechte Ansprache zur kontextbezogenen Information von Multiplikatoren sollte verstärkt genutzt werden. Die Informationen des BfS können hierbei unterstützend für andere Akteure eingesetzt werden.

Es wurde vorgeschlagen, dass das Informationsangebot des BfS auch in englischer und z. B. türkischer Sprache angeboten werden sollte, wobei einige Texte mittlerweile bereits in Englisch vorliegen.

Die Bekanntheit des BfS als Informationsanbieter könnte allerdings noch gesteigert werden. Es sollte geprüft werden, ob die Nutzung von Social Media (Facebook, Google+, Twitter) und die Platzierung von Themen in den Massenmedien geeignete Maßnahmen sind. Eine andere Maßnahme stellen Kampagnen dar, wie sie bereits im Bereich der UV-Strahlung und zum Thema Endlager durchgeführt werden. Analog zum UV-Bündnis bestünde die Möglichkeit einer stärkeren Vernetzung mit anderen Akteursgruppen. Thema einer solchen Kampagne könnte etwa „Radon“ sein, insbesondere vor dem Hintergrund, dass die neuen EU-Grundnormen hier zu einer erheblichen Veränderung führen werden. Auch der Bereich des Ausbaus der Stromnetze im Zusammenhang mit der Energiewende bietet sich an, da viele Anwohner nicht nur eine optische Beeinträchtigung ihres Wohnumfeldes sehen sondern auch gesundheitliche Gefährdungen befürchten.

Unabhängig von der Realisierbarkeit solcher Kampagnen können anhand der Ergebnisse des Vorhabens sowohl BMU als auch BfS ihr Informationsangebot optimieren.

Themenbereich 08
Nichtionisierende Strahlung

Subject area 08
Non-ionising radiation

Thema			
Einfluss hochfrequenter elektromagnetischer Felder des Mobilfunks auf menschliche Fibroblasten (Gentoxizität)			
Subject			
<i>Influence of high frequency electromagnetic fields of mobile phone telecommunication on human fibroblasts (gene toxicity)</i>			
Kennzeichen 3607S04504	Beginn 01.09.2007	Ende 31.12.2012	Fördermittel EUR 566 072,-
Forschungs- / Auftragnehmer			
Technische Universität Darmstadt, Fachbereich Biologie, Institut für Zoologie			
Projektleitung Prof. Dr. P. G. Layer		Fachbetreuung BfS Dr. M. Asmuss / AG-SG 1.4	verantwortlich für den Text Prof. Dr. P. G. Layer

1. ZIELSETZUNG

Das Ziel des Projekts war es, mögliche DNA (Desoxyribonukleinsäure)- oder chromosomenschädigende Wirkungen der für Mobilfunksysteme genutzten hochfrequenten elektromagnetischen Felder (EMF) im Rahmen einer verblindeten in vitro-Studie, d. h. in Zellkultur, zu untersuchen.

2. EINZELZIELSETZUNG

Fibroblastenkulturen in niedriger Passage von adulten und juvenilen Spendern wurden mit gepulsten 1,8 GHz GSM (Global system for mobile communications)-Signalen befeldet und mögliche Effekte in den Zielzellen untersucht.

2.1 PROBANDEN

Es wurden 10 junge Erwachsene von 18-19 Jahren und 10 ältere im Alter von 50 – 59 Jahren (Nichtraucher) als Spender rekrutiert.

2.2 BEFELDUNG

Subkonfluente Fibroblastenkulturen wurden in geeignetem Medium einem gepulsten 1,8 GHz GSM-Signal ausgesetzt (intermittierend 5 min an, 10 min aus; mit SAR (Spezifische Absorptionsrate)-Werten von 0 (Scheinbefeldung), 0,2, 2 und 10 W/kg).

2.3 UNTERSUCHTE ENDPUNKTE

Untersucht wurden DNA-Strangbrüche mit dem Comet-Assay, die Induktion von Mikrokernen, numerische Chromosomenaberrationen, oxidative DNA-Schäden, Zellzyklusverteilung und Zelltod (Apoptose).

2.4 AUSWERTUNG

Die Auswertung erfolgte mit verblindeten Präparaten, jeweils in einem Labor mit vorhandener Expertise; die Herstellung der stabilen Präparate und deren Codierung erfolgten örtlich und personell getrennt. Die Statistik wurde durch das Institut für Medizinische Biometrie, Epidemiologie und Informatik (IMBEI) an der Universität Mainz unter Prof. Blettner durchgeführt.

3. METHODIK

3.1 COMET-ASSAY

Der Comet-Assay (CoA) wurde in der alkalischen Version eingesetzt, um Einzel- und Doppelstrangbrüche sowie abasische bzw. alkalilabile Stellen nachzuweisen. Als Positivkontrolle diente 4-Nitrochinolin-1-oxid (4NQO).

3.2 MIKROKERN-TEST (MN)

Der Test wurde mit der Zytokineseblock-Technik unter Verwendung von Cytochalasin B (CB) durchgeführt, um durch die Auswertung binukleärer Zellen eine hohe Spezifität und Sensitivität zu erhalten. Neben einer 15-stündigen Befeldung wurde auch eine 72-stündige Befeldung durchgeführt, um sicherzustellen, dass sich die Exposition über alle Phasen des Zellzyklus erstreckte. Als Positivkontrolle diente die Chemikalie Colcemid. Die Ergebnisse wurden per Zentromermarkierung mit CREST¹⁾-Antiserum ausgewertet.

3.3 NUMERISCHE CHROMOSOMENABERRATIONEN (CA)

Um aneugenen Störungen nachzugehen, wurde in Ergänzung zur CREST-Analytik bei Giemsa-gefärbten Metaphasespreitungen die Chromosomenzahl mikroskopisch bestimmt. Als Positivkontrolle diente das Spindelgift Colcemid.

Auf Grund der zu geringen Sensitivität im Nachweis von Aneuploidien bei den primären dermalen Fibroblasten wurde im Verlauf des Projektes die numerische CA durch CREST-Mikrokerntests mit fünffachem Stichprobenumfang, entsprechend 10 000 Binukleaten je Dosis je Proband, ersetzt.

3.4 OXIDATIVE DNA-SCHÄDEN

Der oxidative Basenschaden 8-oxo-Guanin sollte in der DNA zunächst unter Verwendung eines monoklonalen Antikörpers durchflusszytometrisch nachgewiesen werden. Da die Erfahrung gezeigt hatte, dass käufliche Antikörper gegen 8-oxo-Guanin oft mangelhaft sind, wurde von vornherein parallel der Comet-Assay mit Fpg²⁾-Inkubation geplant, um Fpg-sensitive Schäden als Maß für oxidative DNA-Schäden nachzuweisen. Dieser Fpg-Comet-Assay wurde im Zuge des Projekts auch schlussendlich als analytischer Endpunkt für oxidative DNA-Schäden durchgeführt.

3.5 APOPTOSE

Der Nachweis des programmierten Zelltods als Folge der Befeldung erfolgte mit Hilfe des TUNEL³⁾-Assays.

3.6 ZELLZYKLUSANALYSEN

Die Zellzyklusverteilung der Zellen wurde in Ethanol-fixierten und mit Propidiumiodid gefärbten Zellsuspensionen durchflusszytometrisch analysiert.

3.7 CODIERUNG DER PROBEN

Jedem Spender wurde in Fragebögen, die weder Adresse noch Namen des Spenders enthielten, eine Code-Nummer zugeteilt. Die Codierung der Proben erfolgte willkürlich, so dass keines der Präparate im auswertenden Labor einem Probanden oder einer Behandlung zugeordnet werden konnte. Die Codes bestanden aus zwei Buchstaben und vier Ziffern; sie wurden an den verantwortlichen Biostatistiker übermittelt.

4. DURCHFÜHRUNG

4.1 BEFELDUNG UND ANALYSEN

In diesem Projekt wurde der Einfluss einer EMF-Befeldung (GSM 1 800) mit SAR-Werten von 0,2, 2 und 10 W/kg im Vergleich zu einer scheinexponierten Kontrolle sowie einer Positivkontrolle auf primäre humane dermale Fibroblasten in vitro untersucht. Die Induktion von DNA-Schäden wurde unter Verwendung des Comet-Assays nach 4, 16 und 24 h Befeldung untersucht. Des Weiteren wurde die Bildung von durch reaktive Sauerstoffspezies induzierten DNA-Addukten wie 8-oxo-Guanin über einen Comet-Assay mit zusätzlicher Fpg-Inkubation nach 72 h Befeldung detektiert. Die potenzielle Gentoxizität der EMF-Befeldung wurde über den Mikrokerntest nach 15 und 72 h Exposition analysiert. Das Auftreten aneugener Ereignisse wurde darüber hinaus durch eine zusätzliche CREST-Analytik in den Mikrokernen sowie der Bestimmung numerischer Chromosomenaberrationen in Metaphasen untersucht. Ein Einfluss auf die Apoptoserate wurde über den

¹⁾ CREST: Spezieller Antikörper, der sich an die Spindelfaseransatzstellen (Kinetochore) in Chromosomen bindet und zum Nachweis des Vorhandenseins dieser Kinetochore dient

²⁾ Fpg: Formamido-pyrimidin-DNA-glykosylase, spezielles DNA-Reparaturprotein

³⁾ TUNEL: TdT (terminal desoxyribonukleotidyl transferase) - mediated dUTP (Desoxynukleosidtriphosphat) - biotin nick end labeling

TUNEL-Assay ebenfalls bestimmt. Des Weiteren wurde ein Einfluss auf die Zellzyklusverteilung in durchflusszytometrischen Zellzyklusanalysen sowie durch Bestimmung des Proliferationsindex CBPI (cytokinesis block proliferation index) im Mikrokerntest überprüft. Insgesamt wurden in diesem Projekt 23 Probanden rekrutiert und die Zellen von 20 Probanden aus Biopsien isoliert, befädelt und analysiert.

4.2 STATISTISCHE ANALYSEN

Für die Ergebnisse der Analysen des Comet-Assays, der Mikrokerntests, des TUNEL-Assays und der Zellzyklusanalysen sowie für die verschiedenen Befeldungszeiten wurden Permutationstests und Sensitivitätsanalysen für die Altersgruppen gemeinsam, wie auch im Zuge einer detaillierten Betrachtung zusätzlich nach den beiden Alterskollektiven, juvenil (18-19 Jahre) und adult (50-59 Jahre), getrennt untersucht.

4.3 PROBLEME BEI DER DURCHFÜHRUNG

Die Durchführung des Projektes selbst unterlag einigen Problemen, die auch mit den Vorgaben durch die REFLEX-Studie zusammenhingen und schlussendlich zu einer deutlichen Verzögerung geführt haben. Zum einen wurde der Zeitplan auf Grund wiederholter größerer Ausfälle der Befeldungsapparatur dramatisch verzögert, da angezogene Kulturen dann nur teilbefädelt wurden und daher verworfen werden mussten. Es zeigte sich zum anderen, dass die durch die REFLEX-Studie bedingte Verwendung von primären Fibroblasten auf Grund der niedrigen Teilungsaktivität der Zellen nur bedingt für diese Art Untersuchungen geeignet ist.

5. ERGEBNISSE

Mit den erhobenen Rohdaten der untersuchten Endpunkte (Comet-Assay mit und ohne Fpg-Verdau, Mikrokerntest mit CREST-Markierung, numerische Chromosomenaberrationen, TUNEL-Assay und Zellzyklus) wurden statistische Analysen in Hinblick auf einen Dositrend sowie die dazu gehörigen Sensitivitätsanalysen durchgeführt. Weiterhin wurden in der Dositrendanalyse die Differenzen zur scheinexponierten Kontrolle untersucht. Exemplarisch sind im nachfolgenden für einige Endpunkte die graphische Darstellung der Mittelwertsdifferenzen des gesamten Kollektivs im Vergleich zur Scheinexposition (Sham) sowie die Assay-spezifische Positivkontrolle dargestellt.

Die statistischen Analysen zeigten für keinen der in diesem Projekt untersuchten Endpunkte statistisch signifikante Einflüsse durch die EMF-Befeldung mit SAR-Werten von 0,2, 2 und 10 W/kg. Auch eine getrennte Betrachtung der beiden untersuchten Alterskollektive (juvenil: 18-19 Jahre, adult: 50-59 Jahre) zeigte keinen statistisch signifikanten Einfluss durch die EMF-Befeldung.

5.1 COMET-ASSAY

Mittels des alkalischen Comet-Assays wurde die Induktion von DNA-Schäden in Abhängigkeit vom SAR-Wert untersucht. Als analytische Endpunkte wurden die logarithmierten Werte des DNA-Gehalts im Kopf sowie des Olive-Tail-Moments festgelegt.

Exemplarisch ist in Abbildung 1 die graphische Darstellung der Mittelwertsdifferenzen des gesamten Kollektivs für den logarithmierten Wert des DNA-Gehaltes im Kopf (sprich Zellkern) im Vergleich zur Sham, sowie die Assay-spezifische Positivkontrolle dargestellt. Es zeigen sich im Hinblick auf induzierte DNA-Strangbrüche keine statistisch signifikanten Unterschiede zwischen exponierten Proben und scheinexponierten Kontrollen.

5.2 COMET-ASSAY MIT Fpg-INKUBATION

Mittels des Comet-Assays mit Inkubation mit dem Fpg-Enzym wurde die Induktion von oxidativen DNA-Schäden in Abhängigkeit vom SAR-Wert untersucht. Als analytische Endpunkte wurden auch hier die logarithmierten Werte des DNA-Gehalts im Kopf sowie des Olive-Tail-Moments festgelegt.

Exemplarisch ist in Abbildung 2 die graphische Darstellung der Mittelwertsdifferenzen des gesamten Kollektivs für den logarithmierten Wert des DNA-Gehaltes im Kopf im Vergleich zur Sham, sowie die Assay-spezifische Positivkontrolle dargestellt. Zu beachten ist, dass die Positivkontrollsubstanz, welche spezifisch oxidative Schäden hervorruft, dementsprechend nur unter Einwirkung des Fpg-Enzyms einen Effekt zeigt.

Es zeigen sich im Hinblick auf die Induktion oxidativer DNA-Schäden keine statistisch signifikanten Unterschiede zwischen exponierten Proben und scheinexponierten Kontrollen.

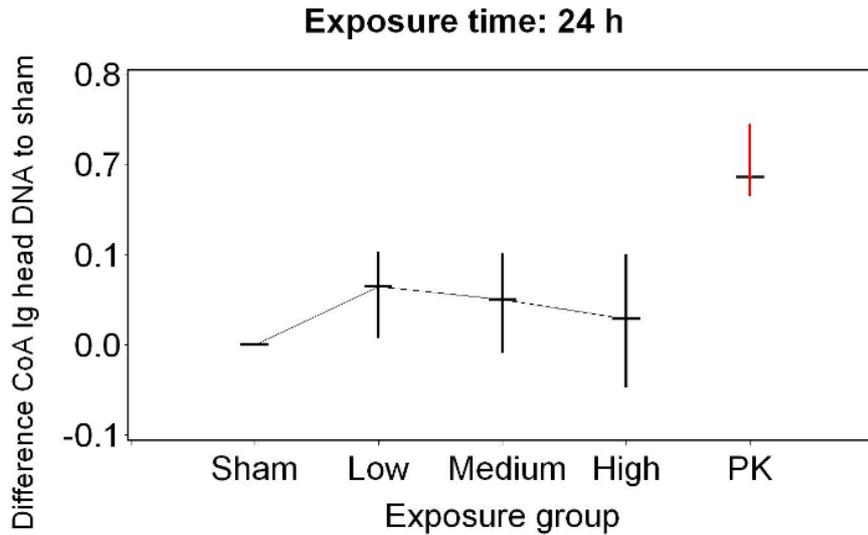


Abbildung 1:
Darstellung der Mittelwertsdifferenz in Bezug auf die Sham-Expositions-Werte mit 95 % Konfidenzintervall für den Comet-Assay nach 4, 16 und 24 h Befeldung, Zielgröße Log (100-Median-Head DNA(%)), (Sham = 0 W/kg, Low = 0,2 W/kg, Medium = 2 W/kg, High = 10 W/kg, PK = Positivkontrolle)

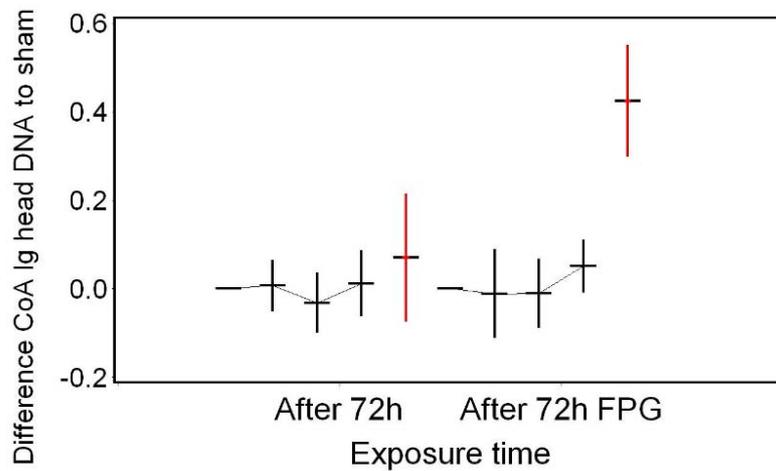


Abbildung 2:
Darstellung der Mittelwertsdifferenz in Bezug auf die Sham-Expositions-Werte mit 95 % Konfidenzintervall für den Comet-Assay im Vergleich nach 72 h Befeldung ohne (links) und mit (rechts) Fpg-Inkubation, Zielgröße Log(100-Median-Head DNA(%)), (Sham = 0 W/kg, Low = 0,2 W/kg, Medium = 2 W/kg, High = 10 W/kg, PK = Positivkontrolle).

5.3 MIKROKERNTEST MIT ZENTROMERMARKIERUNG

Mittels des Mikrokerntest (auch Mikronukleustest, MNT) und einer zusätzlichen Markierung der Zentromere mittels CREST-Antiserum wurde die Induktion von Mikrokernen sowie die Unterscheidung zwischen aneuge-

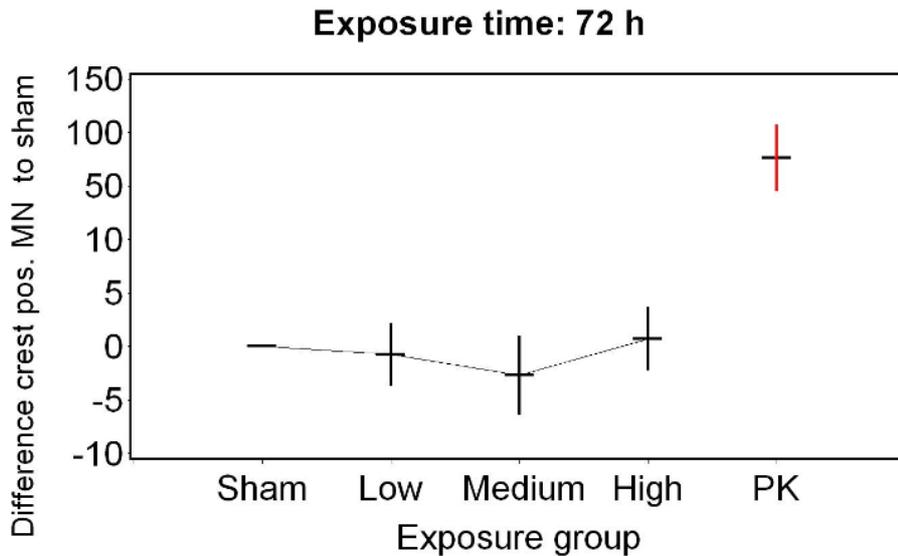


Abbildung 3:
Darstellung der Mittelwertsdifferenz in Bezug auf die Sham-Expositions-Werte mit 95 % Konfidenzintervall für den Mikrokerntest nach 72 h Befeldung, Zielgröße *CREST-positive Mikrokerne in 2 000 binukleären Zellen*, (Sham = 0 W/kg, Low = 0,2 W/kg, Medium = 2 W/kg, High = 10 W/kg, PK = Positivkontrolle).

ner (Verlust ganzer Chromosomen) und klastogener (Verlust von Chromosomenfragmenten) Wirkung der EMF-Befeldung in Abhängigkeit vom SAR-Wert untersucht. Als analytische Endpunkte wurden Mikrokernrate sowie die Rate an CREST-positiven Mikrokernen festgelegt. Weiterhin wurde der Teilungsindex CBPI bestimmt.

Exemplarisch sind in Abbildung 3 die graphische Darstellung der Mittelwertsdifferenzen für die Rate an CREST-positiven Mikrokernen des gesamten Kollektivs im Vergleich zur Sham sowie die Assay-spezifische Positivkontrolle dargestellt.

Es zeigen im sich im Hinblick auf die Induktion aneugener oder klastogener Wirkungen keine statistisch signifikanten Unterschiede zwischen exponierten Proben und scheinexponierten Kontrollen.

6. UMSETZUNG DER ERGEBNISSE

In der Diskussion um mögliche biologische Wirkungen hochfrequenter elektromagnetischer Felder wird häufig postuliert, dass gentoxische Effekte zelltypspezifisch sind und besonders Fibroblasten ein geeignetes Untersuchungsmodell darstellen. Um dem Rechnung zu tragen, wurde zusätzlich zu der an menschlichen Lymphozyten durchgeführten Multicenter-Studie (Projekt FM 8833) die vorliegende Studie an menschlichen Fibroblasten durchgeführt. Insgesamt wurden weder in Lymphozyten noch in Fibroblasten Hinweise auf gentoxische oder chromosomenschädigende Effekte eines gepulsten 1,8 GHz GSM-Mobilfunk-Signals, bei intermittierender Befeldung 5 min an, 10 min aus (letzteres folgte dem REFLEX-Protokoll) gefunden. Es ergaben sich auch keine Hinweise auf oxidative DNA-Schäden oder die besondere Empfindlichkeit einer Altersgruppe. Hypothesen über eine besondere Wirkung der intermittierenden Exposition bestätigten sich nicht. Die durchgeführten Analysen zu möglichen gentoxischen und chromosomenschädigenden Effekten helfen bei der Einordnung der Ergebnisse von in vitro Studien zum Thema Gentoxizität bzw. bei der Einschätzung von Hypothesen zu Wirkungen von Mobilfunkstrahlung auf Zellebene. Hinweise auf schädigende Wirkungen lassen sich aus den Ergebnissen nicht ableiten. Handlungsbedarf im Sinne einer Senkung der Grenzwerte ergibt sich aus den Ergebnissen nicht.

Thema			
Einfluss niederfrequenter elektromagnetischer Felder auf das sich entwickelnde blutbildende System, das Immunsystem und das ZNS in vivo			
Subject			
<i>Influence of low frequency electromagnetic fields on the developing hematopoietic system, immune system and CNS in vivo</i>			
Kennzeichen 3608S30006	Beginn 01.05.2009	Ende 30.04.2012	Fördermittel EUR 742.990,-
Forschungs- / Auftragnehmer			
Fraunhofer Institut für Toxikologie und Experimentelle Medizin (ITEM), Hannover			
Projektleitung Dr. G. Lewin	Fachbetreuung BfS Dr. M. Asmuß / AG SG 1.4	verantwortlich für den Text Dr. G. Lewin	

1. ZIELSETZUNG

Basierend auf epidemiologischen Studien, in denen sich eine statistische Assoziation zwischen einer Exposition gegenüber niederfrequenten Magnetfeldern und dem Auftreten von Leukämien im Kindesalter darstellte, wurden niederfrequente Felder von der IARC (International Agency for Research on Cancer) 2002 als „potenziell krebserregend“ eingestuft. Ein ursächlicher Zusammenhang konnte bisher in experimentellen Studien nicht bestätigt werden. In Erweiterung bisheriger tierexperimenteller Studien wurden im abgeschlossenen Forschungsprojekt am Tiermodell Maus die Einflüsse niederfrequenter Felder auf das sich in der Entwicklung befindliche blutbildende System, das Immunsystem und das Zentralnervensystem (ZNS) untersucht. Die Exposition begann bereits vor der Geburt und wurde als kontinuierliche Ganzkörperexposition der Tiere über eine Gesamtexpositionsdauer von 18 Monaten fortgesetzt. Die magnetischen Flussdichten, denen die Tiere ausgesetzt waren, deckten sowohl den Bereich der epidemiologischen Studien am Menschen als auch die gegenwärtigen Grenzwerte der Bundesimmissionsschutzverordnung ab.

2. EINZELZIELSETZUNG

In den tierexperimentellen Untersuchungen wurde der Einfluss einer chronischen Exposition gegenüber kontinuierlichen niederfrequenten Magnetfeldern an einem etablierten Maus-Modell untersucht. Hierbei wurden die Expositionsbedingungen so gewählt, dass im Körper der Tiere Stromdichten induziert werden, die denen entsprechen, welche beim Menschen unter Exposition mit magnetischen Flussdichten von 0, 1, 100 und 1.000 μT auftreten.

2.1 UNTERSUCHUNGEN AN JUNGEN TIEREN BIS ZUM ALTER VON 90 TAGEN

In einer ersten Phase von Versuchen wurden junge Mäuse, die seit ihrer intra-uterinen Entwicklung kontinuierlich niederfrequenten Magnetfeldern ausgesetzt waren, zu verschiedenen Zeitpunkten auf die Reifung ihres blutbildenden und Immunsystems (im Alter von 28 und 90 Tagen) sowie ihres Zentralnervensystems (im Alter von 21, 30 und 60 Tagen) hin untersucht.

2.2 WEITERFÜHRENDE UNTERSUCHUNGEN ZUM ALTERUNGSPROZESS DER TIERE

In weiterführenden Untersuchungen wurde der natürliche Alterungsprozess der Tiere, inklusive einer möglichen Ausbildung von Tumoren des lymphatischen Systems, überwacht. Im Alter von 18 Monaten wurden wiederum Untersuchungen des blutbildenden und des Immunsystems durchgeführt und alle Tiere einer abschließenden histopathologischen Begutachtung unterzogen.

3. METHODIK

Alle Untersuchungen wurden an CD-1-Mäusen und unter SPF-Bedingungen (Specific Pathogen Free) durchgeführt. Die Exposition erfolgte verblindet, d. h. es war im Versuchsaufbau nicht ersichtlich, welche Versuchsgruppe den entsprechenden Magnetfeldstärken ausgesetzt war. Die Studie wurde in 5 Versuchsgruppen

durchgeführt: 3 Dosisgruppen, 1 scheinexponierte Gruppe sowie 1 Käfigkontrolle. Die Befeldung erfolgte kontinuierlich für 20 h/d. Eine 4-stündige Unterbrechung der Exposition war für die Durchführung aller tierpflegerischen Arbeiten notwendig. Um zusätzliche Stressfaktoren, welche sich auf das Immunsystem und das Verhalten auswirken könnten, auszugleichen, wurden die Tiere vibrationsfrei und bei einem vergleichbaren Geräuschpegel gehalten. Die Expositionsphase wurde nach 18 Monaten im Dezember 2011 beendet. Die histopathologische Befundung mit einem besonderen Fokus auf Strukturen des hämatopoetischen und Immunsystems schloss sich daraufhin an.

Trächtige Muttertiere wurden ab Tag 10 nach der Verpaarung den entsprechenden Magnetfeldern täglich für 20 Stunden ausgesetzt. Die Trächtigkeit wurde anhand der Körpergewichtsentwicklung und täglicher klinischer Befundung überwacht. Nach dem Werfen wurden alle Jungtiere erfasst und in den ersten Tagen nach der Geburt auf die Entwicklung ihrer Reflexe hin getestet. Anschließend wurden im Alter von 20, 30 und 60 Tagen umfangreiche verhaltensbiologische Untersuchungen durchgeführt, um die Reifung des Zentralnervensystems nachzuverfolgen. Aus jeder Versuchsgruppe wurden jeweils 20 weibliche Tiere im Alter von 28 und 90 Tagen getötet, um anhand von Blut- und Gewebeproben die Entwicklung des blutbildenden und Immunsystems zu untersuchen. Hierzu wurden ein allgemeines und ein Differentialblutbild ausgewertet sowie eine Retikulozytenauswertung vorgenommen, die Proliferationsfähigkeit von Milzzellen bestimmt und immunologisch bedeutsame Zellpopulationen in Blut und Milz quantifiziert.

Darüber hinaus wurden im Alter von 21 Tagen aus jeder Versuchsgruppe 70 weibliche Tiere ausgewählt, um an ihnen den Alterungsprozess bis zu einer Expositionsdauer von 18 Monaten zu beobachten. An diesen Tieren erfolgte darüber hinaus die Bestimmung des zeitlichen Eintrittes in das fortpflanzungsfähige Alter. Im Alter von 18 Monaten wurden auch hier an 20 Tieren pro Gruppe hämatologische und immunologische Untersuchungen, analog zu den oben beschriebenen Parametern, durchgeführt. Am Ende der Studie wurden alle überlebenden sowie alle im Studienverlauf verstorbenen oder moribund getöteten Tiere histopathologisch auf Veränderungen relevanter Organe wie Thymus, Milz, Lymphknoten, Knochenmark, Leber, Nieren, Gehirn und ggf. Tumoren weiterer Organe hin begutachtet.

4. DURCHFÜHRUNG

4.1 ÜBERWACHUNG DER EXPOSITIONSEINRICHTUNGEN

Es erfolgte eine kontinuierliche Überwachung der Expositionseinrichtungen mit Erfassung von Magnetfeldstärke und Temperatur der einzelnen Spulensysteme durch die betreuende IMST GmbH, Kamp-Lintfort, welche auch die Expositionsanlage entwickelte. Zusätzlich erfolgte eine parallele Temperaturüberwachung der Spulensysteme durch das Fraunhofer ITEM sowie eine kontinuierliche Erfassung von Luftfeuchtigkeit, Lichtregime und Temperatur der Tierversuchsräume.

4.2 BIOLOGISCHE UNTERSUCHUNGEN

Aus logistischen Gründen erfolgten die biologischen Untersuchungen in 2 getrennten Teilstudien. In einer ersten Studie wurden die Tiere, wie oben beschrieben, bereits pränatal exponiert und die hämatologischen und immunologischen Untersuchungen erfolgten jeweils im Alter von 28 und 90 Tagen. Diese Zeitpunkte wurden anhand der international gültigen Richtlinien für toxikologische Untersuchungen gewählt. Gleichzeitig wurden hierbei sowohl das frühe pubertäre als auch das junge Erwachsenenalter biologisch berücksichtigt.

In einer zweiten Teilstudie wurde analog zur ersten Teilstudie mit einer pränatalen Exposition begonnen. An den Jungtieren erfolgten nun die verhaltensbiologischen Untersuchungen. Da diese Untersuchungen nicht-invasiv erfolgten, konnten die Tiere in die Studienabschnitte zur Weiterverfolgung des Alterungsprozesses übernommen werden.

5. ERGEBNISSE

5.1 INTRA-UTERINE UND FRÜHE POSTNATALE ENTWICKLUNG DER JUNGTIERE

Wie bereits berichtet, wurde die Magnetfeldexposition sowohl von den trächtigen Muttertieren als auch von ihren Würfen gut toleriert. Es wurden weder auffällige Veränderungen in der Trächtigkeitsphase beobachtet noch traten Einschränkungen der Überlebensfähigkeit der Jungtiere auf. Die Jungtiere entwickelten sich altersgerecht und es zeigten sich keine Auffälligkeiten in der zeitlichen Ausbildung von Reflexen und bei verhaltensbiologischen Testungen zum Zeitpunkt des Absetzens der Würfe vom Muttertier.

5.2 ENTWICKLUNG DER TIERE ÜBER DAS ERWACHSENENALTER BIS IN DIE SENESZENZ

Weder bis zum Alter von 90 Tagen noch im weiteren Verlauf der Exposition wurde eine erhöhte Sterblichkeit (Mortalität) in den spulen-exponierten Gruppen (Schein- oder Magnetfeldexposition) beobachtet. Die natürlicherweise mit dem Übergang in die Seneszenz zunehmende Mortalitätsrate lag in allen Gruppen bei 19-33%, wobei die höchsten Werte in der Käfigkontrolle erreicht wurden. Verhaltenstestungen um Tag 30 und 60 waren unauffällig.

Veränderungen im Blutbild waren zu allen Zeitpunkten marginal. Nach 18 Monaten war in allen Dosisgruppen ein geringgradiger Anstieg der relativen Lymphozytenzahlen zu beobachten, während die relative Anzahl der segmentkernigen neutrophilen Granulozyten geringgradig verringert war. Auf Grund der hohen Variabilität waren diese Unterschiede bei Betrachtung der absoluten Zellzahlen nicht vorhanden. Eine Verminderung der Granulozytenzahl kann auf inflammatorische Prozesse hinweisen oder auch durch eine verminderte Produktion im Knochenmark bedingt sein. Die toxikologische Relevanz der vorliegenden Ergebnisse ist aber auf Grund der geringen Ausprägung mit Vorsicht zu beurteilen.

Immunologische Untersuchungen zeigten zu keinem Zeitpunkt Veränderungen der Proliferationsfähigkeit von Milzzellen, weder unter Basisbedingungen noch beim ConA-¹⁾, PWM¹⁾- und LPS²⁾-induzierten Proliferationsverhalten von Milz-Lymphozyten. Die Differenzierung immunologisch relevanter Zellen zeigte hingegen eine leichte Verringerung zytotoxischer T-Lymphozyten (CTL) im peripheren Blut und in der Milz in der mittleren und hohen Dosisgruppe. Dieser Effekt war an Tag 90 in der Milz am deutlichsten sichtbar. Dieser Effekt wurde im Alter von 28 Tagen bzw. nach 18 Monaten nicht beobachtet. CTL sind wichtige Effektorzellen des Immunsystems. Sie zerstören Zellen, die nicht-körpereigene Antigene auf ihrer Oberfläche über MHC³⁾ Klasse I Moleküle präsentieren und schützen dabei gegen virale Infektionen und Tumore. Ob die beobachtete Reduktion der CTL funktionelle Auswirkungen hat, kann anhand der Resultate aus den durchgeführten Studien nicht geschlossen werden.

Bei der Sektion nach 18 Monaten Expositionszeitraum gab es keine Häufung auffälliger Befunde in einzelnen Untersuchungsgruppen. Die histopathologische Auswertung der Studie ergab, dass weder bei den Tumoren (Abbildung 1) noch bei den nicht-neoplastischen Organveränderungen expositionsabhängige Effekte beobachtet werden konnten. Die höchste Anzahl an Mäusen mit Tumoren (Tumorträger) wurde in der Käfigkontrolle gesehen, während die mittlere, gefolgt von der hohen Expositions-dosis, die niedrigste Zahl an Tumorträgern aufwies. Die Anzahl maligner und benigner Tumoren war ebenfalls am höchsten in der Käfigkontrolle und am niedrigsten in der hohen Expositions-dosis. Dies trifft ebenfalls bei der Spezifizierung auf Tumore des blutbildenden und Immunsystems zu (Abbildung 2). Auch gab es organübergreifend keine statistisch signifikanten Unterschiede in den Tumorraten zwischen der Scheinexposition und den verschiedenen Expositionsgruppen. Insbesondere ergaben sich bei der vorhandenen Datenlage keine Anhaltspunkte für funktionelle Auswirkungen der verminderten Anzahl zytotoxischer T-Lymphozyten oder Granulozyten.

Die Ergebnisse des vorliegenden Forschungsvorhabens sprechen nicht für gravierende Effekte einer Befeldung mit niederfrequenten Magnetfeldern auf die prä- und postnatale Entwicklung im untersuchten Tiermodell (Tabelle 1). Allerdings kann eine abschließende Bewertung der aufgetretenen Veränderungen einzelner Zell-Subpopulationen des Immunsystems an Hand der vorliegenden Untersuchungsergebnisse nicht erfolgen.

¹⁾ Concanavalin A (ConA) und Pokeweed mitogen (PWM) sind Mitogene, d. h. Proteine aus der Gruppe der Lektine, die Wachstum und Vermehrung von Lymphozyten stimulieren, wobei ConA nur T-Zellen, PWM B- und T-Zellen aktiviert

²⁾ Lipopolysaccharide (LPS) stammen aus Zellwänden gram-negativer Bakterien und wirken mitogen auf B-Zellen

³⁾ Major Histocompatibility Complex

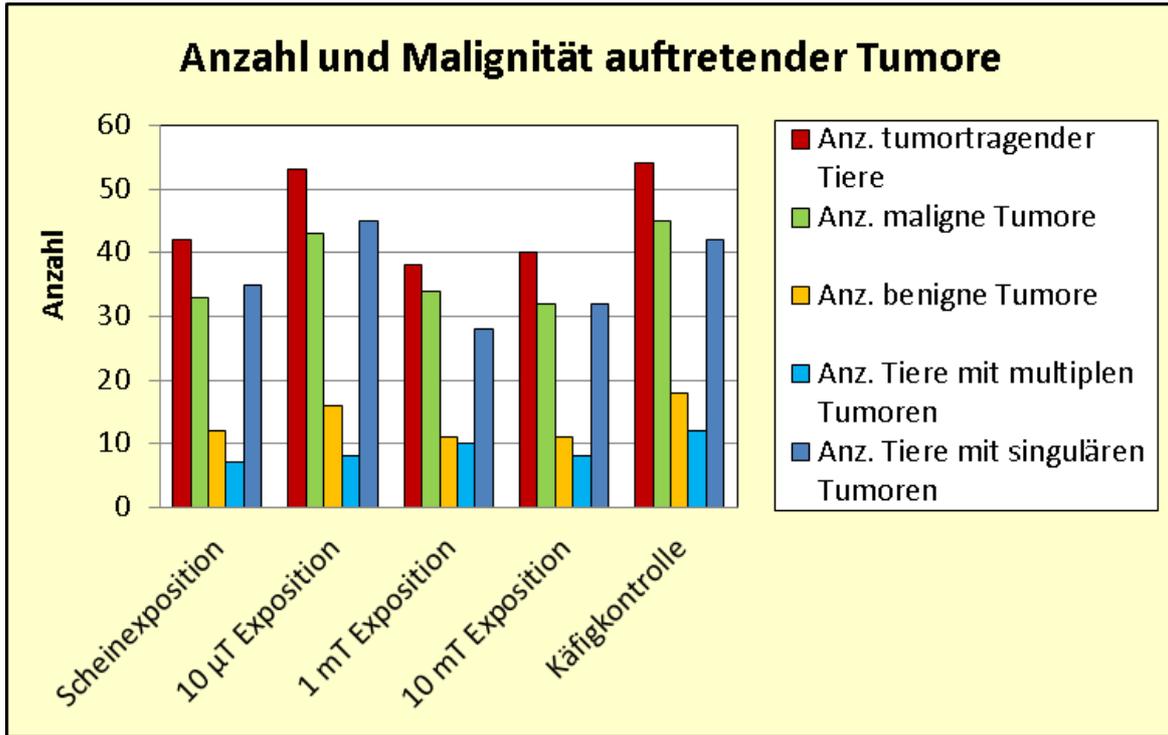


Abbildung 1:
Inzidenz neoplastischer Veränderungen in magnetfeld-exponierten CD-1 Mäusen (n=70 ♀/Gruppe)

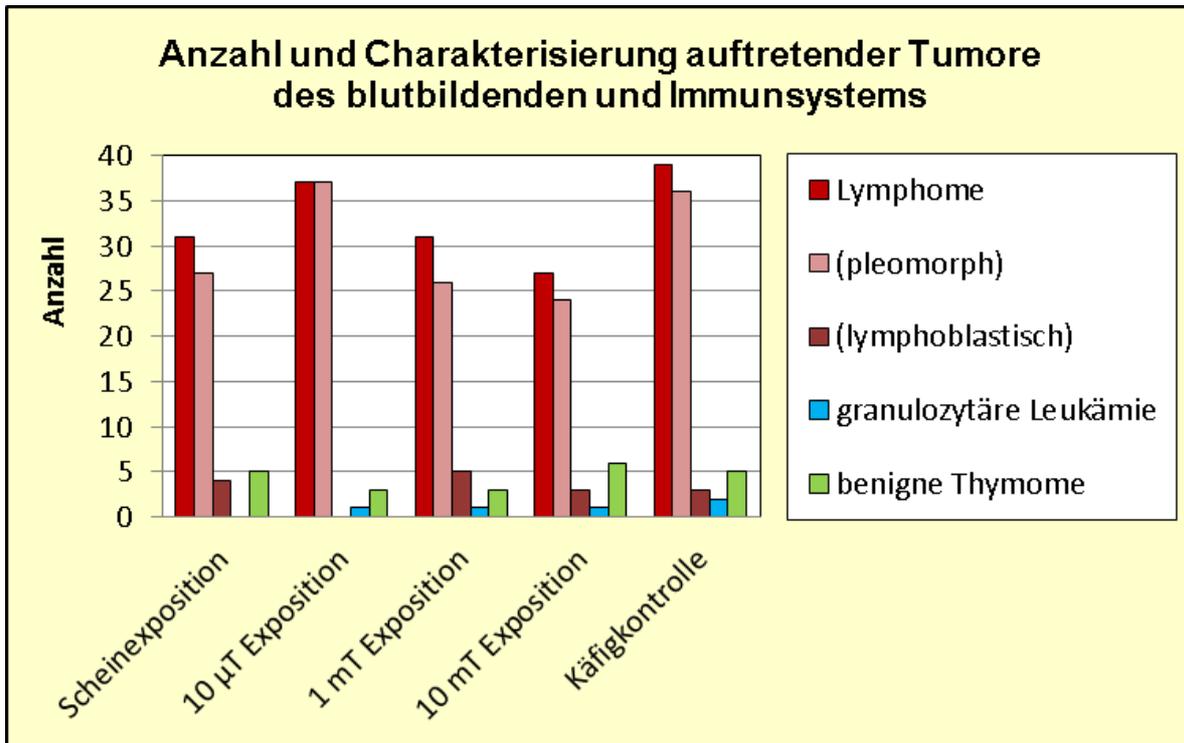


Abbildung 2:
Inzidenz und Charakterisierung von Neoplasien des blutbildenden und Immunsystems in magnetfeld-exponierten CD-1 Mäusen (n=70 ♀/Gruppe)

Tabelle 1: Zusammenfassung der Befunde

Generation	Parameter	Expositionsbedingte Effekte
F0: Muttertiere	Mortalität/Klinische Befunde	<->
	Körpergewicht	<->
	Reproduktionserfolg	<->
	Sektionsbefunde	<->
F1: Jungtiere < 22 d	Mortalität/Klinische Befunde	<->
	Körpergewicht	<->
	Reflexontogenese	<->
F1: Jungtiere > 21 d	Mortalität/Klinische Befunde	<->
	Körpergewicht	<->
	Verhalten	<->
	Sexuelle Reifung	<->
	Hämatologie 28 Tage 90 Tage 18 Monate	<->
		<->
		↑ Lymphozyten, ↓ neutrophile Granulozyten
	Immunologie Milzzellproliferation (28 d, 90 d, 18 Mo.) Immunphänotypisierung 28 Tage 90 Tage 18 Monate	<->
		<->
		Blut + Milz: ↓ zytotoxische T-Zellen
<->		
Sektionsbefunde	<->	
Histopathologie	<->	

6. UMSETZUNG DER ERGEBNISSE

Die Resultate dieser umfangreichen und mit hoher Qualität durchgeführten Studie erweitern die Erkenntnisse über Auswirkungen niederfrequenter Felder der Stromversorgung im Sinne einer Risikobewertung und können für die Information anfragender Bürger oder Institutionen genutzt werden. Sie dienen somit der Verbesserung der Informations- und Datenbasis im Hinblick auf den Strahlenschutz der Bevölkerung. Auswirkungen auf die existierenden Grenzwertregelungen gem. 26. BImSchV (Bundes-Immissionsschutzverordnung) ergeben sich nicht. Angesichts der Relevanz der Fragestellung sowohl in wissenschaftlicher Hinsicht als auch im Hinblick auf die Diskussion über mögliche gesundheitliche Wirkungen niederfrequenter Felder im Rahmen des Stromnetzausbaus erscheint jedoch eine weitere Abklärung der beobachteten Effekte im Differentialblutbild bzw. im Immunstatus sinnvoll. Zum Thema Leukämien im Kindesalter werden derzeit umfangreiche Studien im EU-Programm ARIMMORA (Advanced Research on Interaction Mechanisms of Electromagnetic Exposures with Organisms for Risk Assessment) u. a. zu epigenetischen Effekten, zur Veränderung von Signalprozessen in Zellen und zur Induktion zytotoxischer Effekte auf CD8 (Cluster of Differentiation antigen 8)-positive Zellen durchgeführt. Zudem werden mehrere im Rahmen des UFOPLAN geförderte Projekte durchgeführt, z. B. eine auswertende Übersicht zu unterschiedlichen Tiermodellen. Ergebnisse dieser Studien sollten bei weiteren Planungen berücksichtigt werden.

Thema			
Entwicklung und Anwendung von Verfahren zur Bestimmung der Exposition gegenüber nichtionisierender Strahlung mit Frequenzen im Terahertzbereich			
Subject			
<i>Exposure to non-ionising radiation with frequencies in the terahertz range - development and application of methods</i>			
Kennzeichen 3610S80001	Beginn 01.05.2011	Ende 31.10.2012	Fördermittel EUR 174.692,-
Forschungs- / Auftragnehmer Bergische Universität Wuppertal			
Projektleitung Prof. Dr. M. Clemens, Prof. Dr. U. Pfeiffer	Fachbetreuung BfS D. Geschwentner / AG-SG1.2	verantwortlich für den Text Dr. J. Streckert	

1. ZIELSETZUNG

Ziel dieses Forschungsvorhabens war die Entwicklung und Anwendung von Verfahren zur Bestimmung der Exposition von Personen gegenüber nichtionisierender Strahlung im Frequenzbereich von 0,1 THz bis 10 THz. Hierzu sollte einerseits das Eindringen elektromagnetischer Felder in den Körper im Hinblick auf eine geeignete Dosimetrie rechenstechnisch simuliert werden, andererseits sollten praxistaugliche, messtechnische Verfahren untersucht werden.

2. EINZELZIELSETZUNG

- Literaturrecherche

In einer Literaturrecherche sollte der aktuelle Stand von Wissenschaft und Technik aufgearbeitet werden.

- Messverfahren

Ziel dieses Arbeitspaketes ist es, basierend auf den Erkenntnissen aus der Literaturstudie zum möglichen Immissionspotenzial technischer THz-Anwendungen und zur Analyse von verfügbaren THz-Detektoren eine Empfehlung für praxistaugliche messtechnische Verfahren zur Bestimmung relevanter Immissionsparameter zu geben.

- Numerische Dosimetrie

Als Ergebnis dieses Arbeitspaketes wird angestrebt, anhand numerischer Simulationsrechnungen körpernere elektrische Feldverteilungen und die zugehörigen Absorptionsprofile sowie die dadurch ausgelösten orts- und zeitabhängigen Temperaturerhöhungen zu bestimmen, um die Voraussetzungen für eine biologisch/medizinische Beurteilung der Exposition durch THz-Felder zu schaffen.

3. METHODIK

3.1 MESSVERFAHREN

Anhand vertiefter Literaturanalysen wurden mögliche Immissionen von THz-Quellen abgeschätzt, die in praxisrelevanten Anwendungen auftreten würden. Zur Expositionsmessung wurde ein passender THz-CMOS (Complementary Metal Oxide Semiconductor)- Direktdetektor ausgewählt und an einer vorhandenen THz-Quelle erprobt. Der Detektor war mit einer $87 \times 100 \mu\text{m}^2$ On-Chip-Patch-Antenne ausgestattet. Die Vorteile dieses Ansatzes waren die hohe Empfindlichkeit des Detektors, niedrige Zeitkonstante und eine sehr kleine Detektorapertur, was die Bestimmung der Leistungsdichteverteilung ohne jegliche Annahmen über die Strahlform (z. B. die Strahlsymmetrie) ermöglichte.

Ergänzend wurde die Knife-Edge-Methode in Verbindung mit einem THz-Silizium-Direktdetektor angewendet. Die Einfallrichtung des THz-Strahls sowie die Position des THz-Hotspots wurden mit einer linsengekoppelten THz-CMOS-Kamera detektiert bzw. lokalisiert.

Die beschriebenen Verfahren erlauben die Ermittlung der relativen Leistungsdichteverteilung des gesannten THz-Strahls. Um auf SI-Einheiten zurückschließen zu können, wurde die Gesamtleistung des THz-Strahls mit einem selbstkalibrierenden THz-Leistungsdetektor (z. B. mit der Thomas Keating Membrane) gemessen.

3.2 NUMERISCHE DOSIMETRIE

Es wurden elektromagnetische Feldverteilungen, spezifische Absorptionsraten (SAR) und feldbedingte Temperaturänderungen mit numerischen Simulationsprogrammen (z. B. FDTD (Finite Difference Time Domain), FIT (Finite integration technique)) berechnet. Dies geschah auf Basis hoch aufgelöster Simulationsmodelle für anatomische Teilkörper, wie Ausschnitte der menschlichen Haut und des Auges, und für verschiedene Anregungssituationen.

4. DURCHFÜHRUNG

4.1 AUFARBEITUNG DES AKTUELLEN STANDES VON WISSENSCHAFT UND TECHNIK - LITERATURRECHERCHE

In diesem Arbeitspaket wurden eigene und fremde sowie durch eine zusätzliche Literaturrecherche erschlossene Arbeiten aufbereitet hinsichtlich der für den Frequenzbereich 0,1 THz bis 10 THz

- bereits vorhandenen Quellen und Empfänger mit Angabe ihrer technischen Kenngrößen und der mit den eingesetzten Quelle-Senken-Szenarien verbundenen Abstrahlcharakteristika,
- in nächster Zukunft zu erwartenden Entwicklungen auf dem Gebiet der Quellen und Empfänger,
- aktuellen und geplanten technischen Anwendungen, insbesondere von bildgebenden (2D/3D), Spektroskopie-, Sensorik- und Datenkommunikations-Anwendungen,
- gegebenen Möglichkeiten zur Messung von Feldstärke- oder Leistungsdichte-Verteilungen,
- unter Strahlenschutzaspekten bedeutsamen technischen Parameter von Quellen und Empfängern,
- zum Strahlenschutz vorliegenden Grenzwerte, Normen und anderen Festlegungen,
- vorliegenden Erfahrungen zur Simulation der Ausbreitung von Wellen und ihrer Absorption in biologischem Gewebe (Stichwort: „Numerische Dosimetrie“),
- bekannten biologischen Wirkungen von Terahertz-Strahlung,
- durchgeführten aktuellen Beratungen in einschlägigen nationalen und internationalen Gremien und
- verfügbaren Daten zu den Materialeigenschaften biologischer Gewebe.

4.2 MESSVERFAHREN

In einem neuen Messaufbau zur Bestimmung des Strahlprofils einer THz-Quelle wurde die Fokussierung des Strahls durch zwei elliptische Spiegel vorgenommen, um das Rasterverfahren anzuwenden. Die bei 655 GHz betriebene elektronische THz-Quelle wurde mit einem vorhandenen THz-CMOS-Leistungsdetektor vermessen. Dabei ging es vorrangig um die Ermittlung der relativen räumlichen Leistungsdichteverteilung. Die Gesamtleistung wurde mit der selbstkalibrierenden Thomas Keating Membrane gemessen. Damit war es möglich, die absolute Leistungsdichteverteilung (rückgeführt auf SI-Einheiten) zu bestimmen.

Der Strahlprofil-Messplatz wurde um das Knife Edge-Verfahren erweitert. Die Einfallrichtung des THz-Strahls sowie die Position des THz-Hotspots wurden mit einer linsengekoppelten THz-CMOS-Kamera detektiert bzw. lokalisiert.

4.3 NUMERISCHE DOSIMETRIE

In Abhängigkeit von der betrachteten Anregungssituation wurden hoch aufgelöste anatomische Modelle für Abschnitte des menschlichen Auges und der Haut erstellt. Abbildung 1 zeigt das für die Exposition des Auges verwendete Modell in verschiedenen Perspektiven im Vergleich zu einem anatomischen Schnittbild der Cornea.

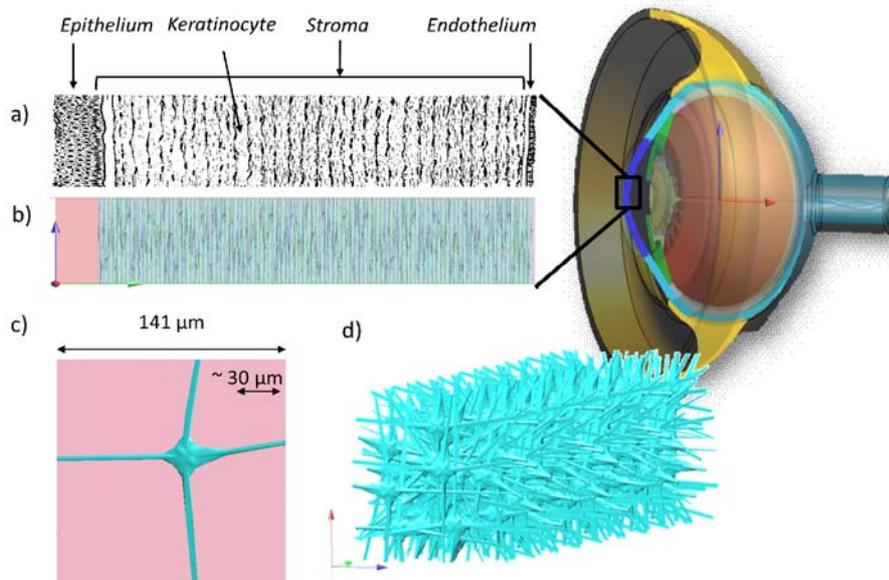


Abbildung 1:
a) Anatomischer Aufbau der menschlichen Cornea sowie b) Längs- und c) Querschnitt des Modells mit d) Detailansicht der Keratinozyten

In der Literatur sind die frequenzabhängigen dielektrischen Materialparameter potenziell exponierter Gewebe oberhalb von 100 GHz nur vereinzelt beschrieben. Für die numerische Dosimetrie im THz-Bereich wurde das in einem zeitgleichen Projekt verfolgte Konzept der „effective medium theory“ angewendet, um die zwingend notwendigen Materialdaten oberflächennaher Gewebe und ihrer Unterstrukturen für die betrachteten Frequenzen zu bestimmen. Für die Berechnung örtlicher und zeitlicher Temperaturentwicklungen wurde eine erweiterte Literaturrecherche durchgeführt und durch Kontaktaufnahme mit Vertretern aus der Industrie abgesichert. In Abbildung 2 ist beispielhaft die errechnete stationäre Temperaturverteilung im menschlichen Auge für die Exposition durch eine einfallende Welle der Frequenz 6 THz und Leistungsdichten bis zu 100 W/m^2 im Vergleich zur natürlichen Temperaturverteilung dargestellt.

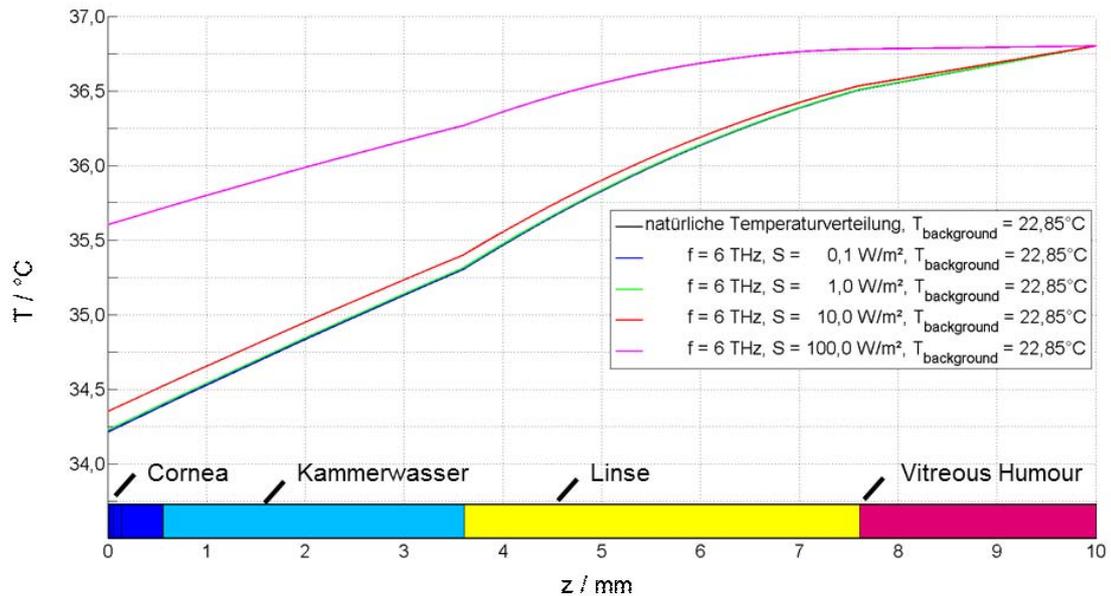


Abbildung 2:
Stationäre Temperaturverteilung entlang einer in z-Richtung mittig durch das planare Schichtenmodell des Auges verlaufenden Geraden für den expositionsfreien Fall und für 4 verschiedenen Leistungsdichten bei der Expositionsfrequenz 6 THz

5. ERGEBNISSE

5.1 MESSVERFAHREN

Die Messdaten aus 4.2 zum fokussierten Strahlprofil der elektronischen THz-Quelle wurden zur Verwendung für die Simulationsrechnungen aufbereitet und an den Projektpartner (Lehrstuhl für Theoretische Elektrotechnik) übergeben.

Eine Empfehlung zur praxistauglichen Messung der benötigten Immissionsparameter wurde entwickelt.

5.2 NUMERISCHE DOSIMETRIE

Auf Basis der vom Projektpartner (Lehrstuhl für Hochfrequenzsysteme in der Kommunikationstechnik) zur Verfügung gestellten Messdaten aus 4.2 wurde das bereits in das verwendete kommerzielle Berechnungstool implementierte numerische Anregungsmodell für eine Gauß'sche Strahlwelle abgesichert. Daneben wurde ebenfalls ein TEM (transversal electromagnetic)-Anregungsmodell für elektromagnetische Berechnungen bis zu einer Expositionsfrequenz von 10 THz verwendet.

Es liegen Ergebnisse von Feld- und SAR-Berechnungen für verschiedene Haut- und Augenmodelle bis zu einer Frequenz von 10 THz vor, die unter Berücksichtigung der zuvor eigens ermittelten dielektrischen Materialdaten durchgeführt wurden.

Im Vergleich zur natürlichen Temperaturverteilung der betrachteten Gewebe wurden die örtliche sowie zeitliche Temperaturentwicklung der exponierten Modelle unter Berücksichtigung von Umgebungstemperatur, Expositionszeit und Leistungsdichte der einfallenden Welle bestimmt. Zusätzlich wurden Variationsuntersuchungen für dielektrische und thermische Parameter vorgenommen.

In einem zusammenfassenden Fazit wurde die Vorgehensweise zur Expositionsbestimmung, die Bewertung der Exposition und eine Beurteilung von Sicherheitsscannern formuliert.

Teilergebnisse des Forschungsvorhabens wurden auf der Internationalen Fachtagung „EMC Europe 2012“ in Rom (Italien) vorgestellt.

Die entwickelten numerischen Anregungsmodelle zur Berücksichtigung verschiedener Expositionsszenarien, wie z. B. die Gauß'sche Strahlanregung, sowie die mittels der „effective medium theory“ bestimmten dielektrischen Materialparameter oberflächennaher Körpergewebe mit ihrer Einsatzmöglichkeit bei numerischen Dosimetrie-Simulationen werden auf den internationalen Fachkonferenzen „BioEM 2013“ in Thessaloniki (Griechenland) und der „EMC Europe 2013“ in Brügge (Belgien) präsentiert.

6. UMSETZUNG DER ERGEBNISSE

Die Projektergebnisse zeigen Möglichkeiten auf, die Exposition gegenüber nichtionisierender Strahlung mit Frequenzen im Terahertzbereich zu bestimmen. In der Zukunft ist eine zunehmende Nutzung dieses hohen Frequenzbereichs für unterschiedliche Anwendungen anzunehmen. Die Ergebnisse des Forschungsvorhabens verbessern die Voraussetzungen für den Strahlenschutz und die Strahlenschutzvorsorge auf diesem Gebiet.

Thema Bestimmung der Exposition der allgemeinen Bevölkerung durch neue Mobilfunktechniken			
Subject <i>Determination of general public exposure to novel cellular mobile radio technologies</i>			
Kennzeichen 3611S80002	Beginn 01.08.2011	Ende 31.10.2012	Fördermittel EUR 179.136,-
Forschungs- / Auftragnehmer IMST GmbH Kamp-Lintfort und EM-Institut GmbH, Regensburg			
Projektleitung Dr. Chr. Bornkessel	Fachbetreuung BfS D. Geschwentner / AG-SG 1.2	verantwortlich für den Text Dr. Chr. Bornkessel	

1. ZIELSETZUNG

Anlass des Forschungsvorhabens war der fortschreitende Ausbau der Infrastruktur für die funkgestützte Telekommunikation in Deutschland ((z. B. 3.x/4G (Weiterentwicklung von UMTS/LTE), digitaler BOS (Behörden und Organisationen mit Sicherheitsaufgaben)-Funk). Im Deutschen Mobilfunk Forschungsprogramm (DMF) wurden unter anderem für die Mobilfunktechniken GSM (Global System for Mobile Communications) und UMTS (Universal Mobile Telecommunications System) Expositionserfassungsverfahren entwickelt sowie ausführliche Expositionsuntersuchungen durchgeführt. Die hierdurch geschaffene Datenbasis zur Exposition der allgemeinen Bevölkerung gegenüber hochfrequenten elektromagnetischen Feldern sollte durch das vorliegende Projekt um Informationen über die Beiträge neuer Funkdienste ergänzt und insgesamt weiter verbessert werden. Einen Schwerpunkt bildeten hierbei der Mobilfunkstandard „Long Term Evolution“ (LTE) sowie das Netz für den Digitalfunk der Behörden und Organisationen mit Sicherheitsaufgaben (TETRA BOS), zu deren elektromagnetischen Immissionen bislang nur wenig publizierte Daten vorlagen.

In diesem Vorhaben standen die (ortsfesten) Sender der Infrastruktur (Basisstationen) im Vordergrund; Expositionen der Endgeräte sollten nur exemplarisch untersucht werden. Aus den Ergebnissen des Vorhabens sollte abgeleitet werden, wie sich die maximale und tatsächliche Exposition der allgemeinen Bevölkerung in Deutschland durch den Ausbau der Telekommunikationsinfrastruktur ändert.

2. EINZELZIELSETZUNG

2.1 AUFARBEITUNG DES RELEVANTEN STANDES VON WISSENSCHAFT UND TECHNIK

Zunächst war der aktuelle Stand von Wissenschaft und Technik für die Zwecke des Vorhabens aufzuarbeiten. Hierbei sollten einerseits die für eine sachgerechte Immissionsbestimmung wesentlichen funktechnischen Eigenschaften und technischen Spezifikationen neuer in Deutschland eingesetzter Mobilfunktechniken zusammengestellt werden. Andererseits war eine Übersicht über praxistaugliche Messverfahren und Erhebungsmethoden hinsichtlich der Abschätzung der zeitlich variablen und vom Aufenthaltsort einer Person abhängigen, maximal möglichen und tatsächlich auftretenden Expositionen gegenüber hochfrequenten elektromagnetischen Feldern zu erarbeiten. Die Brauchbarkeit dieser Verfahren und Methoden für die Expositionsabschätzung im Umfeld von Funksendeanlagen der neuen Mobilfunktechniken war zu diskutieren.

2.2 BESTIMMUNG UND ANALYSE VON IMMISSIONSVERTEILUNGEN ZUR ABSCHÄTZUNG VON EXPOSITIONEN; VERGLEICH MIT ANDEREN MOBILFUNKTECHNIKEN UND DISKUSSION DER BEDEUTUNG DES AUFBAUS DER NEUEN MOBILFUNKNETZE FÜR DIE GESAMTEXPOSITION DER BEVÖLKERUNG

Eine Hauptaufgabe bestand darin, maximale und tatsächliche Immissionen durch LTE- und TETRA BOS-Funksendeanlagen messtechnisch zu bestimmen, zu analysieren und zu bewerten.

Die erhobenen Immissionsdaten für die neuen Mobilfunkdienste sollten mit den Immissionen der etablierten GSM- und UMTS-Netze verglichen und hinsichtlich der Bedeutung für die Exposition der allgemeinen Bevölkerung bewertet werden. Weiterhin war zu untersuchen, wie sich die Exposition der allgemeinen Bevölkerung

gegenüber hochfrequenten elektromagnetischen Feldern durch den Aufbau der neuen Telekommunikationsinfrastruktur insgesamt ändert.

2.3 ABSCHÄTZUNG DER EXPOSITION DURCH DIE FELDER VON BASISSTATIONEN FÜR FEMTOZELLEN; EXPOSITION DURCH LTE-ENDGERÄTE

In einem weiteren Schritt waren die hochfrequenten, zeitlich und örtlich variablen Immissionen, die von typischen in Femtozellen als Basisstationen (oder Access Points) eingesetzten Geräten ausgehen, zu bestimmen und hinsichtlich der Bedeutung für die resultierende Exposition für Personen in Wohnungen zu bewerten.

Zudem sollte die Exposition durch LTE-Endgeräte (körpernah bzw. mit Körperkontakt betrieben) exemplarisch untersucht werden.

3. METHODIK

Die Arbeiten zur Aufarbeitung des relevanten Standes von Wissenschaft und Technik wurden primär als Literaturrecherche durchgeführt. Zusätzlich wurden im Rahmen von Labor- und Felduntersuchungen bestehende Messverfahren weiterentwickelt und neue Messverfahren validiert.

Die Messungen zur Bestimmung und Analyse von Immissionsverteilungen und zur Abschätzung von Expositionen wurden an systematisch ausgewählten („systematische Messpunkte“) und zufällig ausgewählten Messpunkten („statistische Messpunkte“) durchgeführt. Die systematischen Messpunkte wiesen verschiedene, nach systematischen Gesichtspunkten ausgewählte Abstände, Orientierungen, Höhenunterschiede und Sichtverbindungen zur LTE-Anlage auf. Anhand von Immissionsmessungen entlang einer Linie oder in verschiedenen Stockwerken eines Gebäudes war es möglich, die grundsätzliche Entfernungs- bzw. Höhenabhängigkeit der Immission zu analysieren. Damit wird in gewissen Grenzen eine Übertragbarkeit auf ähnliche Szenarien ermöglicht. Die Koordinaten der zufällig ausgewählten Messpunkte wurden hingegen mit einem Zufallszahlengenerator ausgewürfelt und repräsentieren eher eine flächengemittelte Immission im untersuchten Umfeld der LTE-Anlage.

Für den Vergleich der Immissionen neuer Mobilfunktechniken mit den Immissionen der etablierten Mobilfunktechniken wurden sowohl bereits publizierte Daten herangezogen, als auch an den untersuchten LTE- bzw. TETRA BOS-Anlagen parallel die Immissionen durch dort installierte GSM- und/oder UMTS-Anlagen mit gemessen und bewertet.

Die Untersuchungen zur Exposition durch Basisstationen für Femtozellen fanden unter realen Feldbedingungen in Bürouräumen und in Verkaufsläden statt.

Die exemplarischen SAR (Spezifische Absorptionsrate)-Messungen an LTE-Endgeräten wurden im Messlabor nach den Festlegungen der Norm DIN EN 62209-2 durchgeführt, d. h. es wurden volumen- und zeitgemittelte SAR-Höchstwerte (10 g äquivalentes Gewebevolumen und 6 Minuten Mittelung) bestimmt.

4. DURCHFÜHRUNG

Da die Arbeiten zur Aufarbeitung des relevanten Standes von Wissenschaft und Technik die Basis für die folgenden Untersuchungen bildeten, standen sie am Beginn der Projektdurchführung. Die dabei erzielten Ergebnisse wurden in einem gesonderten Zwischenbericht dokumentiert.

In einem zweiten Projektabschnitt erfolgte die messtechnische Bestimmung der maximalen und tatsächlichen Immission durch LTE- und TETRA BOS-Funksendeanlagen an systematisch und statistisch ausgewählten Messpunkten bzw. Funkzellen. Die LTE-Messungen erfolgten mit der „Schwenkmethode“ in 11 verschiedenen Szenarien an 102 systematisch und 75 zufällig ausgewählten Messpunkten, die TETRA BOS-Messungen in 5 verschiedenen Szenarien an 40 systematischen und 40 zufällig ausgewählten Messpunkten.

Die Messungen wurden primär in den Bundesländern Nordrhein-Westfalen und Bayern durchgeführt. Eingesetzt wurden mobile Messgeräte, mit denen eine spektrale und codeselektive Messung der Immissionen möglich war.

Die erhobenen Immissionsdaten für die neuen Mobilfunkdienste LTE und TETRA BOS wurden in den jeweiligen physikalischen Größen (Feldstärke, Leistungsflussdichte) und unter Bezugnahme der geltenden frequenzabhängigen Grenzwerte mit denen der deutschen GSM- und UMTS-Netze verglichen und auf der so erarbeiteten Grundlage hinsichtlich der Bedeutung für die Exposition der allgemeinen Bevölkerung bewertet.

Weiterhin wurde untersucht, wie sich die Exposition der allgemeinen Bevölkerung gegenüber hochfrequenten elektromagnetischen Feldern durch den Aufbau der neuen Telekommunikationsinfrastruktur insgesamt ändert. Hierbei wurde auch die Frage untersucht, welche Auswirkung die geänderte Nutzung vormals anderen Funkdiensten zugewiesener Frequenzbereiche auf die Exposition der Bevölkerung hat.

Anschließend wurden Immissionsmessungen im Umfeld von Basisstationen für Femtozellen durchgeführt. Das Ergebnis der Messungen wurde mit Expositionsdaten für konkurrierende Funkdienste (WLAN (Wireless Local Area Network)) verglichen.

Schließlich wurden für zwei unterschiedliche LTE-Endgeräte (körpernah bzw. mit Körperkontakt betrieben) die lokalen SAR-Höchstwerte unter Laborbedingungen gemessen.

5. ERGEBNISSE

Die Messung von LTE-Immissionen kann prinzipiell frequenzselektiv und codeselektiv erfolgen. Wohingegen die frequenzselektive Messung mit üblichen Spektrumanalysatoren durchgeführt werden kann, sind für die codeselektive Messung spezielle Messgeräte erforderlich. Diese erfassen die Immission der LTE-Basisstation zell- bzw. sektorspezifisch und umgehen damit die Probleme von frequenzselektiven Messungen, die die Immissionsbeiträge verschiedener Zellen bzw. Basisstationen auf Grund des Gleichwellennetzes nicht separieren können. Es existieren derzeit zwei codeselektive EMF-Messgeräte auf dem Markt, die vergleichsweise neu sind. Diese wurden im Rahmen dieses Projektes miteinander und im Vergleich zu frequenzselektiven Verfahren im Labor und im Feld ausführlich getestet. Code- und frequenzselektive Verfahren liefern bei gleichen Randbedingungen übereinstimmende und reproduzierbare Messergebnisse und sind daher für Immissionsmessungen an LTE-Basisstationen grundsätzlich geeignet. Wohingegen frequenzselektive Verfahren in Abhängigkeit der Konfiguration der Synchronisierungssignale potenziell die auf maximale Anlagenauslastung extrapolierte Immission überschätzen können, haben codeselektive Verfahren vor allem bei erhöhter Verkehrsauslastung der Basisstation die Problematik einer begrenzten relativen Dynamik: Sofern am Messpunkt das Signal einer Zelle stark dominiert, werden unter Umständen die Immissionen der anderen Zellen des gleichen Standortes oder umliegender Standorte nicht mehr erfasst.

Die auf maximale Anlagenauslastung extrapolierten LTE-Immissionen erreichten je nach Szenario Werte zwischen 0,002 und 7,28% des Feldstärkegrenzwertes der 26. BImSchV bei einem Median von 0,70%. Die „aktuellen“, d. h. raum- und zeitgemittelten Immissionen lagen um feldstärkebezogene Faktoren von 3,1 bis 17,2 unter den räumlich maximierten und auf maximale Anlagenauslastung extrapolierten Immissionen.

Bei der Untersuchung von Einflussfaktoren für die Größe der Immission hat sich herausgestellt, dass der *Abstand* im unmittelbaren Umfeld einer Anlage (bis zu einigen hundert Meter, abhängig von Montagehöhe und Downtilt) ähnlich wie bei GSM- und UMTS-Anlagen offenbar als Maß zur Abschätzung der entstehenden LTE-Immission wenig geeignet ist. Grund dafür ist, dass in diesem Entfernungsbereich die Immission sehr stark durch die Nebenzipfel und Einzüge des stark bündelnden vertikalen Antennendiagramms geprägt ist und daher einen sehr unregelmäßigen Charakter aufweist. Einen eindeutigen Einfluss üben die *Sichtverhältnisse* aus: Objekte wie Gebäude, aber auch Bäume und Sträucher zwischen Messpunkt und Sendeanlage haben einen dämpfenden Einfluss, der sich erheblich in den Messergebnissen widerspiegelt. Der Einfluss des *Vertikalwinkels* ist ebenfalls deutlich nachweisbar: Messpunkte, die in oder nahe der Hauptstrahlrichtung des vertikalen Antennendiagramms liegen, erfahren eine größere Immission als Messpunkte außerhalb der Hauptstrahlrichtung. Die unterschiedlichen vertikalen Antennendiagramme sind neben dem niedrigeren Grenzwert bei LTE-800 Ursache dafür, dass bei LTE-800 im Durchschnitt etwas höhere Immissionen gemessen wurden als bei LTE-1 800.

Die gemessenen LTE-Immissionen sind hinsichtlich ihrer Größenordnung und ihrer örtlichen Verteilung vergleichbar zu den Immissionen durch GSM- und UMTS-Mobilfunkanlagen. An allen LTE-Standorten waren auch GSM- und UMTS-Mobilfunkanlagen installiert; ihre Immissionen wurden ebenfalls messtechnisch erfasst. An den untersuchten Standorten ergab sich im Mittel ein leistungsbezogener Immissionszuwachs von 37% durch LTE. Im Einzelfall kann vor allem die Zunahme von Sendeleistung und Anzahl der LTE-Systeme einen Anhaltspunkt für die Höhe des zu erwartenden Immissionszuwachses geben.

An 10 der 11 Szenarien mit insgesamt 50 Zufallsmesspunkten wurde - zusätzlich zur LTE-Immission - auch die gesamte Hochfrequenzimmission im Frequenzbereich von 100 kHz bis 3 GHz bestimmt. Im Mittel über alle Punkte ergab sich für die LTE-Immissionen leistungsbezogen ein Anteil von 22% an der gesamten Hochfrequenzimmission. Immissionen von anderen als Mobilfunksendeanlagen (z. B. Ton- und Fernseh Rundfunk) trugen an den Messpunkten nur in untergeordnetem Maß zur Gesamtimmission bei.

LTE-800-Anlagen („Digitale Dividende“) werden in einem Frequenzbereich betrieben, der vormals für das Digitale Fernsehen (DVB-T) reserviert war. Messungen an 50 zufällig verteilten Punkten in den Regionen Nürnberg und München ergaben, dass bei maximaler Anlagenauslastung die aktuellen LTE-Immissionen im Mittel um etwa 1,4 dB größer sind, als es vorher die DVB-T-Immissionen im Frequenzbereich der „Digitalen Dividende“ waren. Der Grund hierfür ist in der größeren Anzahl an Senderstandorten (kleinere Zellradien sowie 3 Netzbetreiber parallel) sowie in den niedriger montierten Sendeantennen bei LTE zu sehen. Bei in der Praxis zu erwartenden LTE-Anlagenauslastungen wird der Unterschiedsfaktor geringer bzw. sogar negativ und liegt je nach momentaner LTE-Auslastung etwa zwischen 1,4 und -4,6 dB.

Langzeitmessungen über 24 Stunden an einer ländlichen LTE-800-Anlage und einer städtischen LTE-1800-Anlage zeigten durch Verkehrslast verursachte Immissionsschwankungen an der LTE-800-Anlage. Hier wird also derzeit offensichtlich signifikanter Datenverkehr abgewickelt. An der LTE-1800-Anlage hingegen waren keine verkehrsbedingten Immissionsschwankungen zu erkennen, jedoch einige betreiberseitige Wartungseingriffe in die Station.

Detaillierte Untersuchungen zu den verkehrslastabhängigen Immissionsschwankungen an einer LTE-1800-Anlage haben gezeigt, dass ein *einzelner* Nutzer durch typische Internetnutzungen (Browsen, SD-Video Download) nur zu einer vergleichsweise geringen Änderung der zeitgemittelten Immission (0,8 bis 1,9 dB) durch die Basisstation führt. Der Momentanwert der Immission kann zwar um über 10 dB ansteigen, allerdings erfolgt dies nur kurzzeitig.

Immissionsuntersuchungen in Femtozellen wurden mangels Verfügbarkeit von LTE-Femtozellen in 4 UMTS-Femtozellen durchgeführt. Zusammenfassend lässt sich festhalten, dass deren Immissionen auf Grund vergleichbarer Sendeleistungen typisch nicht signifikant höher ausfallen als die von im Umfeld betriebenen WLAN/DECT (Digital Enhanced Cordless Telecommunications)-Systemen. Das Immissionsverhältnis zu externen Quellen (z. B. Mobilfunkanlagen) ist weitgehend davon abhängig, ob bzw. wo im Umfeld Mobilfunksender vorhanden sind.

An einem LTE-Router und einem LTE-Surfstick wurden SAR-Messungen durchgeführt. Die empfohlenen SAR-Grenzwerte werden für alle untersuchten Positionen und Funkdienste sowohl für den Router (direkter Kontakt), als auch für den Surfstick (25 mm Abstand zum Körper) eingehalten. Die höchste gemessene LTE-Exposition für den Router beträgt 0,75 W/kg (bzw. 37,5% bezüglich des SAR-Grenzwertes); beim Surfstick werden maximal 0,28 W/kg (bzw. 14,2%) erreicht. Der maximal gemessene SAR-Wert bei den vom Surfstick ebenfalls unterstützten Funkdiensten GSM-900, GSM-1800 und UMTS beträgt 0,27 W/kg (bzw. 13,6%).

Die auf maximale Anlagenauslastung extrapolierten TETRA BOS-Immissionen erreichten je nach Szenario Werte zwischen 0,03 und 4,63% des Feldstärkegrenzwertes der 26. BImSchV bei einem Median von 0,46%. Die „aktuellen“, d. h. raum- und zeitgemittelten Immissionen lagen um feldstärkebezogene Faktoren von 2,1 bis 4,4 unter den räumlich maximierten und auf maximale Anlagenauslastung extrapolierten Immissionen.

Die gemessenen TETRA BOS-Immissionen sind bezüglich ihrer Größenordnung und örtlichen Verteilung mit den Immissionen durch LTE-, GSM- und UMTS-Mobilfunkanlagen vergleichbar. Fasst man alle Messpunkte zusammen, an denen neben TETRA BOS auch die Immissionen durch andere Mobilfunkanlagen vom selben Standort gemessen wurden, ergibt sich im Mittel ein leistungsbezogener Zuwachs der Immission durch TETRA BOS von 47%. Dabei gibt es jedoch einen deutlichen Unterschied zwischen den städtischen und den ländlichen Szenarien: Während in den untersuchten städtischen Szenarien der mittlere Zuwachs auf Grund der stellenweise sehr großen Kanalzahl bzw. beantragten Sendeleistungen bei 144% lag, betrug er in den ländlichen Szenarien 3%. Hierbei ist aber anzumerken, dass diese Werte lediglich für das direkte Umfeld der untersuchten TETRA BOS-Anlagen, jedoch nicht für eine flächen- bzw. bevölkerungsgemittelte Immissionszunahme gelten.

An 4 der 5 Szenarien mit insgesamt 20 Zufallsmesspunkten wurde - zusätzlich zur TETRA BOS-Immission - auch die gesamte Hochfrequenzimmission im Frequenzbereich von 100 kHz bis 3 GHz bestimmt. Im Mittel über alle Punkte ergab sich für die TETRA BOS-Immissionen leistungsbezogen ein Anteil von 30% an der gesamten Hochfrequenzimmission. Immissionen von anderen als Mobilfunksendeanlagen (z. B. Ton- und Fernsichtfunk) trugen an den Messpunkten nur in untergeordnetem Maß zur Gesamtimmission bei.

Langzeitmessungen über 24 Stunden an einer ländlichen und einer städtischen TETRA BOS-Anlage zeigen einen zeitlich nahezu konstanten Immissionsverlauf, der im Wesentlichen durch den zeitkonstanten Signalisierungsträger verursacht wird. Dieser erzeugt eine permanente Immission, wohingegen bei den analogen BOS-Anlagen nur dann eine Immission erzeugt wird, wenn ein Sprachsignal übertragen wird.

Als Fazit ist festzustellen, dass mit den Basisstationen der neuen Mobilfunktechniken LTE und TETRA BOS eine Expositionszunahme für die Bevölkerung verbunden ist; die Gesamtimmission bewegt sich aber nach

wie vor auf sehr geringem Niveau (Median kleiner als 2% des Feldstärkegrenzwertes). An den untersuchten Mobilfunkanlagen ergab sich bei maximaler Anlagenauslastung im Mittel ein leistungsbezogener Zuwachs der Mobilfunkimmissionen von 37% durch LTE bzw. 47% durch TETRA BOS. Im Mittel wurde leistungsbezogen ein Anteil von 22% für LTE und 30% für TETRA BOS an der gesamten Hochfrequenzimmission gemessen. Diese Angaben sind vor allem für die unmittelbare Umgebung der ausgewählten Anlagen repräsentativ und sollten nicht als flächen- bzw. bevölkerungsgemittelte Immissionszunahme interpretiert werden.

6. UMSETZUNG DER ERGEBNISSE

Das Forschungsvorhaben hat die Datenlage über die Exposition der allgemeinen Bevölkerung um Informationen über reale Expositionssituationen in der Nähe von Sendeanlagen für die neuen, bundesweit im Aufbau befindlichen Funkdienste ergänzt und damit insgesamt weiter verbessert. Die Ergebnisse des Vorhabens tragen dazu bei, die gesundheitlichen Risiken für die Bevölkerung zu ermitteln, die von hochfrequenten elektromagnetischen Feldern im Alltag ausgehen. Sie dienen der Information der Fachöffentlichkeit und der interessierten allgemeinen Öffentlichkeit und werden für die Risikokommunikation genutzt. Die gewonnenen Erkenntnisse über anwendbare Immissionsmessverfahren werden über das zuständige nationale Spiegelgremium in die europäische Normungsarbeit eingebracht.

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			
Altersabhängige Wirkungen hochfrequenter elektromagnetischer Felder des Mobilfunks auf Entwicklungs- und Differenzierungsprozesse des Zentralnervensystems in juvenilen Labornagern			
Subject			
<i>Age dependent effects of high-frequency electromagnetic fields on the development and differentiation of the CNS of juvenile laboratory rodents</i>			
	Beginn 01.11.2009	Ende 31.10.2012	Fördermittel EUR 605.280,-
Forschungs- / Auftragnehmer Jacobs University, Bremen			
Projektleitung Prof. Dr. A. Lerchl	Fachbetreuung BfS Dr. M. Asmuß / AG-SG 1.4.		verantwortlich für den Text Prof. Dr. A. Lerchl

1. ZIELSETZUNG

Zunehmend werden Mobiltelefone auch von jüngeren Kindern benutzt. Der Frage nach einer möglichen höheren Empfindlichkeit von Kindern muss daher weiter nachgegangen werden, wobei die Situation des Handynutzers, d. h. vergleichsweise hoher lokaler Energieeintrag im Kopfbereich, im Zentrum stehen sollte. In einer tierexperimentellen Studie an juvenilen Labornagern sollte der Einfluss hochfrequenter elektromagnetischer Felder des Mobilfunks auf Entwicklungsparameter, Kognition und Verhalten untersucht werden. Neoplasien v. a. des Zentralnervensystems (ZNS) sollten erfasst werden.

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 Exposition der Tiere sollte verblindet nach GSM (Global system mobile communication)-900 Standard im Kopfbereich für 2 Stunden pro Tag, 5 Tage pro Woche über einen Zeitraum möglichst früh postnatal bis mindestens zum Alter von 18 Monaten erfolgen, bei über das Rattengehirn gemittelten SAR (Spezifische Absorptionsrate)-Werten von 0 (Scheinexposition) bis 10 W/kg. Für das Projekt musste eine Expositionsanlage entwickelt und aufgebaut werden, in der heranwachsende Tiere möglichst früh postnatal bis zur Vollreife lokal begrenzt im Kopfbereich ohne Erhöhung der Körper-Kerntemperatur wiederholt exponiert werden können. Dabei war die von der Größe der exponierten Tiere abhängige und daher zumindest bis zum Erreichen des adulten Stadiums sich verändernde spezifische Absorptionsrate zu berücksichtigen.

2.3 BIOLOGISCHES SYSTEM, ENDPUNKTE

Die Untersuchungen sollten am Tiermodell Ratte durchgeführt werden. Der allgemeine Gesundheitszustand und das Körpergewicht der Tiere waren während des gesamten Expositionszeitraums zu erfassen und zu dokumentieren, ebenso bei den Jungtieren Entwicklungsparameter wie Reflexe, Öffnung der Augen und der äußeren Gehörgänge.

Zur Untersuchung der Wirkungen auf das Zentralnervensystem sollte ein Set von Verhaltens- und Kognitionstests verwendet werden, das geeignet ist, Effekte möglichst sensitiv zu erfassen, darunter mindestens ein auf Gedächtnisleistung bezogener Test. Die Tests sollten 1 x im Jugendalter, 1 x im Erwachsenenalter und 1 x am älteren Tier durchgeführt werden.

Am Ende der Expositionsphase sollten histopathologische (feingewebliche) Untersuchungen v.a. des relevanten Zielorgans ZNS durchgeführt werden. Auftretende Neoplasien waren nach den international gebräuchlichen Klassifizierungs-Systemen einzuordnen.

3. METHODIK

3.1 EXPOSITION/DOSIMETRIE

Entwicklung, Aufbau und Bereitstellung der Expositionsanlage, numerische Berechnungen zur Analyse der Feldverteilungen in der Expositionsanlage ohne und mit Tieren, die Evaluierung hinsichtlich der SAR-Verteilung in den Tieren sowie die technische Betreuung des Projekts erfolgte durch den technischen Partner TU Wuppertal. Für die numerische Dosimetrie wurden vier realistische, MRT (Magnetresonanztomographie)-basierte Computermodelle erstellt, um die verschiedenen Wachstumsphasen der Tiere möglichst realitätsnah abzubilden.

3.2 BIOLOGISCHES SYSTEM, ENDPUNKTE

Die Untersuchungen wurden an weiblichen Wistar-Ratten durchgeführt, die Exposition begann am 14. Lebenstag und wurde über einen Zeitraum von 19 Monaten fortgesetzt. Pro Gruppe wurden 24 Tiere untersucht, zusätzlich wurde eine Käfigkontrolle mitgeführt. Das Testpanel umfasste RotaRod-Treadmill zur Untersuchung der motorischen Koordination und Motivation, den 8-Arm-Maze-Test für räumliche Orientierung und Gedächtnis, den Open-Field-Test für Explorationsverhalten, Motivation und Ängstlichkeit sowie den Water-Maze-Test für Motivation, Kurzzeit- und Langzeitgedächtnis. Diese Tests wurden in drei Lebensabschnitten der Tiere

1. im Alter von 1-2 Monaten (juvenil),
2. im Alter von 10-11 Monaten (adult) und
3. im Alter von 16-17 Monaten (präsenil) durchgeführt, so dass auch Effekte erfasst wurden, die sich erst in späteren Lebensphasen manifestieren.

Routinemäßig wurden Gesundheitszustand, Gewicht und bei den jungen Tieren die Ausbildung von Entwicklungsmarkern wie Augen- und Ohröffnung sowie die Ausbildung des „righting reflex“ geprüft, d. h. die Fähigkeit, den Körper schnell so auszurichten, dass das Tier bei einem Fall aus geringer Höhe auf den Füßen landet.

Am Ende der experimentellen Phase wurden die Tiere getötet und Gehirn sowie Hypophyse auf Neoplasien histologisch untersucht.

4. DURCHFÜHRUNG

Die Expositionsanlage ist vom Kooperationspartner TU Wuppertal konzipiert, aufgebaut und in Betrieb genommen worden. Die Anlage arbeitete während der gesamten Zeit problemlos. Die 8 Einzelanlagen mit 6 Plätzen (= 48 Plätze) wurden in zwei aufeinander folgenden Schichten während des Tages (also während der Ruhephase der Ratten) mit den Tieren beschickt. Die Verblindung war gewährleistet. Die Adapter (Restrainer) zum Aufnehmen der Tiere wurden je nach Größe der Tiere angepasst. Als hilfreich hat sich erwiesen, dass die Aufnahmeschlitten für die Adapter eine leichte (5°) Neigung nach unten haben, so dass von den Tieren während der Exposition abgegebener Urin ablaufen konnte und sich nicht unter den Tieren staute (Abbildung 1).

Die Ratten hatten vor Verbringung in die Adapter Gelegenheit, sich an diese zu gewöhnen, indem sie ihnen einige Tage vor Beginn der Exposition in die Käfige gelegt wurden. Nach einer Eingewöhnungsphase während der ersten 5 Tage mit aufsteigenden Expositionszeiten wurden sie ab der zweiten Woche für 2 Stunden pro Tag an 5 Tagen pro Woche exponiert. Die Tiere mussten nicht gezwungen werden, in die Adapter zu kriechen, sondern taten dies in der Regel freiwillig (Video-Aufnahmen liegen vor). Während der Exposition lagen sie meistens ruhig darin und schliefen.

Die Verhaltensexperimente konnten wie geplant durchgeführt werden.



Abbildung 1:
Expositionsanlage mit 6 Steckplätzen; im Restraint fixierte Ratte während der Exposition

5. ERGEBNISSE

Ein deutlicher, ca. 10% betragender Unterschied der Körpergewichte der Käfigkontrollen gegenüber den Tieren in den Expositionsanlagen ist erst nach ca. 1 Jahr zu sehen (Abbildung 2). Da das Körpergewicht ein empfindlicher Indikator für Stress ist, belegen die Daten, dass die Ratten in den Restrainern zumindest nicht stark gestresst waren, insbesondere nicht während der kritischen Zeit des stärksten Wachstums.

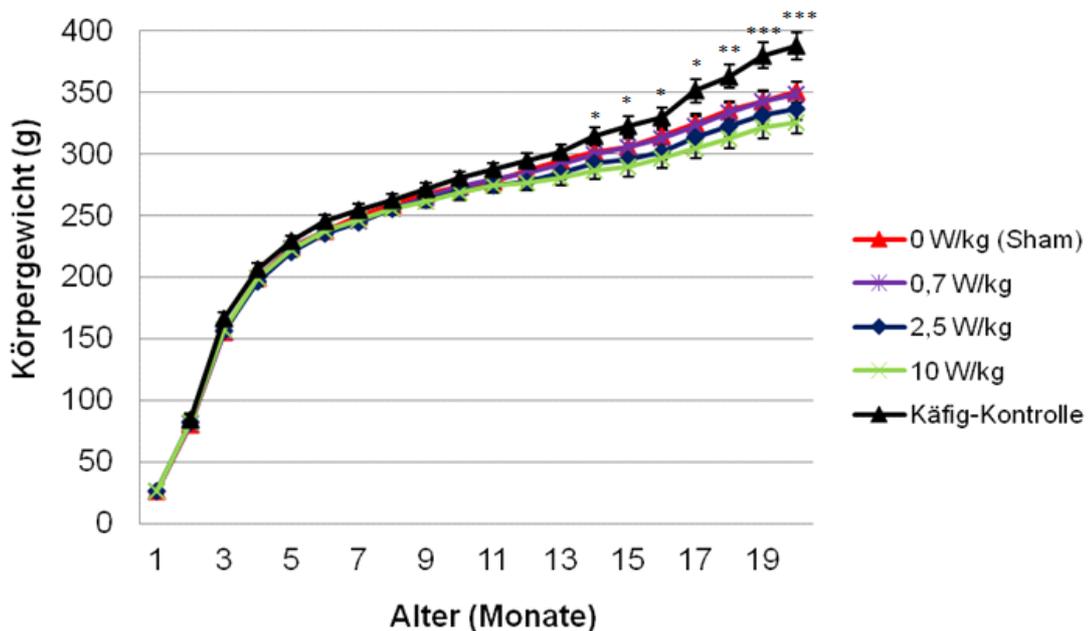


Abbildung 2:
Entwicklung der Körpergewichte der Ratten in g (Mittelwerte \pm SEM). Signifikante Unterschiede zwischen den Käfigkontrollen gegenüber den (schein-) exponierten Ratten (* $p < 0,05$; ** $p < 0,01$; *** $p < 0,001$).

Die Open-Field Experimente zeigten keine signifikanten Unterschiede zwischen den exponierten bzw. schein-exponierten Tieren in den Kammern, während sich bei den alten Ratten zeigte, dass die Käfigkontrollen insgesamt weniger aktiv waren (Abbildung 3).

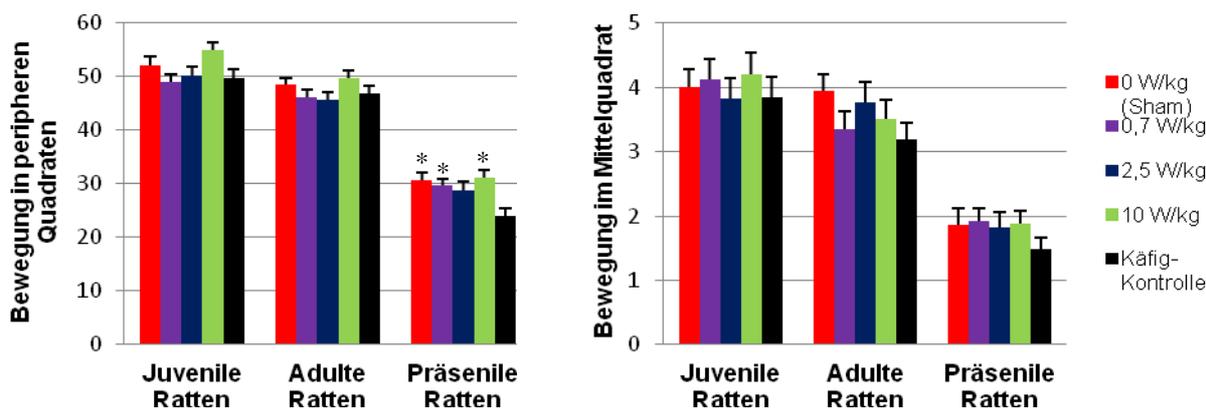


Abbildung 3: Häufigkeit des Durchquerens von peripheren Quadraten (a) und des Mittelquadrats (b) bei juvenilen, adulten und präsenilen Ratten während des Open-Field-Tests (Mittelwerte \pm SEM). * signifikanter Unterschied ($p < 0.05$) (schein-)exponierter Ratten im Vergleich zur Käfigkontrolle nach Bonferoni-Korrektur.

Die Tendenz zu weniger Aktivität bei den älteren Käfigkontrollen wird auch durch die Ergebnisse der Rota-Rod-Experimente bestätigt. Während zwischen den Gruppen der juvenilen und der adulten Ratten kaum Unterschiede festzustellen sind, zeigen die alten Ratten der Käfigkontrolle eine deutlich verringerte Zeit, die sie auf den rotierenden Rollen verbrachten. Sie waren damit „fauler“ als ihre Artgenossen, die zwei Stunden pro Tag in den Expositionsanlagen weitgehend bewegungslos verbrachten. Ob diese Teilergebnisse eine Kompensation der erzwungenen Ruhe bedeuten, kann zwar vermutet, aber nicht bewiesen werden.

Von besonderem Interesse waren die Ergebnisse der Lern- bzw. Gedächtnistests. Im Watermaze-Test (Abbildung 4) zeigte sich deutlich, dass alle Ratten ein gut funktionierendes Kurzzeitgedächtnis und ein ebenso gut funktionierendes Langzeitgedächtnis hatten, wobei zwischen den Gruppen keinerlei signifikante Unterschiede festzustellen waren.

Auch im Labyrinth-Versuch (8-Arm-Maze) konnten keine bedeutsamen Unterschiede zwischen den Gruppen festgestellt werden. Die Fehlerquote verringerte sich sehr schnell, so dass die Tiere innerhalb kurzer Zeit zu ihrer Belohnung kamen.

Die Messungen der Körpertemperaturen durch implantierte Transponder (IPPT-300, Plexx, Niederlande) sowie die der Hautoberfläche durch eine Infrarotkamera (Ti20, Fluke, Österreich) erbrachten keine Hinweise auf thermische Effekte (keine signifikanten Unterschiede zwischen der scheinexponierten und den exponierten Gruppen; Abbildung 5).

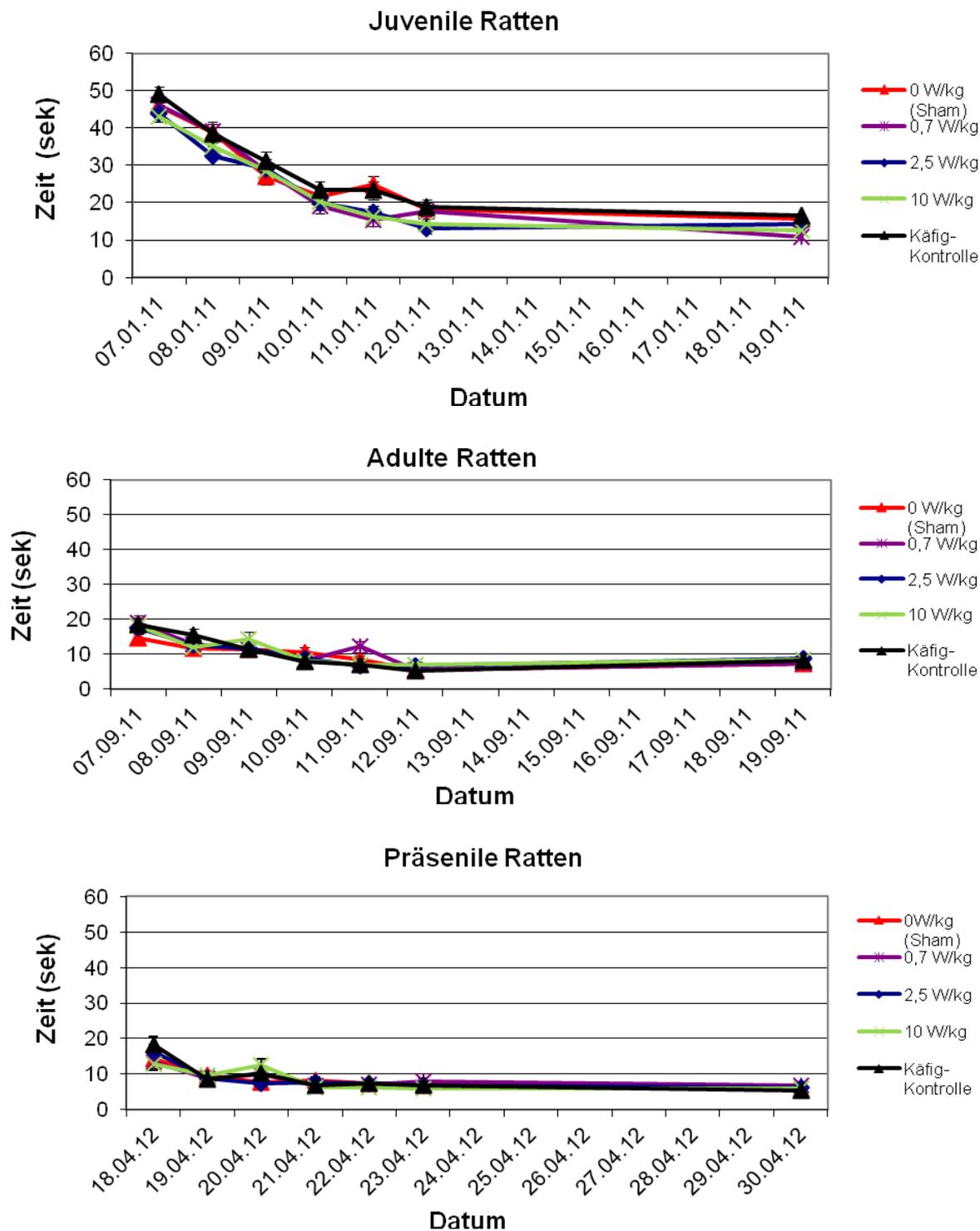


Abbildung 4:
Benötigte Zeit von juvenilen, adulten und präsenilen Ratten bis zum Erreichen der verborgenen Plattform (Mittelwerte \pm SEM).

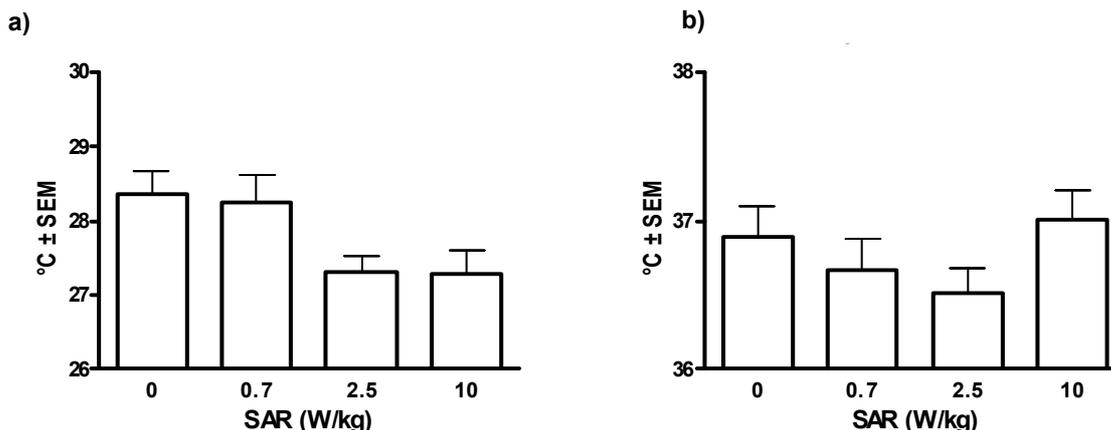


Abbildung 5:
Hautoberflächentemperaturen (a) und Körperkerntemperaturen (b) von exponierten bzw. scheinexponierten Ratten (Mittelwerte \pm SEM).

Histopathologische Untersuchungen

38 von 120 Tieren, also ca. 32%, wiesen ein Adenom der Hypophyse auf. Derartige Adenome sind bei diesem Rattenstamm nicht selten und treten nach Züchterangaben in einem Alter von 24 Monaten bei etwa 60% der weiblichen Tiere auf. Die Tumore wurden neuroanatomisch klassifiziert, basierend auf der Tumorgroße und dem Grad der lokalen Invasion (nach Hardy 1969). Es traten keine Unterschiede zwischen den Gruppen (exponiert, scheinexponiert, Käfigkontrolle) auf. Neoplasien des ZNS sind bei dem verwendeten Rattenstamm selten und liegen bei 2 Jahre alten Ratten unter 1% (Züchterangaben). In diesem Versuch wurde nur bei einer Ratte, aus der mit 2,5 W/kg exponierten Gruppe, bei der histologischen Untersuchung ein Gehirntumor festgestellt. Der hinzugezogene Pathologe diagnostizierte periventriculäres Tumorgewebe.

6. UMSETZUNG DER ERGEBNISSE

In der vorliegenden Studie sollte in Labornagern der Einfluss hochfrequenter elektromagnetischer Felder des Mobilfunks unter Nahfeldbedingungen, d.h. bei wiederholter Kopfexposition, auf Entwicklungsparameter, Kognition und Verhalten untersucht werden. Die Exposition sollte möglichst früh beginnen, um Wirkungen auf das junge, noch nicht vollständig ausgereifte Gehirn erfassen zu können. Am Ende des Untersuchungszeitraums sollten auftretende Hirntumore histopathologisch untersucht werden. Es zeigten sich in dieser Studie keine Einflüsse der Exposition mit hochfrequenten elektromagnetischen Feldern auf die untersuchten Endpunkte. Weder in den Untersuchungen zu Entwicklungsparametern noch in den Verhaltens- und Lerntests traten Unterschiede zwischen exponierten und scheinexponierten Tieren auf. Auch eine Zunahme von Hirntumoren wurde nicht beobachtet.

Die Untersuchung ergänzt die Erkenntnisse über Auswirkungen hochfrequenter elektromagnetischer Felder des Mobilfunks auf den heranwachsenden Organismus. Hinweise auf eine erhöhte Empfindlichkeit wurden nicht gefunden. Die Ergebnisse sollen nach Möglichkeit in einem Fachjournal veröffentlicht werden. Sie werden für die Information anfragender Bürger oder Institutionen genutzt. Auswirkungen auf die bisherige Risikobewertung oder die Grenzwerte ergeben sich aus der Untersuchung nicht.

STATUSBERICHTE
DER VOM BfS BEGLEITETEN STRAHLENSCHUTZ-FORSCHUNGSVORHABEN
DES BMU

*STATUS REPORTS
OF BfS SUPPORTED BMU RADIATION PROTECTION RESEARCH PROJECTS*

Themenbereich 01
Natürliche Strahlenexposition

*Subject area 01
Natural radiation exposure*

Thema

Untersuchung des Einflusses baulicher Energiesparmaßnahmen (energetische Sanierung, Passivbauweise) auf die Radonkonzentration in Innenräumen - Los 1

Subject

Influence of structural energy conservation methods (energy remediation, passive house) on indoor radon concentration - Part 1

Kennzeichen

3611S10015

Beginn

01.01.2012

Ende

28.04.2014

Fördermittel

EUR 84.585,-

Forschungs- / Auftragnehmer

Dr. J. Kemski, Sachverständigenbüro, Bonn

Projektleitung

Dr. J. Kemski

Fachbetreuung BfS

Dr. W. Meyer / SW 1.1

verantwortlich für den Text

Dr. J. Kemski

1. ZIELSETZUNG

Im Rahmen der energetischen Energieeinsparungen bei Gebäuden wird bewusst und gewollt eine zunehmend dichte Gebäudehülle durch bauliche Maßnahmen geschaffen. Dies kann jedoch kontraproduktiv im Hinblick auf eine mögliche Anreicherung von Innenraumschadstoffen (hier u. a. Radon) in dem sanierten Haus sein. Umfangreiche und systematische Untersuchungen mit belastbaren Ergebnissen zu derartigen Abhängigkeiten, insbesondere unter Berücksichtigung aktueller Bau- bzw. Sanierungsstandards, liegen derzeit noch nicht vor.

2. EINZELZIELSETZUNG

Es war geplant, in insgesamt 400 energetisch nicht sanierten, energetisch sanierten (und hier mindestens zwei verschiedene potenziell radonrelevante Sanierungsmethoden) und Passivhäusern Radonmessungen in der Raumluft in zwei verschiedenen Regionen in Deutschland (Teile von Nordrhein-Westfalen und Sachsen) durchzuführen. Damit sollte die Datenlage bzgl. einer möglichen Radonbelastung in den genannten Haustypen verbessert werden. Vertraglich war festgelegt, dass zum Stichtag 30.9.2012 überprüft werden musste, ob die angestrebte Zahl von Haushalten erreicht war; waren weniger als 325 Teilnehmer akquiriert, sollte das Vorhaben abgebrochen werden.

3. METHODIK

Es sollten Jahresmessungen mit Exposimetern nach DIN 25 706, Teil 1 durchgeführt werden, die für Teilnehmer kostenfrei sind. Ein Fragebogen zur Bauweise und Nutzung des Gebäudes sowie zu den durchgeführten Sanierungsmaßnahmen sollte die notwendigen Informationen für die Auswertung der Messreihen liefern.

4. DURCHFÜHRUNG

Gemäß dem Arbeits- und Zeitplan des Vorhabens wurde im Sommer 2012 mit der gezielten Akquisition von Teilnehmern begonnen. Angesprochen wurden insbesondere überregionale und regionale Interessensverbände oder Institute, Hauseigentümer- und Immobilienverbände, Energieagenturen o. ä., die sich mit der Thematik energetisches Bauen und/oder Innenraumschadstoffe beschäftigen. Gleichzeitig wurden Artikel bzw. Aufrufe in regionalen und lokalen Zeitungen veröffentlicht. Die Unterstützung war sehr unterschiedlich - von sehr aufgeschlossen bis zur ausdrücklichen Ablehnung mit Hinweis auf die fehlende Relevanz dieses Themas.

Im Ergebnis wurde die für die Weiterführung des Vorhabens notwendige Mindestzahl von 325 Haushalten zum o. g. Stichtag aber nicht erreicht. Insgesamt hatten ca. 150 Haushalte ihr Interesse an den Messungen bekundet. Das Vorhaben wurde daher abgebrochen.

5. ERGEBNISSE

Im Vorfeld der eigentlichen Untersuchungen wurde der aktuelle Stand von Wissenschaft und Technik zu diesem Thema in einem Sachstandsbericht zusammengestellt. U. a. wurden darin Ursache-Wirkungsbeziehungen für eine Anreicherung von Schadstoffen beschrieben, der Einfluss des Luftwechsels auf die Innenraumluftqualität diskutiert und bauliche Maßnahmen zur Energieeinsparung bzw. energetische Baustandards hinsichtlich ihres Einflusses auf eine Radonanreicherung im Gebäude beschrieben und bewertet.

In Absprache mit der Fachbetreuungsstelle wurden die bis zum o. g. Termin akquirierten Adressen an das BfS übergeben, das die Messungen in Eigenregie durchführt. Die Exposimeter wurden Anfang 2013 verschickt, so dass im 1. Quartal 2014 mit den Ergebnissen gerechnet werden kann.

6. GEPLANTE WEITERARBEIT

Auf Grund des mangelnden Teilnehmerinteresses wurde das Vorhaben im Herbst 2012 gestoppt. Um zumindest Teilergebnisse zu erzielen, wird das Vorhaben mit den erhaltenen Teilnehmerdaten in kleinerem Rahmen vom Bundesamt für Strahlenschutz weitergeführt.

Thema

Untersuchung des Einflusses baulicher Energiesparmaßnahmen auf die Radonkonzentration in Innenräumen - Los 2

Subject

Influence of structural energy conservation methods on indoor radon concentration - Part 2

Kennzeichen

3611S10016

Beginn

01.01.2012

Ende

31.12.2014

Fördermittel

EUR 234.561,-

Forschungs- / Auftragnehmer

Technische Hochschule Mittelhessen, Institut für Medizinische Physik und Strahlenschutz, Gießen

Projektleitung

Prof. Dr. J. Breckow

Fachbetreuung BfS

Dr. W. Meyer / SW 1.1

verantwortlich für den Text

M. Klingebiel

1. ZIELSETZUNG

Das Ziel der Untersuchung liegt in der Erarbeitung eines Modells zur Radonverteilung in Wohnhäusern unter Berücksichtigung energetischer Sanierungsmaßnahmen. Es sind meteorologische Abhängigkeiten und Luftwechselereignisse einzubeziehen. Die Ergebnisse sollen zeigen, ob und welche Methoden der energetischen Sanierung eine Erhöhung der Radonkonzentration in den Wohnräumen zur Folge hat. Für festgestellte Konzentrationserhöhungen ist ein Konzept zur Verminderung dieser, im besten Fall zur Vermeidung zu erarbeiten.

2. EINZELZIELSETZUNG

Nach dem Stand von Wissenschaft und Technik für Radon in Wohnhäusern und Maßnahmen der energetischen Sanierung sind geeignete Messobjekte zu akquirieren. Nach Möglichkeit sollen an den verschiedenen Objekten unterschiedliche Sanierungsmaßnahmen ausgeführt werden, um einzelne und möglichst vielfältige Maßnahmen beurteilen zu können. In jedem Gebäude sind nach aktuellem wissenschaftlichem Stand Radon und alle weiteren Einflussparameter jeweils vor und nach der Sanierung zu messen. Die Aufnahme der Messdaten findet jeweils mindestens über einen Zeitraum von vier Wochen, unter Vermeidung extremer Witterungsverhältnissen statt. D. h. die Messzeiten beschränken sich auf das Frühjahr und den Herbst. Des Weiteren beinhaltet dieser Arbeitsschritt die Dichtemessung der Objekte vor und nach der Sanierung mittels des sogenannten Differenzdruck-Messverfahrens (Zusatzvertrag) in modifizierter Form.

3. METHODIK

Der erste Termin mit den Hausbesitzern gilt der Sichtung und Eignungsprüfung des Objektes. Dem Hausbesitzer wird das Projekt und die dazugehörige Vorgehensweise erläutert und das Einverständnis für alle erforderlichen Messungen und Maßnahmen eingeholt. Bei einem Rundgang durch das Gebäude werden notwendige Informationen gesammelt, um die Gebäude- und Standortdaten möglichst präzise zu erfassen. Außerdem werden alle vom Hausbesitzer tatsächlich geplanten Maßnahmen der energetischen Sanierung schriftlich festgehalten. Um die Eignung des Messobjektes abschließend abzusichern, wird ein AlphaGUARD-Radonmessgerät für eine Woche im Keller des Messobjektes aufgestellt. Anschließend werden bei ausreichender Radonkonzentration im Keller die Messgeräte im ganzen Haus, für eine Gesamtdauer von mindestens vier Wochen, aufgestellt. Es wird darauf geachtet, dass die Hausbewohner gewährleisten können, während der Messzeiten die Räumlichkeiten normal zu nutzen.

Nach Abschluss aller Sanierungsmaßnahmen werden die Messgeräte, in den entsprechenden Räumen und an den gleichen Stellen wie vor der Sanierung, aufgestellt. Der Messzeitraum beträgt wieder mindestens vier Wochen, um einen vergleichbaren Datenumfang vor und nach der Sanierung zu gewährleisten.

Jeweils am Anfang des Messzeitraumes wird mindestens im Keller eine Aufbaukurve der Radonkonzentration aufgenommen. Dazu wird der Raum gut durchgelüftet und im Anschluss alle Fenster und Türen verschlossen. Während der Aufnahme dieser Kurve sollte der Raum mindestens einen Tag, besser zwei oder drei Tage, nicht betreten werden. Dies hält den Luftwechsel und damit eine Störung der Kurve so gering wie möglich. Optional kann eine Betrachtung des Objektes mit einer vorhandenen Thermo-Kamera vorgenommen werden.

3.1 RADONMESSUNGEN

Für die Radonmessungen werden vier AlphaGUARD-Geräte der Firma Saphymo und zwei Atmos-Geräte der Firma Gammadata verwendet. Beide Gerätetypen arbeiten nach dem Prinzip einer Vieldraht-Ionisationskammer. Die geräuschlos im Diffusionsbetrieb arbeitenden AlphaGUARDs werden in den Wohn- und Schlafräumen eingesetzt, während die Atmos-Geräte im Keller Einsatz finden. Die Geräte werden so aufgestellt, dass in jeder Etage in zwei Räumen eine Radonüberwachung stattfindet. Das Messintervall der Radonmonitore ist auf zehn Minuten eingestellt, um Schwankungen der Radonkonzentrationen schnellstmöglich wahrnehmen und Zusammenhänge mit anderen Parametern erkennen zu können.

3.2 ERFASSUNG METEOROLOGISCHER DATEN

Zur Erfassung dieser Daten werden die entsprechenden Funktionen der Radonmonitore genutzt, um sicherzustellen, dass an jedem Punkt der Radonmessung Temperatur, Luftfeuchtigkeit und Druck in Abhängigkeit der Zeit erfasst werden. Zusätzlich werden im Freien mit Hilfe einer Wetterstation zeitlich aufgelöste Werte der Lufttemperatur, -feuchte und -druck, Windgeschwindigkeit/-richtung und Niederschlagsmengen erfasst. Außerdem erfolgt die separate Messung der Druckdifferenz Innen-/Außenluft in einem der Räume parallel zur Radonmessung.

3.3 ERFASSUNG DER RAUMNUTZUNG

Neben baulichen und meteorologischen Bedingungen hat das Nutzungsverhalten der Bewohner eines Gebäudes maßgeblichen Einfluss auf die mittlere Radonkonzentration in den Wohnräumen. Um diesen Einfluss quantifizieren zu können, werden über den gesamten Messzeitraum an jedem Punkt der Radonmessung Zeitreihen der CO₂-Konzentration aufgenommen. Dieser zeitliche Verlauf erlaubt Rückschlüsse auf den Luftwechsel und somit auf die Raumnutzung. Des Weiteren werden die Bewohner gebeten, in Protokollen die übliche Raumnutzung und Abweichungen von dieser 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 Dichtigkeit des Messobjektes festgestellt. Im Verlauf der Messungen wird die Druckdifferenz Gebäude-Außenluft in drei Schritten stufenweise erhöht und bis zur Sättigung der Radonkonzentration konstant gehalten. Dabei sollte ein Unterdruck gegenüber der Außenluft verwendet werden, der in den ersten beiden Stufen gering gehalten werden sollte, um ein Nachströmen von Luft durch die Gebäudehülle gering zu halten. Im Anschluss wird der Radonverlauf bei Überdruck gemessen, was eine deutliche Verringerung der Radonkonzentration mit sich bringen sollte. Das Ziel der Messung ist neben der Erfassung der Dichtigkeit der Gebäudehülle und dem damit verbundenen Luftwechsel, die zeitgleiche Messung der Radonkonzentration mit den Radonmonitoren AlphaGUARD und Atmos. Dies ist ein möglicher Weg, Radonquellen zu identifizieren. Je nach eingestellter Druckdifferenz ist es möglich, dass in Gebäudeteilen, deren Untergrund weniger dicht ist, das abgesaugte Radon durch den Unterdruck ständig nachströmt. Dies lässt sich mittels der Radonmonitore nachweisen und weist auf einen Radoneintrittspfad hin.

4. DURCHFÜHRUNG

4.1 MESSOBJEKT 1 (GRÜNBERG)

Das Objekt ist ein massives Einfamilienhaus aus dem Baujahr 1956 mit neuerem Anbau. Die Lage ist auf ebenem Gelände mit einer mittelalterlichen Stadtmauer an der Rückseite des Gebäudes. Als Renovierungsmaßnahme ist der Austausch der alten Fenster geplant. Bisher wurden die Messungen vor Sanierung wie in der Methodik beschrieben vom 31.5.2012 bis 27.7.2012 ausgeführt. Die Messung der Gebäudedichtigkeit wurde am 18.01.2013 wie folgt durchgeführt. Es wurde mit einem Unterdruck von 5 Pa begonnen, der für 60 min gehalten wurde. Anschließend wurden 2 Durchgänge mit 10 Pa und 20 Pa Unterdruck ausgeführt, die jeweils für ca. 30 min gehalten wurden. Der letzte Unterdruck betrug 50 Pa für ein Zeitintervall von ca. 30 min. Die Standorte der Messgeräte waren im Keller (Atmos und AlphaGUARD) und im Flur (EG) und Schlafzimmer (OG) jeweils ein AlphaGUARD. Zuletzt wurde das für Differenzdruckmessungen übliche Messprogramm einmal im Unterdruck und Überdruck abgefahren, um den sogenannten n50-Wert zu bestimmen, der eine Aussage über den Luftwechsel zulässt.

4.2 MESSOBJEKT 2 (STAUFENBERG-ESCHERODE)

Das Objekt wurde 1974 erbaut und ist ein massives Einfamilienhaus in unterer Hanglage, das als WG genutzt wird. Geplante Sanierungsmaßnahmen sind: Erneuerung des Dachs, Fassadendämmung, Austausch der alten Fenster und der Einsatz einer Tür zum Kellerbereich (vorher keine Tür vorhanden). Bisher wurden die Messungen vor Sanierung wie in der Methodik beschrieben vom 10.10.2012 bis 8.12.2012 ausgeführt. Die Messung der Gebäudedichtigkeit wurde am 07.12.2012 wie folgt durchgeführt. Es wurde mit einem Unterdruck von 5 Pa begonnen, der für 20 min gehalten wurde. Anschließend wurden 2 Durchgänge mit 25 Pa Unterdruck ausgeführt, die für 7 min bzw. 9 min gehalten wurden. Der letzte Unterdruck betrug 60 Pa, für ein Zeitintervall von 4 min. Die Standorte der Messgeräte entsprachen, außer einem in den Treppenaufgang gestellten AlphaGUARD, den vorher genannten Plätzen.

5. ERGEBNISSE

Zum gegenwärtigen Zeitpunkt gibt es noch keine aussagefähigen Ergebnisse, da die bisher vorliegenden Messungen vor der Sanierung noch nicht abschließend ausgewertet wurden. Des Weiteren haben diese ohne zugehörige Messungen nach der Sanierung für das vorliegende Projekt keine endgültige Aussagekraft. Erste Messungen nach abgeschlossenen Sanierungsmaßnahmen sind im Objekt Staufenberg-Escherode und möglicherweise im Objekt Grünberg im Herbst geplant.

6. GEPLANTE WEITERARBEIT

Die bisher vorhandenen Messungen sind mittels Gruppenbildung über Varianzanalysen auszuwerten, um Unterschiede zwischen verschiedenen Gruppen festzustellen. Anschließend ist eine Faktorenanalyse durchzuführen, um mehrere Einflussparameter gleichzeitig betrachten zu können. Damit könnte eine Aussage getroffen werden, von welchen Faktoren die gemessene Radonkonzentration tatsächlich beeinflusst wurde. Im Idealfall stimmt die daraus resultierende Aussage in allen Messobjekten überein, so dass allgemeine Aussagen über Radonkonzentrationen in Wohnräumen und ihre Einflussparameter getroffen und auf die Messungen nach den Sanierungsmaßnahmen angewandt werden können.

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 151.511,-
Forschungs- / Auftragnehmer DIN Deutsches Institut für Normung e.V.			
Projektleitung B. Seidel	Fachbetreuung BfS Dr. A. Schegerer / AG-SG 2.2		verantwortlich für den Text B. Seidel

1. ZIELSETZUNG

Für die Ziele des Strahlenschutzes sind die Vorschriften des Atomgesetzes, der Strahlenschutzverordnung und der Röntgenverordnung (RöV) durch Normen zu untermauern, um eine zielgerichtete, bundeseinheitliche Umsetzung zu gewährleisten.

Daneben sind bestehende, für den Vollzug wichtige Normen neuen Entwicklungen, die sich beispielsweise aus der Informationsverarbeitung und der Einführung digitaler Techniken ergeben, anzupassen. Die Normen präzisieren die durch Gesetze, Verordnungen, Verwaltungsvorschriften und Richtlinien vorgegebenen Regeln und geben Ausführungshinweise dazu.

Ziel des Vorhabens ist es, Normen für die Überwachung von Einrichtungen der medizinischen Radiologie hinsichtlich technischer Eigenschaften, Qualität und Strahlenschutz zu erstellen bzw. zu überarbeiten.

Das Vorhaben soll auch die Arbeiten zur Einflussnahme auf die europäische und internationale Normung im Bereich der Strahlenschutzverordnung und Röntgenverordnung erheblich verbessern. Nur so können wesentliche nationale Vorgaben frühzeitig eingebracht und durchgesetzt werden. Dies ist wegen der bindenden Wirkung dieser übernationalen Normung (ISO, IEC, CEN, CENELEC) von erheblicher nationaler Bedeutung und auch erforderlich, um die Ziele neuerer europäischer Vorgaben für den Strahlenschutz harmonisiert umzusetzen.

ISO: International Organization for Standards

IEC: International Electrotechnical Commission

CEN: Comité Européen de Normalisation

CENELEC: Comité Européen de Normalisation Électrotechnique

2. EINZELZIELSETZUNG

Das Vorhaben beinhaltet Normungsarbeit auf den folgenden Teilgebieten:

- Qualitätssicherung nach RöV an Röntgeneinrichtungen;
- Qualitätssicherung an Einrichtungen für die Strahlentherapie;
- Festlegung von Eigenschaften strahlentherapeutischer Einrichtungen;
- Strahlenschutz für Patienten und Personal einschließlich der erforderlichen dosimetrischen Verfahren und baulicher Strahlenschutz.

Die einzelnen Projekte einschließlich der terminlichen Zielsetzungen sind der Tabelle 1 unter Abschnitt 5 zu entnehmen.

3. METHODIK

Nach der Richtlinie für Normenausschüsse des DIN vom Februar 2009 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 werden nach den Grundsätzen der Normungsarbeit, die in den unter 3. „Methodik“ genannten Dokumenten niedergelegt sind, durchgeführt.

5. ERGEBNISSE

Die bisher erreichten Ergebnisse sind in der nachfolgenden Tabelle zusammengefasst.

Tabelle 1:
Auflistung der Projekte

Nr.	Projektnummer	Titel	Stand
1	DIN 6847-7	Medizinische Elektronenbeschleuniger-Anlagen – Teil 7: Röntgenstrahlungsbasierte Systeme für die bildgesteuerte Strahlentherapie - Abnahme- und Konstanzprüfung	Vorlage erarbeitet
2	DIN 6873-5	Bestrahlungsplanungssysteme – Teil 5: Konstanzprüfungen von Kennmerkmalen ^{1,2}	Entwurf in Veröffentlichung
3	DIN 6868-163	Sicherung der Bildqualität in röntgendiagnostischen Betrieben – Teil 162: Abnahmeprüfung nach RÖV an Röntgeneinrichtungen für die mammographische Stereotaxie	Vorlage erarbeitet
4	Norm-Projekt	Qualitätssicherung von Röntgeneinrichtungen zur mammographischen Tomosynthese	Eröffnung des Projektes nach Entwurfsveröffentlichung DIN 6868-152, DIN 6868-162 und DIN 6868-14
5	Norm-Projekt	Physikalisch-technische Systemprüfung in der Strahlentherapie ¹	Gliederung erarbeitet
6	DIN 6868-161	Sicherung der Bildqualität in röntgendiagnostischen Betrieben – Teil 161: Abnahmeprüfung nach RÖV an zahnmedizinischen Röntgeneinrichtungen zur digitalen Volumetomographie	Norm veröffentlicht mit Ausgabedatum 2013-01
7	DIN 6873-1	Bestrahlungsplanungssysteme - Teil 1: Inbetriebnahme ¹	Gliederung erarbeitet
8	DIN 6857-2 ²	Strahlenschutzzubehör bei medizinischer Anwendung von Röntgenstrahlung – Teil 2: Qualitätskontrolle von in Gebrauch befindlicher Schutzkleidung ¹	Norm-Entwurf in Veröffentlichung
9	DIN EN 61331-3	Strahlenschutz in der medizinischen Röntgendiagnostik - Teil 3: Schutzkleidung und Gonadenschutz	Norm-Entwurf veröffentlicht mit Ausgabedatum 2011-08 IEC-Status: CDV (Committee Draft for Voting)
10	DIN EN 60601-2-64	Medizinische elektrische Geräte - Teil 2-64: Besondere Festlegungen für die Sicherheit einschließlich der wesentlichen Leistungsmerkmale von Leichtionen-Bestrahlungseinrichtungen ¹	Norm-Entwurf veröffentlicht mit Ausgabedatum 2012-06 IEC-Status: CDV

11	DIN EN 60601-2-68	Medizinische elektrische Geräte – Teil 2-68: Besondere Festlegungen für die Sicherheit einschließlich der wesentlichen Leistungsmerkmale von röntgenstrahlungsbasierten Geräten für die bildgesteuerte Strahlentherapie zur Verwendung mit Elektronenbeschleunigern, Leichtionen-Strahlentherapiesystemen und Radionuklid-Strahlentherapiesystemen ¹	Norm-Entwurf veröffentlicht mit Ausgabedatum 2011-09 IEC-Status: CDV
12	DIN EN 62667	Medical electrical equipment – Medical light ion beam equipment – Performance characteristics	IEC-Status: CD (Committee Draft)
13	Norm-Projekt	Qualitätssicherung von MR (Magnetresonanz)-Geräten für die Therapieplanung	Projekt eröffnet
14	DIN 6868-4	Sicherung der Bildqualität in röntgendiagnostischen Betrieben - Teil 4: Konstanzprüfung nach RöV an medizinischen Röntgeneinrichtungen zur Durchleuchtung	Projekt eröffnet
15	DIN 6868-14	Sicherung der Bildqualität in röntgendiagnostischen Betrieben - Teil 14: Konstanzprüfung nach RöV an Röntgeneinrichtungen für digitale Mammographie	Vorlage erarbeitet
16	DIN 6875-20 ²	Spezielle Bestrahlungseinrichtungen – Teil 20: Protonentherapie – Regeln für die Auslegung des baulichen Strahlenschutzes ¹	Norm-Entwurf in Veröffentlichung

¹ Titel geändert

² Norm-Nummer festgelegt

6. GEPLANTE WEITERARBEIT

Die Weiterarbeit erfolgt in jedem Teilprojekt entsprechend den Grundsätzen der Normungsarbeit, insbesondere der Richtlinie für Normenausschüsse und der DIN 820-4 „Geschäftsgang“ festgelegt. Die weiteren Schritte sind in den Arbeitsprogrammen der zuständigen Arbeitsausschüsse des NAR festgelegt.

Thema			
Entwicklung und Validierung von Algorithmen zur Analyse von Spektren aus Halbleiterdetektoren mit mittlerer Energieauflösung (Raumtemperaturdetektoren)			
Subject			
<i>Development and validation of algorithms for analysis of spectra from semiconductor detectors with mean energy resolution (room temperature detector)</i>			
Kennzeichen 3612S20012	Beginn 01.11.2012	Ende 31.05.2014	Fördermittel EUR 136 981,-
Forschungs- / Auftragnehmer Envinet GmbH (Deutschland)			
Projektleitung Dr. S. Reinhardt	Fachbetreuung BfS Dr. M. Zähringer / SW 2.4	verantwortlich für den Text Dr. S. Reinhardt	

1. ZIELSETZUNG

Das Bundesamt für Strahlenschutz (BfS) verfügt über ein Messnetz zur Messung der Ortsdosisleistung (ODL). Die gegenwärtig eingesetzten ODL-Sonden können die nuklidspezifischen Beiträge zur ODL nicht erfassen. Es sollen daher spektroskopische Sonden mit mittleren energetischen Auflösungsvermögen in das Messnetz eingefügt werden. Hierfür werden Raumtemperaturdetektoren auf Basis neuer Detektormaterialien diskutiert. Zur Analyse und Bewertung der daraus gemessenen Spektren soll eine Software entwickelt werden, die die Spektren hinsichtlich ihrer Zusammensetzung analysiert.

Die Analyse der Spektren kann auf Basis von Zeitreihen oder summierten Spektren erfolgen und soll den Charakteristika des eingesetzten Detektors angepasst sein.

Ziel dieses Vorhabens ist es, spezifische Auswertalgorithmen und Auswertesoftware für Detektoren in diesem Energieauflösungsbereich und den entsprechenden anderen messtechnischen Charakteristika für den Einsatz im Messnetz des BfS zu entwickeln, zu implementieren, zu erproben und zu validieren.

2. EINZELZIELSETZUNG

Das Projekt ist aufgeteilt in neun Arbeitspakete (AP) von denen Ende Januar 2013 das erste abgeschlossen wird. Arbeitspaket 2 und Arbeitspaket 3 sind ebenfalls in Bearbeitung und sollen am 30.04.2013 abgeschlossen werden.

2.1 AUFARBEITEN DES RELEVANTEN STANDS VON WISSENSCHAFT UND TECHNIK (AP 1)

Ziel ist es, eine Übersicht über die in der wissenschaftlichen Literatur publizierten Methoden und Algorithmen zur Auswertung von Gammaspektren mit einer zusammenfassenden Bewertung zu bieten.

Dieses Arbeitspaket soll die folgenden Fragen beantworten:

- Welche Methoden zur Spektrenanalyse gibt es?
- Welche numerischen Verfahren werden angewendet?
- Was sind die möglichen Vor- oder Nachteile bestimmter Methoden?

Die Ergebnisse sind Grundlage für die Bearbeitung des AP 3.

2.2 DEFINITION DES ANWENDUNGSGEBIETES UND GENERIERUNG UND AUSWAHL VON SPEKTREN (AP 2)

In diesem Arbeitspaket sollen Spektren definiert werden, die für die späteren Tests der zu entwickelnden Software verwendet werden. Diese Spektren sollen zum einen aus gemessenen Spektren bestehen und zum anderen aus künstlichen Spektren, die auch über Monte Carlo Simulationen erzeugt werden können. Auch vorhandene Zeitreihen sind hierbei zu berücksichtigen.

Insgesamt müssen die Datensätze folgende Variabilität der Spektren abdecken:

- mindestens drei verschiedene Arten von künstlichen Nuklidspektren (z. B. Reaktorinventar, Nukleartest, medizinische Strahlenquelle etc.);
- mindestens drei verschiedene Verhältnisse von natürlicher Umgebungsstrahlung und künstlichem Beitrag;
- mindestens zwei Detektormaterialien (darunter CZT (Kadmium-Zink-Tellurid) und LaBr (Lanthan-Bromid)).

2.3 BENENNUNG EINES GEEIGNETEN AUSWERTEVERFAHRENS UND SCHNITTSTELLEN-DEFINITION (AP 3)

Aus den Ergebnissen von 2.1 und 2.2 soll das zu verwendende Auswerteverfahren definiert werden. Hierbei sollen insbesondere auf die Sensitivität bzgl. der Nachweisgrenze, die Sensitivität auf Nukliderkennung und Robustheit Rücksicht genommen werden. Die Schnittstellen sind der verwendeten Datenbank (LINSI) anzupassen, um den Datenaustausch mit Kooperationspartnern international zu erleichtern.

3. METHODIK

Neben den in den einzelnen Arbeitspaketen genannten Methoden finden über den gesamten Projektverlauf hinweg Meetings mit dem Auftraggeber statt, um erarbeitetes Wissen zu reflektieren und das weitere Vorgehen zu planen.

3.1 AUFARBEITEN DES RELEVANTEN STANDS VON WISSENSCHAFT UND TECHNIK (AP 1)

Die Methodik für diese Ausarbeitung basiert auf Literatur- und Onlinerecherchen.

3.2 DEFINITION DES ANWENDUNGSGEBIETES UND GENERIERUNG UND AUSWAHL VON SPEKTREN (AP 2)

Die gemessenen Spektren werden aus vorhandenen Messspektren des BfS ausgewählt. Diese werden bei Bedarf mit Messungen von künstlichen Nukliden ergänzt. Zusätzliche synthetische Spektren für bestimmte Szenarien können durch Monte Carlo Simulationen hinzugefügt werden.

3.3 BENENNUNG EINES GEEIGNETEN AUSWERTEVERFAHRENS UND SCHNITTSTELLEN-DEFINITION (AP 3)

Die Auswahl eines Auswerteverfahrens erfolgt über die in der Literatur aufgezeigten Ergebnisse und den Erfahrungen des Auftragnehmers und Auftraggebers.

4. DURCHFÜHRUNG

Für die Aufarbeitung des relevanten Stands von Wissenschaft und Technik (AP 1) wurden die Inhalte durch Literatur- und Onlinerecherche erarbeitet. Hierfür wurden entsprechende wissenschaftliche Datenbanken (Web of Knowledge, ADS Havard) wie auch Internetrecherchen verwendet. Publikationen basierend auf anderen Publikationen oder Methoden wurde recherchiert und bewertet. Zusätzlich wurde über Schlüsselwörter eine erweiterte Recherche durchgeführt um darüber hinausgehende Publikationen aus dem Bereich der Spektrenanalyse zu finden.

5. ERGEBNISSE

Die Resultate des ersten abgeschlossenen Arbeitspakets werden in einem Bericht dargestellt und mit dem Auftraggeber diskutiert. Auf dem 15. Fachgespräch zur Überwachung der Umweltradioaktivität (2013) wird das Poster „Umweltüberwachung mit In-Situ Gamma Spektrometer“ präsentiert, das den langfristigen Einsatz von Gammaskpektrometern zeigt und die damit verbundenen Anforderungen an ein Auswerteverfahren aufzeigt. Es ist geplant die Ergebnisse des AP1 auf dem Workshop „Joint International Workshop on Off-site Gamma Dose Rate and Ground Contamination Measurements“ (organisiert von BfS, FMF Universität Freiburg und EURADOS) zu präsentieren. Hierfür wurde ein Abstract bei den Workshop-Organisatoren eingereicht.

6. GEPLANTE WEITERARBEIT

Basierend auf den Ergebnissen von AP 1 sollen in AP 3 Auswerteverfahren benannt und bewertet werden. In AP 2 werden Spektren definiert, die für die Tests im AP 5 verwendet werden sollen. Hierbei werden eventuell Spektren aus Monte-Carlo Simulation mit hinzugezogen. Das am besten geeignete Verfahren aus AP 3 soll im AP 4 in eine prototypische Software umgesetzt und getestet werden (AP 5). Nach Auswertung der Tests werden entsprechende Korrekturen definiert (AP 6) und die Software entsprechend abgeändert (AP 7). Die überarbeitete Version wird analog zu AP 5 getestet (AP 8). Der abschließende Bericht bildet AP 9.

Themenbereich 03
Strahlenbiologie - Wirkung von ionisierender Strahlung,
Strahlenempfindlichkeit

Subject area 03
Radiation Biology - Effects of 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	30.09.2013	EUR 1.182.385,-
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 1.1	Prof. Dr. M. Hausmann, Prof. Cremer, PD Dr. Friedl, Prof. Dollinger, Prof. Löbrich, Dr. Friedland	

1. ZIELSETZUNG

Ziel des Gesamtprojektes ist 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 sollen 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), bzw. theoretisch mit Hilfe von Computersimulationsmodellen erforscht werden. Für die experimentelle Charakterisierung der Zeitkonstanten (4D) bei der Reparatur von DNA (Desoxyribonukleinsäure)-DSB wird besonderes Gewicht auf die Prozessdynamik bei niedrigen Strahlendosen sowie auf die Abhängigkeit von der Lokalisation im Genom gelegt. Es soll untersucht werden, ob die Wahl des benutzten Reparaturwegs vom Genort des Bruchs abhängt und welche zellulären Reparaturfaktoren abhängig vom Bruchort beim Reparaturvorgang eine Rolle spielen.

2. EINZELZIELSETZUNG

2.1 VERFEINERUNG DES SCD-MODELLS UND MODELLIERUNG VON CHROMOSOMALEN BRÜCHEN IN ZELLKERNEN NACH BESTRAHLUNG

Das SCD (Spherical 1-Mbp Chromatin Domain)-Modell wird durch ein bandenabhängiges Volumenmaß erweitert, welches die unterschiedliche Packungsdichte der DNA in Hetero- und Euchromatin repräsentiert. Im Programmpaket PARTRAC soll der Einfluss von hetero- und euchromatischen Regionen im Zellkern auf die Entstehung und Prozessierung von DNA-Schäden sowie Chromosomenaberrationen (CA) modellmäßig erfasst werden. Dabei sollen insbesondere der Aufbau von CA und dessen zeitliche Entwicklung detailliert charakterisiert werden.

2.2 BEWEGLICHKEIT UND FEINSTRUKTUR VON SCHADENSINDUZIERTEN FOCI

Die Beweglichkeit von strahleninduzierten Foci als Marker für geschädigte Chromatinbereiche soll in Abhängigkeit vom linearen Energietransfer (LET) und genetischen Faktoren untersucht werden. Damit ergibt sich die Möglichkeit, Modelle zur Bildung von genetischen Defekten, z. B. der Erzeugung unterschiedlicher Chromosomenaberrationen, zu testen und weiterzuentwickeln. Des Weiteren soll 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

Reparaturkinetiken heterochromatischer DSB in Abhängigkeit von der Anrektion der DSB-Enden in G1-Phase Zellen und Einflüsse auf die Reparatur in Bezug auf Chromosomenaberrationen (Translokationen) als Marker für eine Fehlreparatur werden untersucht.

2.4 MOLEKULARE LOKALISATIONSMIKROSKOPIE ZUR CHARAKTERISIERUNG VON CHROMATINSTRUKTUR- UND -KONFORMATIONSÄNDERUNGEN

Strukturelle Veränderungen im Gesamt-, Eu- und Heterochromatin vor und nach γ -Bestrahlung werden mittels SPDM (Spektrale Präzisions-Distanz-Mikroskopie) erfasst. Verpackungsänderungen in Abhängigkeit von der Reparaturzeit werden statistisch analysiert und systematisch verglichen.

3. METHODIK

3.1 VERFEINERUNG DES SCD-MODELLS UND MODELLIERUNG VON CHROMOSOMALEN BRÜCHEN IN ZELLKERNEN NACH BESTRAHLUNG

Um ein besseres Verständnis der Strukturen der 1Mbp-Domänen zu bekommen, wurden Monte Carlo Simulationen auf Nukleosomen-Ebene durchgeführt und bis zu 5 000 Nukleosomen getestet. Das DNA-Modell in PARTRAC wurde um eine Differenzierung zwischen hetero- und euchromatischen Regionen im Zellkern erweitert. Das DNA-Reparaturmodell wurde um eine fortlaufende Erfassung von DNA-Fragmenten mit interchromosomalen Fehlverbindungen ergänzt, um die Zusammensetzung der resultierenden CA am Ende des Reparaturprozesses im Detail zu charakterisieren.

3.2 BEWEGLICHKEIT UND FEINSTRUKTUR VON SCHADENSINDUZIERTEN FOCI

Nach Ionen-Mikrobestrahlung mit Ionen unterschiedlichen LETs soll die Beweglichkeit der Foci während der nachfolgenden Inkubation mittels Immunfluoreszenz und live-cell imaging bestimmt werden. Dazu werden unterschiedliche Bestrahlungsmuster mit 55 MeV Kohlenstoffionen (hoch-LET) und 20 MeV Protonen (niedrig LET) am Mikrostrahl SNAKE des Tandembeschleunigers in Garching appliziert und in Lebendzellexperimenten die Relativbewegung der durch die Bestrahlung induzierten Foci bestimmt. Durch die Relativmessungen werden systematische Fehler weitgehend unterdrückt. Um den Einfluss genetischer Faktoren auf die Foci-Beweglichkeit zu testen, sollen Kandidatengene durch Ribonukleinsäure-Interferenz (RNAi) oder chemische Inhibitoren herunterreguliert werden. Die Feinstruktur Ionen-induzierter Foci soll mittels Lokalisationsmikroskopie bestimmt werden, wobei durch RNA-Interferenz die Focibildung für eine verbesserte Auflösung moduliert werden soll. Die Feinstruktur der Foci soll auch im Hinblick auf die Kolo-kalisation unterschiedlicher Reparaturfaktoren bestimmt und in unterschiedlichen Chromatinbereichen untersucht werden.

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

RNAi-Technologie in Tumorzellen und primären Fibroblasten und zytogenetische Techniken, wie Premature Chromosome Condensation (PCC) in Kombination mit Fluoreszenz-In-situ-Hybridisierung (FISH), wurden verfahrenstechnisch weiter entwickelt und werden zur Analyse chromosomaler Translokationen eingesetzt. Das Verfahren der Plasmidtransfektion wurde etabliert und mittels immunfluoreszenz-mikroskopischer Analyse wurden Reparaturstudien mittels γ H2AX-Kinetiken angefertigt.

3.4 MOLEKULARE LOKALISATIONSMIKROSKOPIE ZUR CHARAKTERISIERUNG VON CHROMATINSTRUKTUR- UND -KONFORMATIONSÄNDERUNGEN

Über spezifische Antikörper werden hetero- und euchromatische Bereiche an etablierten stabil transfizierten HeLa-Zellen markiert, die das Fluoreszenzprotein-markierte Histon H2A oder H2B exprimieren. Die Zellen werden mittels SPDM vor und nach γ -Bestrahlung zu verschiedenen Reparaturzeiten untersucht. Konformationsänderungen während der Reparatur werden mittels Clusteranalyseverfahren und simulationsunterstützten Auswerteverfahren statistisch erfasst.

4. DURCHFÜHRUNG

4.1 VERFEINERUNG DES SCD-MODELLS UND MODELLIERUNG VON CHROMOSOMALEN BRÜCHEN IN ZELLKERNEN NACH BESTRAHLUNG

Es wurden Monte-Carlo-Simulationen von Chromatin mit 100 bis 5 000 Nukleosomen durchgeführt. Um hohe Rechenzeiten von derzeit Wochen bzw. Monaten um bis zu einen Faktor 10 zu reduzieren, wurde mit einer Parallelisierung des Programms begonnen.

Hetero- und euchromatische Zellkernregionen wurden im DNA-Modell von PARTRAC auf der Basis von 2 Datensätzen mit je 5 Chromatinfaserelementen in atomarer Auflösung beschrieben. Die Genomstruktur in einem menschlichen Fibroblasten-Zellkern wurde aus SCD-Modelldaten anhand 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, anhand von Testrechnungen überprüft und verifiziert. Die Ergebnisse zur CA-Bildung nach γ - und α -Strahlung wurden mit experimentellen Daten und anderen Modellrechnungen verglichen. Der Einfluss reduzierter Mobilität der DNA-Enden auf die CA-Ausbeute wurde untersucht.

4.2 BEWEGLICHKEIT UND FEINSTRUKTUR VON SCHADENSINDUZIERTEN FOCI

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

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

Die kombinierte Anwendung von PCC und FISH dient der Identifizierung von Translokationen in der G1-Phase nach der Depletion von Faktoren, welche in der Endresektion involviert sind. Zur Analyse von γ H2AX-Reparaturstudien wurden verschiedene Zelllinien (Tumorzellen, primäre Fibroblasten) mit siRNA (small interfering RNA) und CtIP (c-terminal binding protein interacting protein)-Mutantenkonstrukten transfiziert und immunfluoreszenz-mikroskopisch analysiert. Die PCC-Methode wurde für die Chromosomenstudien in humanen Fibroblasten zur Anwendung in G1-Phase Zellen mittels Polyethylenglykol (PEG) etabliert.

4.4 MOLEKULARE LOKALISATIONSMIKROSKOPIE ZUR CHARAKTERISIERUNG VON CHROMATINSTRUKTUR- UND -KONFORMATIONSÄNDERUNGEN

Strukturelle Veränderungen im Gesamt-, Eu- und Heterochromatin wurden durch nanometergenaue Messung des Nukleosomenmusters mittels SPDM erfasst. Dazu müssen je Bildausschnitt Zeitserien von bis zu 2 000 Einzelbildern erfasst und auf Blinkereignisse (reversibles Photobleichen) einzelner Farbstoffmoleküle untersucht werden. Die Zellen wurden mit 0,5 Gy, 2 Gy und 4 Gy bestrahlt und nach 30 min oder 48 h mit Formaldehyd fixiert. Mittels stabiler Transfektion konnten die Nukleosomen am H2A oder H2B mit GFP (green fluorescent protein) oder YFP (yellow fluorescent protein) markiert werden. Hetero- und Euchromatin wurden durch spezifische Antikörper identifiziert. Die resultierenden Zweifarbenbilder wurden einer Clusteranalyse und simulationsgestützten Messungen lokaler Dichteverteilungen unterzogen.

5. ERGEBNISSE

5.1 VERFEINERUNG DES SCD-MODELLS UND MODELLIERUNG VON CHROMOSOMALEN BRÜCHEN IN ZELLKERNEN NACH BESTRAHLUNG

Vorläufige Ergebnisse zeigen, dass ein Abweichen von der regelmäßigen „Nucleosome Repeat Length“ von 189 bp zu flexiblerem Chromatin führen kann, aber nicht muss.

Die hetero- und euchromatischen Strukturen zeigen die erwarteten Auswirkungen auf die modellierten Ausbeuten bei verschiedenen biologischen Endpunkten. Jedoch lieferte der verwendete Ansatz einen zu großen Beitrag von heterochromatischen Regionen zum Schadensbild. Die Ausbeute an dizentrischen CA durch γ - und α -Strahlung zeigte sehr gute Übereinstimmung hinsichtlich der Dosisabhängigkeit, während die absolu-

ten Werte um die Faktoren 3 bei γ -Strahlung sowie 1,5 bei α -Strahlung zu hoch lagen. Eine Reduktion der Mobilität der DNA-Enden im Reparaturmodell lieferte keine bessere Anpassung.

5.2 BEWEGLICHKEIT UND FEINSTRUKTUR VON SCHADENSINDUZIERTEN FOCI

Proteine, die an NHEJ (non homologous end-joining) beteiligt sind, zeigen nach Ionenbestrahlung keine mikroskopisch detektierbare Akkumulation. Die Kinetik der Rekrutierung von Mdc1 und Rad52 hängt von Dichte und Komplexität der Schäden ab, während 53BP1 davon unabhängig rekrutiert wird. Die Bewegung der strahleninduzierten Foci gehorcht den Gesetzen der anomalen Subdiffusion.

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

Durch Experimente zur Identifizierung von Chromosomentranslokationen konnte gezeigt werden, dass diejenigen, welche während der langsamen Reparatur entstehen, CtIP- und damit resektionsabhängig sind. Weiter konnte mittels γ H2AX-Reparaturstudien gezeigt werden, dass die CDK (Cyclin abhängige Kinase)-Phosphorylierungsstellen von CtIP wichtig für die Regulation/Funktion von CtIP in der G1-Phase sind. Anfängliche Experimente weisen zudem darauf hin, dass die Funktion von CtIP in der G1-Phase über die Kinase Plk3 reguliert wird.

5.4 MOLEKULARE LOKALISATIONSMIKROSKOPIE ZUR CHARAKTERISIERUNG VON CHROMATINSTRUKTUR- UND -KONFORMATIONSÄNDERUNGEN

5.4.1 Nukleosomenverteilungen von H2A und H2B

Diese zeigen bei unbestrahlten HeLa-Zellen identisch eine zufällige Verteilung ohne Clusterbildung, nachdem die Daten in Bezug auf die Anzahl der detektierten Fluorophore während der Messung (~2 000 - 6 000 Fluorophore pro Messung) normiert worden waren.

5.4.2 Heterochromatin

Heterochromatin in unbestrahlten HeLa-Zellen ließ eine Clusterbildung erkennen. 30 min nach Bestrahlung konnte ein klarer Rückgang der Clusterbildung detektiert werden. 48 h nach der Bestrahlung war eine Erholung bei den mit 0,5 Gy bestrahlten Zellen zu erkennen, bei den mit 4 Gy ein weiterer Rückgang. Simulationsgestützte Analysen von Dichteverteilungsfunktionen scheinen diesen Ent- und anschließenden Verpackungsvorgang im Heterochromatin zu bestätigen. Weitere Analysen sind jedoch erforderlich.

5.4.3 Euchromatin

Euchromatin in unbestrahlten HeLa-Zellen ließ ebenfalls eine Clusterbildung erkennen. 30 min nach Bestrahlung konnte ein scheinbarer Rückgang der Clusterbildung gezeigt werden. Bei allen Experimenten ist eine Rückbildung nach 48 h zu erkennen. Die simulationsgestützten Analysen legen jedoch die Vermutung nahe, dass die Effekte im Euchromatin, wenn überhaupt vorhanden, geringer sind.

6. GEPLANTE WEITERARBEIT

6.1 VERFEINERUNG DES SCD-MODELLS UND BESSERE MODELLIERUNG VON CHROMOSOMALEN BRÜCHEN IN ZELLKERNEN NACH BESTRAHLUNG

Detailliertere Untersuchungen an Nukleosomenmodellen der 1-Mbp Domänen werden fortgeführt. Die Modellentwicklung (PARTRAK) wird entsprechend dem Arbeitsprogramm fortgeführt mit besonderer Zielrichtung auf

- die Modellierung von Foci im Rahmen des DNA-Reparaturmodells,
- eine verbesserte Modellierung von hetero- und euchromatischen Regionen im Zellkern auf Grund der Arbeiten an der Uni Heidelberg und
- die Berücksichtigung hetero- und euchromatischer Regionen im Reparaturmodell entsprechend den Arbeiten an der Uni Darmstadt.

6.2 BEWEGLICHKEIT UND FEINSTRUKTUR VON SCHADENSINDUZIERTEN FOCI

Der Einfluss der Kandidatenprotein Mre11, Rad50, Wstf und Ku80 auf die Größe und Lage von γ H2AX Foci wird analysiert. Die Daten zur Feinstruktur von γ H2AX Foci und zur Kollokalisierung mit anderen Focibildnern

werden vervollständigt. Bildverarbeitung und Auswertung der Focibewegung nach hoch und niedrig LET-Be-strahlungen und nach Modifikation der DNA-Struktur werden entwickelt. Die hochauflösende Mikroskopie zur Untersuchung der Focifeinstruktur wird weitergeführt.

6.3 CHARAKTERISIERUNG DER REPARATUR VON HETEROCHROMATISCHEN DNA-DOPPEL-STRANGBRÜCHEN (DSB) IN G1-PHASE ZELLEN

Die Reparaturmessungen und Analysen zur Entstehung von Translokationen werden entsprechend dem Arbeitsprogramm fortgeführt:

- Bestimmung von DSB-Reparaturkinetiken und Translokationen zur Untersuchung der Wahl des Reparaturweges heterochromatischer DSBs in G1 und
- Untersuchung der Regulation von CtIP durch Plk3 (Polo-like Kinase 3).

6.4 MOLEKULARE LOKALISATIONSMIKROSKOPIE ZUR CHARAKTERISIERUNG VON CHROMATINSTRUKTUR- UND -KONFORMATIONSÄNDERUNGEN

Systematische Messungen werden zur Erhöhung der Zellzahl bei zusätzlich unterschiedlichen Bestrahlungs- und Fixierungszeiten fortgeführt und weitere Antikörper werden getestet. Die auf Polymerstruktursimulationen gestützten Auswertungen werden in Kooperation mit dem Institut für Theoretische Physik, Heidelberg, weiter verfeinert und einer intensiven Interpretation unterzogen.

Thema			
Entwicklung strahleninduzierter DNA-Schäden während der S-Phase des Zellzyklus			
Subject			
<i>Processing of radiation-induced DNA damage during the replicative S-phase of the cell cycle</i>			
Kennzeichen 3610S30016	Beginn 15.09.2010	Ende 31.08.2013	Fördermittel EUR 1 334.840,-
Forschungs- / Auftragnehmer			
Heinrich-Pette-Institut, Leibniz-Institut für Experimentelle Virologie, Hamburg			
Projektleitung Dr. I. Dornreiter	Fachbetreuung BfS Dr. S. Hornhardt / AG-SG 1.1		verantwortlich für den Text Dr. I. Dornreiter

1. ZIELSETZUNG

Ziel dieses Verbundprojektes ist die Aufklärung der Signalkaskaden, die nach ionisierender Bestrahlung (IR) von S-Phase Zellen die DNA (Desoxyribonukleinsäure)-Replikation- und Reparaturvorgänge koordinieren und den Erhalt der genomischen Stabilität gewährleisten.

2. EINZELZIELSETZUNG

Das Vorhaben beinhaltet folgende Einzelzielsetzungen:

- Arbeitsgruppe Dornreiter, HPI Hamburg

Aufklärung der durch die Phosphoinositid-3-Kinase (PIKK) ATM (Ataxia telangiectasia mutated)/ATR (ATM und Rad3-related Protein)-induzierten Signalkaskaden, in deren Folge die DNA-Reparatur- und Replikationsereignisse bestrahlter früh sowie mittig und spät replizierender S-Phase Zellen koordiniert werden;

- Arbeitsgruppe Friedl, LMU München

Aufklärung der Funktion der Mediatorproteine Mdc1 und 53BP1 bei der Entscheidung zwischen den beiden Hauptwegen der DSB (double-strand breaks)-Reparatur homologe Rekombination (homologous recombination, HR) und nicht-homologe Enden-Verknüpfung (non-homologous end joining, NHEJ) bei direkten und indirekten DSBs in der S-Phase;

- Arbeitsgruppe Borgmann, Universitätsklinikum Hamburg-Eppendorf

Untersuchung von Auswirkungen einer Variation in der Expression der an der HR beteiligten Reparaturproteine RAD51 und PALB2 auf die Schadensantwort in der S-Phase;

- Arbeitsgruppe Große/Pospiech, FLI Jena

Aufklärung der direkten Bedeutung der durch ionisierende Bestrahlung induzierten Zellzykluskontrolle auf die Regulation der Initiations- und Elongationsphasen der Replikation;

- Arbeitsgruppe Dahm-Daphi, Universität Marburg

Aufklärung der nach ionisierender Bestrahlung sowie mittels Topotecan induzierten Topoisomerase I Inhibition aktivierten Signalkaskaden in S-Phase Zellen in Abhängigkeit von der Kinase ATM und der Nuklease Artemis.

3. METHODIK

Alle erforderlichen Techniken, die zur Durchführung des Verbundprojektes benötigt werden, sind weitgehend in den Laboren der Verbundpartner etabliert.

3.1 DNA-SCHADENSINDUKTION

- Ionisierende Bestrahlung: Ionenmikrobestrahlungseinrichtung SNAKE¹⁾, Cs-137 Quelle (BD (base

¹⁾ Supraleitendes Nanoskop für angewandte kernphysikalische Experimente

damage) + SSBs (single-strand breaks) + DSBs);

- Reagenzien: Wasserstoffperoxid (BD und SSBs), Topoisomerase I Inhibitor Topotecan (SSBs, Spaltungskomplexe) Enediyene-Antibiotikum Calicheamicin γ (DSBs, +Apurinic-site), Endonuklease I-SceI (DSBs).

3.2 ZELLBIOLOGISCHE/MOLEKULARBIOLOGISCHE/IMMUNOLOGISCHE ANALYSE

- Synchronisationsmethoden: Isoleucinenzug, Doppel-Thymidinblock;
- Knock down/out: siRNA (small interfering ribonucleic acid), Dox (Doxycyclin)-induzierbare shRNA (short hairpin ribonucleic acid), TALENs® (Transcription Activator-Like Effector Nucleases);
- Zellzyklusprogression: fluoreszenzaktivierte Zellanalyse (FACS), EdU (5-Ethynyl-2'-desoxyuridin)-Einbau, Western Blot, Kinase-Aktivitätsmessung;
- Identifizierung Zellzyklusposition: EdU-Einbau, CENP-F (centromer protein F) Färbung, für die Lebendzellbeobachtung FUCCI (Fluorescent ubiquitination-based cell cycle indicator)-System, PCNA-GFP (Proliferating-Cell-Nuclear-Antigen - green fluorescent protein);
- Expression und Modifikation: Western Blot, phosphorylierungsspezifische Antikörper, Massenspektrometrie;
- Protein-Protein Interaktion: Immunpräzipitation (IP)-Western Blot Analyse;
- Nachweis DNA-Schäden/Brüche: Detektion von γ H2AX mittels Immunfluoreszenzfärbung (IF) und Immunhistochemie, alkalischer Comet Assay;
- Evaluierung von Reparaturzentren als Funktion der Zeit: Fluoreszenzmikroskopie, Konfokale Laser Mikroskopie mit statistischer Auswertung mittels semi-automatischer sowie automatischer (High-Content-zelluläre Bildgebung) Auszählung von γ H2AX-, Rad51-, 53BP1-, P-RPA-S33-Foci;
- Rekrutierung von Reparaturfaktoren: Expression von Fluoreszenzprotein-gekoppeltem 53BP1, Mdc1, Rad52, Ku80;
- Rekrutierung von Replikationsfaktoren: Detektion von Polymerasen mittels IF;
- Replikationsprozesse: EdU- und/oder BrdU-Einbau, DNA Fiber Assay, Replikationssystem mit isolierten Zellkernen;
- Nachweis von HR (Homologe Rekombination)-spezifischen Reparaturzentren: Charakterisierung generierter BRCA2 (breast cancer associated) spezifischer Antikörper;
- Bestimmung der HR mittels Plasmid-Rekonstruktionsassay nach transienter und stabiler Transfektion des Reporterkonstruktes.

4. DURCHFÜHRUNG

4.1 ZELLSYSTEM UND INAKTIVIERUNG ENDOGENER KOMPONENTEN DER ATM/ATR-VERMITTELTEN SCHADENSIGNALKASKADEN

Für die Experimente wurde ein isogenes Zellsystem verwendet, bestehend aus der Wildtyp (wtp53) p53 CV-1 Zelllinie (diploide, nicht transformierte Epithelnierenzelle der afrikanischen grünen Meerkatze) sowie der Doxycyclin (Dox)-induzierbaren wtp53 TO-CV-1-Flag-ATR^{kd} Zelllinie (TO=„tet on“). Die Inhibition der Kinasen ATM und/oder Chk1 erfolgte durch Zugabe der entsprechenden Inhibitoren KU-55933 und/oder UCN-01. Die Zellen wurden mittels Isoleucinenzug in der frühen, mittleren und späten S-Phase synchronisiert. Auf Grund der suboptimalen Transfektionseffizienz der CV-1 Zelllinie wurden die Zelllinien U2OS, HeLa und HT1080 verwendet. Des Weiteren wurden htert (human telomerase reverse transcriptase)-immortalisierte humane Fibroblasten mit Gendefekten im ATM- oder Artemis-Gen verwendet [Wildtyp (1BR.3), ATM-defizient (AT1BR), Artemis-defizient (FO2-385, CJ179)].

4.2 UNTERSUCHUNG DER MITTELS DNA SCHÄDIGUNG AKTIVIERTEN SIGNALKASKADEN ALS FUNKTION DER ZEIT UND IN RELATION ZUM ZELLYKLUS

Die Aktivierung von ATM und/oder ATR-vermittelter Signalkaskaden und deren Einfluss auf die Zellzyklusprogression wurde zu verschiedenen Zeitpunkten nach DNA-Schädigung mittels FACS, Western und IP-Western Blot sowie IF untersucht.

4.3 UNTERSUCHUNG DER DNA-REPARATUR- UND REPLIKATIONSPROZESSE NACH DNA-SCHÄDIGUNG REPLIZIERENDER S-PHASE ZELLEN

DSBs (γ H2AX-Foci) und HR (Rad51-Foci) wurden mittels IF als Funktion der Position im Zellzyklus untersucht und Strangbrüche zusätzlich mit dem alkalischen Comet Assay erfasst. Die Replikationsaktivität wurde durch EdU-Einbau visualisiert und die replikativen Initiationsereignisse sowie Elongationsprozesse mit dem DNA-Fiber Assay analysiert. Zusätzlich wurde für die Analyse der Replikationsinitiationsaktivität die Chromatinbindung, der Phosphorylierungsstatus und das Interaktionsmuster von entsprechenden Replikationsfaktoren untersucht.

4.4 IDENTIFIZIERUNG DER ZELLZYKLUSPHASE BEI LEBENDZELLBEOBACHTUNG

Das FUCCI-System ermöglicht bei Lebendzellbeobachtung die Zuordnung der Zellen zu den Zyklusphasen G1 (Expression von Cdt1-mKO2, orange) und S/G2 (Expression von Geminin-mAG, grün); in der frühen S-Phase sind kurzzeitig beide Proteine exprimiert.

5. ERGEBNISSE

Das vierte Minisymposium fand am Heinrich-Pette-Institut in Hamburg und das fünfte an der LMU München sowie gemäß fachlicher Auflage im Bundesamt für Strahlenschutz (Dienststelle Neuherberg) unter Mitwirkung aller Beteiligten des Vorhabens statt. Im Mittelpunkt dieser Zusammenkünfte standen die Präsentation der erzielten Ergebnisse sowie deren Diskussion.

5.1 ATM/ATR-SIGNALKASKADEN IN DER S-PHASE (AG DORNREITER)

Die Aktivierung der ATM Signalkaskade erfolgt unabhängig von der S-Phasen Position zum Zeitpunkt der Bestrahlung (2 Gy), während die ATR/Chk1-vermittelte Schadensantwort nur in bestrahlten früh- und mitte-S Zellen zu beobachten ist. Zusätzlich zeigte sich, dass die Aktivierung der ATM und ATR Signalkaskaden sequenziell und unabhängig voneinander erfolgt, diese sich aber in Hinblick auf die Signalintensität und -dauer gegenseitig beeinflussen. Untersuchungen zur S-Phasen Funktion von ATM zeigten, dass ATM insbesondere für bestrahlte früh-S Zellen in Hinblick auf die Reparatur- und Replikationsvorgänge essenziell ist. Bezüglich der Reparaturvorgänge wurde beobachtet, dass die ATM-Inaktivierung in den früh-S bestrahlten Zellen zur Persistenz von Rad51-Foci und DNA-Strangbrüchen führt, während in mitte- oder spät-S bestrahlten Zellen die Rad51-Foci nicht persistieren bzw. erst gar nicht entstehen. Diese Befunde zeigen, dass in ATM inhibierten Zellen die Rad51 Problematik eng an die Aktivierung der ATR/Chk1 Signalkaskade und somit an die Position der Zelle in der S-Phase bzw. an den fortschreitenden Replikationsprozess gekoppelt ist. Ein Grund für die beobachtete Problematik der Rad51 involvierenden Reparatur von sekundären DSBs in G1/S bestrahlten Zellen könnte sich durch die fehlende Ausbildung von BRCA2-Foci erklären, deren Entstehung strikt ATM abhängig ist. Naheliegend ist, dass im ATR/Chk1-vermittelten intra-S Kontrollpunkt BRCA2 für das Be- und Entladen von Rad51 und somit für den HR-gesteuerten Reparaturprozess replizierender Zellen essenziell ist. Des Weiteren fällt auf, dass unter ATM-Inhibition nur bestrahlte früh-S Zellen ein langanhaltendes, starkes Chk1-Phosphorylierungssignal aufweisen, welches in mittig und spät replizierenden Zellen nicht beobachtet wurde. In ATM-inhibierten bestrahlten früh-S Zellen korrelierte die langanhaltende Chk1-Aktivierung mit einem stetigen Anstieg der „Origin“-abhängigen Initiationsfrequenz bei gleichzeitiger Erniedrigung der Elongations-/Replikationsrate. Anzunehmen ist, dass auf Grund der auftretenden Elongationsprobleme Chk1 zur Aktivierung von sogenannten „dormant origins“ führt, die einem Replikationsstopp in den bereits etablierten Replikationszentren entgegenwirken könnte. Unterstützt wird diese Annahme durch den „SNAKE“ Befund: In ATM-inhibierten Zellen wird „Origin“-kompetente Polymerase α in die mittels Microbeam generierten und mit γ H2AX-markierten „Tracks“ geladen. Darüber hinaus konnte gezeigt werden, dass in ATM-inhibierten Zellen die schadeninduzierte Rekrutierung dieser Polymerase α Subpopulation Chk1 abhängig ist.

5.2 EINFLUSS VON RAD51- UND PALB2-EXPRESSION AUF DIE REPLIKATION (AG BORG-MANN)

Die Expression von RAD51 zeigt eine breite Variation in Tumoren. Gezeigt werden konnte, dass die RAD51-Überexpression als ein unabhängiger, negativer prognostischer Marker im kolorektalen Adenokarzinom eingestuft werden kann. Die negative Prognose zeigte sich auch nach alleiniger Strahlentherapie, insbesondere aber in metastasierten Tumoren. Es wurde überprüft, ob die Ursache hierfür auf eine erhöhte genomische Instabilität mit einer daraus resultierenden höheren Malignität oder generell auf eine erhöhte Resistenz nach DNA-Schädigung in der S-Phase zurückzuführen ist. In einem Modellsystem zeigte sich, dass die

RAD51-Überexpression auf eine erhöhte genomische Instabilität zurückzuführen ist. Die RAD51-Überexpression führte zu einer Verlangsamung der Replikationsprozesse und zu einer vermehrten Aktivierung von Replikationsursprüngen. Diese vermehrte „Origin“-Aktivierung ist auf eine verminderte Auslösung des Intra-S-Arrests zurückzuführen, betont durch eine verminderte Chk1-Aktivierung, und wurde nach Bestrahlung und Induktion der singulären Schäden beobachtet. Darüber hinaus zeigten Zellen mit einer hohen RAD51-Expression, eine verringerte HR-Kapazität im Plasmid-Rekonstruktionsassay. Diese verminderte Rekombinationsfähigkeit äußerte sich auch in einer erhöhten Empfindlichkeit nach Behandlung mit in der S-Phase schädigenden Agenzien. Die Beobachtungen im Modellsystem konnten in Tumorzelllinien mit endogenem unterschiedlich exprimierten RAD51 verifiziert werden. Zelllinien mit einer mittleren RAD51-Expression erwiesen sich als effektiv in allen untersuchten Assays, während eine geringe oder hohe Expression sich deutlich auf die Replikationsprozesse, HR-Kapazität und zelluläre Empfindlichkeit auswirkten. Die Befunde zeigen, dass nur eine ausbalancierte Expression von Reparaturproteinen eine fehlerfreie Reparatur gewährleistet. Dieser Befund trifft auch für Trägerinnen einer heterozygoten PALB2-Mutation zu. Die auf Grund der Haplosuffizienz beobachtete Reduktion der PALB2-Expression äußerte sich in deutlichen Effekten auf die Replikationsprozesse und Intra-S-Signaltransduktion. Die Arbeit liegt zurzeit bei Nature Communications zur zweiten Begutachtung vor.

5.3 LEBENDZELLBEOBACHTUNG IN DER S-PHASE (AG FRIEDL)

Verschiedene Methoden zur Synchronisierung von gut transfizierbaren Zelllinien wie HeLa, U2OS und HT1080 wurden getestet und optimiert. Es zeigte sich, dass sich auch nach Optimierung höchstens 70% der Zellen in der gewünschten Phase befinden. Dies ist für die weiteren Analysen auf Einzelzellniveau nicht ausreichend. Daher wurde auf die Etablierung und Nutzung von zellzyklusspezifischen Lebendzellmarkern umgeschwenkt. Verschiedene Linien, die Marker für G1 (Cdt1), S/G2 (Geminin) oder G2 (Cyclin B) exprimieren, sind inzwischen vorhanden, z. T. auch in Kombination mit fluoreszenz-markierten DSB-Response-Faktoren (s. u.). Analysen des Wachstumsverhaltens und der Schadensantwort in diesen Linien werden gegenwärtig komplettiert. Als spezifischer S-Phase-Marker, der auch die Unterscheidung von früher und später S-Phase ermöglichen sollte, sollte PCNA-GFP genutzt werden. Es stellte sich jedoch heraus, dass sich durch die PCNA-Überexpression artifizielle Komplexe bilden können, die nicht von dem typischen Signal in der späten S-Phase unterscheidbar sind, so dass die Phasenzuordnung nicht eindeutig ist. Gegenwärtig wird getestet, ob sich durch PCNA-Chromobodies das Problem lösen lässt. Des Weiteren konnte eine LET-Abhängigkeit der Rekrutierung von Mdc1, aber nicht von 53BP1 gezeigt werden. Als fluoreszenz-markierter Schadensmarker liegt inzwischen neben 53BP1 und Mdc1 auch Rad52 (als Marker für homologe Rekombination) vor. Vorversuche zur Eignung von Ku80-GFP oder XRCC4 als focibildender Marker für NHEJ-Reparatur zeigten, dass diese Proteine unter den Bedingungen ionisierender Bestrahlung im Gegensatz zur Laserbestrahlung keine detektierbaren Foci bilden (Kooperation W. Dirks und C. Mielke). Gegenwärtig wird ein experimentelles System entwickelt, das nach gezielter Protonenbestrahlung in geometrischen Mustern eine Unterscheidung von a) direkt strahleninduzierten DSB, b) sekundären DSB, die sich während der S-Phase aus anderen strahleninduzierten DNA-Schäden entwickeln, und c) replikationsbedingten DSB, die unabhängig von der Strahlenwirkung auftreten, ermöglichen soll. Des Weiteren wird untersucht, ob in der sogenannten γ H2AX-Domäne aktive Replikation stattfindet. Erste Ergebnisse deuten auf eine Anti-Korrelation von γ H2AX und aktiver Replikation hin.

5.4 STRAHLENWIRKUNGEN BEI DER REPLIKATIONSINITIATION (AG GROBE/POSPIECH)

Es wurden Fragmente des menschlichen BRCA2 in Escherichia coli rekombinant exprimiert und für die Immunisierung von Kaninchen und Mäusen verwendet. Es konnten jeweils acht polyklonale und monoklonale Antikörper (Ak) gegen drei Regionen des menschlichen BRCA2-Proteins produziert werden. Zwei monoklonale Ak zeigen hohe Spezifität im Western Blot, ein polyklonaler Ak eignet sich für die IF. Die Antikörper erkennen neben humanen BRCA2 auch BRCA2 aus CV-1-Affenzellen. Die Antikörper stehen allen Teilprojekten zur Verfügung und wurden bereits erfolgreich eingesetzt. Die Analyse der direkten Auswirkungen einer ionisierenden Bestrahlung auf die Replikationsinitiationsaktivität in Hinsicht auf Chromatinbindung, Regulation durch Phosphorylierung und Interaktionsmuster ist in vollem Gange. Die Arbeiten konzentrierten sich vor allem auf Cdc45, da dieses Protein als limitierender Faktor der Replikationsinitiation auch als Ziel der Schadensantwort hohe regulatorische Bedeutung hat. Das Cdc45-Phosphorylierungsprofil vor und nach Bestrahlung wurde durch massenspektrometrische Analyse bestimmt. Die Relevanz einzelner, neu identifizierter Phosphorylierungsstellen wird gegenwärtig durch phospho-mimetische und phosphorylierungsresistente Aminosäureaustausche für die strahleninduzierte Schadensantwort untersucht. Cdc45 induzierbare CV-1- und HeLa-Zelllinien wurden charakterisiert. Die Überexpression von Cdc45 führt zum „Feuern“ vieler neuer „Origins“, zur verlangsamtten Elongation der neu gestarteten Replikationsgabeln, einer starken Zunahme vor-

zeitig angehaltener Replikationsgabeln und dem Kollaps solcher Gabeln. Dies hat einen starken Zuwachs von irreparablen DSBs, einen frühen S-Phase Arrest, und schlussendlich die Apoptose zur Folge. Die Tatsache, dass die Repression wie auch die Überexpression schädlich für die Zelle ist, unterstreicht die Bedeutung von Cdc45 als herausragenden Regulator der Replikationsinitiation. Für die Herabregulation des Initiationsproteins RecQL4 wurde ein Geninaktivierungsansatz mit Hilfe von sequenzspezifischen Meganukleasen, so genannten TALENs, gewählt. Ein geeignetes TALEN-Paar wurde zusammen mit der Firma Collectis entwickelt und dann von ihr gekauft. Transfektion der TALEN-haltigen Plasmide führt wie erwartet zum Zelltod, der durch Kotransfektion mit dem gewünschten RecQ4-haltigen Plasmid aufgehoben werden kann. Die entsprechenden RecQ4-Rekombinanten werden derzeit analysiert. Neben den oben genannten Aktivitäten gibt es auch schon erste Erkenntnisse über die Änderung der Chromatinbindung von Replikationsinitiations- und Elongationsfaktoren nach strahleninduzierten DNA-Schäden. Daneben wurden die Effekte von Bestrahlung auf ein für dieses Projekt etabliertes Replikationssystem in isolierten Zellkernen untersucht.

5.5 BEDEUTUNG VON ATM FÜR DIE DNA-REPARATUR IN DER S-PHASE (AG DAHM-DAPHI)

Gezeigt wurde, dass ATM eine wichtige Funktion bei der Rad51-vermittelten Reparatur von strahleninduzierten DSBs in der S-Phase ausübt. In ATM-defizienten humanen Fibroblasten wurden nach ionisierender Bestrahlung persistierende Rad51-Foci beobachtet, die ihren Ursprung in der S-Phase haben. Diese mit γ H2AX kolokalisierenden Rad51-Foci bleiben bei fehlender ATM-Aktivität auch nach längerer Zeit erhalten. Es liegt nahe, dass es sich bei diesen Schäden um sekundäre DSBs handelt, die nur während der Replikation entstehen können. Die Induktion von SSBs mittels des Topoisomerase I Inhibitors Topotecan zeigte, dass diese während der Replikation in sekundäre DSBs umgewandelt werden. Auch bei der Reparatur dieser DNA-Schäden erwies sich ATM als essenziell.

6. GEPLANTE WEITERARBEIT

Folgende Weiterarbeiten sind für das Jahr 2013 geplant:

Arbeitsgruppe Dornreiter: Analyse von ATM- und Chk1-vermittelter Signaltransduktionskaskaden in Hinblick auf Reparatur- und Replikationsvorgänge in synchronisierten S-Phase Zellen +/- ATM sowie +/- Chk1 Kinase Inhibitoren. Durch das Ausscheiden von Prof. Dr. Dahm-Daphi erfolgt der Transfer der Aufgaben auf die AG Dornreiter: Überprüfung der Hypothese, inwieweit replikationsassoziierte sekundäre DSBs in Abhängigkeit von ATM und unter Mitwirkung von Rad51 repariert werden.

Arbeitsgruppe Borgmann: Analyse der Auswirkung einer stufenweisen Reduktion von RAD51 in RAD51-überexprimierenden Zellen mittels aufsteigender siRNA-RAD51 Konzentration zur Identifizierung der optimalen Expression, die eine Wiederherstellung der HR-Kapazität, Intra-S-Signaltransduktion und Replikationsprozesse erlaubt.

Arbeitsgruppe Friedl: Herstellung eines experimentellen Systems zur Unterscheidung von direkt strahleninduzierten, sekundären und replikationsbedingten strahlenunabhängigen DSBs. Einfluss des knock-downs von 53BP1 und Mdc1 auf die Rekrutierung von anderen Faktoren an Schadensorten während der S-Phase.

Arbeitsgruppe Grosse/Pospiech: Strahleninduzierte Kontrolle der DNA-Replikationsinitiation mit Schwerpunkt auf den Faktoren RecQ4 und (auslaufend) Cdc45.

Thema

Bestimmung und Validierung strahleninduzierter Genveränderungen in Brusttumoren zur verbesserten Brustkrebsrisikoabschätzung nach Exposition mit ionisierender Strahlung

Subject

Detection and validation of radiation-induced gene alterations in breast cancer for an improved assessment of radiation-related risks

Kennzeichen
3611S30019

Beginn
01.10.2011

Ende
30.09.2014

Fördermittel
EUR 248.243,-

Forschungs- / Auftragnehmer
Helmholtz Zentrum, München

Projektleitung
Prof. Dr. H. Zitzelsberger

Fachbetreuung BfS
U. Oestreicher / AG SG 1.1

verantwortlich für den Text
Prof. Dr. H. Zitzelsberger

1. ZIELSETZUNG

Ziel des Vorhabens ist der Nachweis von strahleninduzierten Genveränderungen in Mammakarzinomen. Hierzu sollen 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 des Berichtszeitraums 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 sollen.

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 asserviert und entsprechend den Vorgaben aus der Pilotstudie für weiterführende molekulargenetische Analysen vorbereitet werden.

2.5 UNTERSUCHUNG DER GLOBALEN miRNA EXPRESSION AN FÄLLEN DER PILOTSTUDIE UND KORRELATION DER ERGEBNISSE MIT VORLIEGENDEN DATEN ZU GENOMISCHEN KOPIENZAHLEVERÄNDERUNGEN

Es sollten die Fälle der Pilotstudie hinsichtlich der globalen miRNA(micro Ribonukleinsäure) Expression charakterisiert werden.

2.6 UNTERSUCHUNG DER RET-EXPRESSION AN FÄLLEN DER PILOTSTUDIE MIT VORLIEGENDEN ERGEBNISSEN ZU RET-REARRANGIERUNGEN

Für die Fälle der Pilotstudie sollte die mRNA (messenger RNA)-Expression des RET (eine Rezeptor-Tyrosinkinase)-Gens bestimmt werden, um sie in weiterführenden Analysen mit den vorliegenden Ergebnissen zu genomischen RET-Rearrangierungen 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

Es wurde damit begonnen, die individuellen Dosen für die Liquidatorinnen unter Verwendung der RADRUE (Radiation Dose Reconstruction with Uncertainty Estimates)-Methode zu rekonstruieren. 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 Konsistenz hin überprüft und mit unabhängigen Dosisinformationen für die untersuchte Person verglichen.

3.3 PROBENVORBEREITUNG

Von allen Paraffinblöcken wurden in Kiew Serienschnitte angefertigt, die für die einzelnen Untersuchungen (array-CGH (comparativ genomic hybridisation), FISH (Fluoreszenz-In-situ-Hybridisierung), Immunhistochemie, miRNA-Analyse) verwendet werden sollen. Dadurch werden alle Untersuchungen an demselben Tumorbereich durchgeführt. Für weiterführende Untersuchungen wurden die Paraffinschnitte zudem mikrodisssektiert, um die Tumorzellen anzureichern und unerwünschte Kontaminationen mit Stromagewebe auszuschließen.

3.4 ARRAY-BASIERTE miRNA-ANALYSE

Die miRNA-Expression der Tumorfälle wurde unter Verwendung von Agilent miRNA Microarrays (1 205 miRNA Sonden) untersucht. Mittels statistischer Analyse wurden die Expressionswerte der miRNAs auf Korrelation mit Strahlenexposition und weiteren klinischen Daten/Tumorphänotypen getestet.

3.5 EXPRESSIONSANALYSE VON RET

Die mRNA-Expression des RET-Gens wurde mittels qRT-PCR (quantitative Reverse Transkriptase Polymerase Kettenreaktion) untersucht. Die Auswertung der qRT-PCR-Daten erfolgte mit der delta-delta-CT-Methode; die relative Genexpression wurde auf differentielle Expression zwischen zwei Gruppen getestet.

4. DURCHFÜHRUNG

4.1 ETABLIERUNG EINES MAMMAKARZINOM-KOLLEKTIVS UND ERHEBUNG KLINISCHER VERLAUFSDATEN

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

4.2 DOSISREKONSTRUKTION

Es wurden 45 exponierte Patienten mit vorliegenden Gewebeproben identifiziert, die für Interviews und die anschließende Dosisrekonstruktion mittels RADRUE ausgewählt wurden.

4.3 miRNA-ANALYSE

Es wurden 94 Tumore der Pilotstudie (46 exponierte, 48 Kontrollfälle) hinsichtlich ihrer globalen miRNA-Expressionsprofile charakterisiert.

4.4 EXPRESSIONSANALYSE DES RET-GENS

Die mRNA-Expression des RET (rearranged during transfection)-Gens wurde an 94 Tumoren der Pilotstudie (46 exponierte, 48 Kontrollfälle) unter Verwendung von qRT-PCR analysiert.

5. ERGEBNISSE

Im Berichtszeitraum wurden folgende Ergebnisse erzielt:

5.1 ETABLIERUNG EINES MAMMAKARZINOM-VALIDIERUNGSKOLLEKTIVS

Es wurden 45 exponierte Fälle identifiziert, von denen Paraffingewebe verfügbar ist. Es wurden Serienschnitte angefertigt und mikrodisektiert. Die Fälle wurden zur Nachverfolgung und Dosisabschätzung an die Dosimetrie-Gruppe weitergegeben und angegliche Kontrollfälle ausgewählt.

5.2 NACHWEIS VON miRNA-VERÄNDERUNGEN

Es wurden mit Hilfe von Permutationstests 11 miRNAs identifiziert, die zwischen exponierten und nicht-exponierten Patienten der Pilotstudie signifikant unterschiedlich exprimiert sind. Ebenso konnten Korrelationen von miRNA-Expressionen mit drei gebildeten Dosisgruppen festgestellt werden.

5.3 NACHWEIS DER RET mRNA-EXPRESSION

Die mRNA-Expression von RET wies keine Assoziation mit der Strahlenexposition auf. Eine Assoziation der RET-Expression mit dem Hormonrezeptorstatus besteht ($p < 0,05$).

6. GEPLANTE WEITERARBEIT

Im zweiten Projektabschnitt werden Validierungsexperimente für die Marker aus der Pilotstudie durchgeführt. Die miRNA-Veränderungen werden technisch validiert und die RET-Expressionsdaten mit den Daten zur RET-Rearrangierung korreliert. Die Dosisrekonstruktionen werden fortgeführt und die Validierungskohorte wird nach Möglichkeit erweitert.

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 3611S30021	Beginn 01.09.2012	Ende 31.10.2013	Fördermittel EUR 349.900,-
Forschungs- / Auftragnehmer			
Universitätsmedizin der Johannes Gutenberg-Universität Mainz, Institut für Medizinische Biometrie, Epidemiologie und Informatik, Mainz			
Projektleitung Prof. Dr. S. Singer		Fachbetreuung BfS Dr. M. Schnelzer / AG-SG1.3	verantwortlich für den Text Prof. Dr. S. Singer

1. ZIELSETZUNG

Ziel dieser Pilotstudie ist Vorbereitung einer späteren Hauptstudie zur Untersuchung des Zusammenhangs zwischen ionisierender Strahlung im niedrigen Dosisbereich und einer Katarakterkrankung. Hierzu werden alle notwendigen Dokumente und Erhebungsinstrumente entwickelt und validiert sowie alle praktischen Aspekte erprobt. Im Speziellen werden Erfahrungen mit der Rekrutierung und Teilnahmebereitschaft des Studienkollektivs von interventionell tätigen Kardiologen, Radiologen und Neuroradiologen und nicht strahlenexponierten Ärztinnen und Ärzten gesammelt. Des Weiteren erfolgt eine Evaluation der Fragebögen und die Überprüfung der Möglichkeit der Rekonstruktion bzw. Modellierung der Linsendosis auf Grund von Selbstangaben der Teilnehmer und der objektiven Klassifizierung von Linsentrübungen sowie der Terminierung und Durchführung der Augenuntersuchungen in den beiden Studienregionen Rhein-Main-Gebiet und Großraum Köln-Bonn. Das Studiendesign und die verwendeten Instrumente sollen mit bisherigen und geplanten internationalen Studien weitgehend kompatibel sein, um eine gepoolte Auswertung zu ermöglichen.

2. EINZELZIELSETZUNG

Die Pilotstudie gliedert sich in drei Arbeitspakete.

2.1 VORBEREITENDE ARBEITEN (AP 1)

Ziel des ersten Arbeitspaketes ist die vollständige Vorbereitung der zur Durchführung der Studie erforderlichen Unterlagen und Abläufe. Hierzu gehören das Studienprotokoll und Standardized Operating Procedures (SOPs), Fragebögen, Rekrutierungsunterlagen, Datenbanken, Absprache mit ophthalmologischen Untersuchungsstellen in den Studienregionen. Das zustimmende Votum der Landesärztekammern der gewählten Studienregionen ist einzuholen. Die Fachkreise sollen über die geplante Studie informiert werden. Die Möglichkeit zur Rekonstruktion der Strahlenexposition der Augenlinse wird weiter abgeklärt.

2.2 REKRUTIERUNG UND BEFRAGUNG DER TEILNEHMER (AP 2)

In den Studienregionen sollen insgesamt 50 strahlenexponierte, interventionell tätige Ärztinnen und Ärzte im Alter von mindestens 40 Jahren und mit wenigstens 5 Jahren interventionell radiologischer Berufserfahrung rekrutiert werden. Zu diesen sind nach Alter und Geschlecht gematchte, nicht strahlenexponierte, ärztliche Kontrollen zu rekrutieren. Die Teilnehmer sollen schriftlich über ihre Risikofaktoren für eine Katarakterkrankung befragt und die Ergebnisse in der Datenbank dokumentiert werden. Für das Kollektiv der strahlenexponierten, potenziellen Teilnehmer ist die Teilnahmequote zu berechnen.

2.3 AUGENDIAGNOSTIK UND REKONSTRUKTION DER AUGENLINSENDOSIS (AP 3)

Es erfolgt eine umfassende Augenuntersuchung mit Erhebung der Anamnese, Untersuchungen mit der Spaltlampe, der Funduskamera und dem Scheimpflugkamera-System, inklusive der Dokumentation der Untersuchungen in Form digitaler Aufnahmen. Die Augenuntersuchung umfasst darüber hinaus eine klassische Visusbestimmung und die Prüfung des Augeninnendrucks, letzteres nur auf Wunsch der Probanden. Eine Klas-

sifizierung der Augenlinsentrübungen wird anhand der (digitalen) Spaltlampen- und Scheimpflugkameraaufnahmen vorgenommen. Aus den Angaben der exponierten Teilnehmer zu ihrer radiologischen Tätigkeit wird die Augenlinsendosis durch ionisierende Strahlung rekonstruiert. Dabei werden Art, Anzahl und Zeitperiode der durchgeführten Eingriffe sowie Strahlenschutzvorrichtungen (z. B. Bleiglasscheiben) und persönliche Schutzmaßnahmen (z. B. Bleiglasbrillen) berücksichtigt und Referenzwerte für die Dosis oder Dosisrate aus der Literatur und dem ORAMED-Projekt zu Hilfe genommen.

3. METHODIK

Studienprotokoll und Ethikanträge werden in Einklang mit den Leitlinien Guter Epidemiologischer Praxis (GEP) vorbereitet. Bei der Erhebung, Speicherung und Auswertung der Daten werden die Datenschutzbestimmungen eingehalten. Die Fragebögen werden in Absprache mit europäischen und nationalen Partnern erarbeitet und am vorgesehenen Kollektiv getestet. Die Berechnung der Teilnehmerquote kann bei den strahlenexponierten Personen durch die Kenntnis der potenziellen Probanden in den interventionellen Bereichen und den tatsächlich Teilnehmenden erfolgen.

Die Befragung der Teilnehmer erfolgt schriftlich, indem alle Teilnehmer Fragen zu den bekannten Risikofaktoren für Katarakt beantworten und die strahlenexponierten Teilnehmer zusätzliche Informationen zu ihrer beruflichen Exposition, d. h. den radiologisch-interventionellen Maßnahmen und den Strahlenschutzmaßnahmen geben. Die Erarbeitung der Modellierung der Augenlinsendosis erfolgt gemeinsam mit europäischen Partnern. Die Klassifizierung der Augenlinsentrübung erfolgt bei den Spaltlampenaufnahmen mittels des Lens Opacities Classification System (LOCS) und bei den Scheimpflugaufnahmen mittels 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 wird für verschiedene Grade der Linsentrübung und Stufen der Exposition ermittelt und das Risiko der Exponierten vs. Kontrollen mittels Prävalenz Odds Ratio geschätzt.

4. DURCHFÜHRUNG

Im Berichtszeitraum wurden im Rahmen des 1. Arbeitspaketes (AP1), das bis Ende März 2013 andauert, weitreichende Vorbereitungsarbeiten durchgeführt.

4.1 VORBEREITENDES TREFFEN ALLER BETEILIGTEN

Studienleitung, Ophthalmologen, Epidemiologen, Dokumentare sowie Scheimpflugkamera-Spezialisten trafen sich zu einem Arbeitsmeeting im November 2012. Dabei wurden die Rahmenbedingungen der Studierendurchführung diskutiert und das weitere Vorgehen geklärt.

4.2 ZUSAMMENSTELLUNG DER STUDIENUNTERLAGEN

Studienprotokoll, Rekrutierungsunterlagen und Fragebögen wurden weitgehend finalisiert und mit dem Ethikantrag und Datenschutzvotum bei der Ethik-Kommission der Landesärztekammer Rheinland-Pfalz eingereicht.

4.3 VORBEREITUNG DER REKRUTIERUNG

Es wurden umfassende Recherchen bezüglich der radiologischen und kardiologischen Kliniken der Studienregion durchgeführt, um die Ansprechpartner für die Rekrutierung festzustellen. Erste Kontaktaufnahmen erfolgten, um die Studie bei den Abteilungsleitern vorzustellen und sie für eine Beteiligung zu gewinnen.

5. ERGEBNISSE

Das zustimmende Votum der Ethikkommission Rheinland-Pfalz für die vorliegende Studie wurde erteilt. Teile des Ethikantrages waren das Studienprotokoll, das Datenschutzvotum der Datenschutzbeauftragten der Universitätsmedizin der Johannes-Gutenberg-Universität Mainz, die Rekrutierungsunterlagen und die Fragebögen. Mit der Ethikkommission wurden die Rekrutierungsunterlagen für Teilnehmer des Bundeslandes Rheinland-Pfalz im Detail abgestimmt.

Ethikanträge an die Ethik-Kommissionen der Ärztekammern der weiteren Studienregionen Nordrhein und Hessen werden Anfang 2013 eingereicht.

Für die Information der Fachkreise wurde eine Kurzinformation erstellt und eine Studienwebseite eingerichtet, die fortlaufend über die Studie informieren wird (Link via www.unimedizin-mainz.de/imbei/epidemiologie/projekte/aktuelle-projekte/katarakt.html).

Die Recherchen nach Abteilungen für interventionelle Radiologie, Kardiologie und Neuroradiologie in den Kliniken der Studienregion für die Rekrutierung wurde abgeschlossen, so dass nun die Ansprechpersonen kontaktiert werden können.

6. GEPLANTE WEITERARBEIT

Im Anschluss an die vorbereitenden Arbeiten (AP 1) beginnt umgehend die Rekrutierung und Befragung (AP 2). Am Ende des AP 2 ist ein Haltepunkt zur Beurteilung der Vollständigkeit der Rekrutierung und der Teilnahmequote vorgesehen. Bei positiver Durchführung des Projektes beginnen die vorgesehenen Augenuntersuchungen.

Thema Entwicklung kardiovaskulärer Erkrankungen nach Strahlenexposition mit niedrigen Dosen			
Subject <i>Development of cardiovascular diseases after low dose radiation exposure</i>			
Kennzeichen 3611S30022	Beginn 01.12.2011	Ende 31.10.2014	Fördermittel EUR 469.002,-
Forschungs- / Auftragnehmer Helmholtz Zentrum, München			
Projektleitung PD Dr. H. Schöllnberger	Fachbetreuung BfS Dr. A. Dehos / AG-SG 1.4	verantwortlich für den Text PD Dr. H. Schöllnberger	

1. ZIELSETZUNG

Am Institut für Strahlenschutz (ISS) des Helmholtz Zentrums München (HMGU) werden mehrere neue Datensätze zu Erkrankungen bei den Majakarbeiter 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

- Einlesen der Daten und Anpassung des C++ Codes;
- Plausibilitätscheck der Daten;
- Wiederholung der Analyse von Dr. Azizova (SUBI, s. 2.3) und Ergebnisvergleich;
- Bestimmung passender parametrischer Baseline-Funktionen;
- Erste empirische Analysen;
- Implementierung des mechanistischen Atherosklerose-Modells im C++ Code.

2.2 PROBENANALYSE AM ISB

In Kooperation mit dem ISB sollen Gewebeproben aus den Herzen von Majakarbeitern, deren Todesursache eine ischämische Herzerkrankung (IHD) war, bei der Autopsie gesammelt und am ISB analysiert werden. Diese Arbeiter waren kumulativen Dosen von <50 mGy, zwischen 50-500 mGy, und >500 mGy ausgesetzt. Die Proben werden Teile des linken Ventrikels und der Koronararterie beinhalten. Die Untersuchung wird als Fall-Fall-Studie ausgeführt, bei der alters-gematchte Repräsentanten der drei Expositionsgruppen verglichen werden.

2.3 SOUTHERN URALS BIOPHYSICS INSTITUTE (SUBI)

Am SUBI werden die neuen epidemiologischen Datensätzen (auf der Grundlage des Dosimetriesystems MWDS-2008) bearbeitet, einschließlich der Daten jener Arbeiter, die von 1948-1982 angestellt waren und deren Follow-up bis 2008 geht. Außerdem werden die Gewebeproben aus humanen Herzen entnommen.

3. METHODIK

3.1 DATENANALYSE UND MODELLIERUNGEN AM ISS

Mit Hilfe eines am ISS entworfenen C++ Codes wird für verschiedene ERR (Excess Relative Risk)- und EAR (Excess Absolute Risk)-Modelle die Likelihood der Daten berechnet. Die Maximierung der Likelihood erfolgt

mit Hilfe des externen Programmpakets MINUIT. Im Gegensatz zur Analyse von z. B. den Atombombenüberlebenden, über die nur gruppierte Informationen öffentlich verfügbar sind, liegen bei den Majakarbeitern individuelle Informationen vor. Das Ausnutzen der vollen Information erfordert die Durchführung einer individual likelihood Analyse, was allerdings auch mit größeren Anforderungen an die Computerzeit einhergeht. Ziel der Untersuchungen ist u. a. ein statistischer Vergleich von verschiedenen empirischen Modellen, um dann mit Hilfe der multi-model inference (MMI) eine möglichst gute Funktion für das Strahlenrisiko angeben zu können. Für einen möglichst guten Vergleich sollte auch die Baseline-Funktion die Daten möglichst gut beschreiben, darf aber auch nicht überparametrisiert sein. Dies lässt sich im Allgemeinen besser mit parametrischen Funktionen realisieren als mit einer Stratifizierung der Daten. Eine Analyse mit parametrischen Funktionen ist auch nötig, um die Anzahl der nötigen Parameter zwischen mechanistischen und empirischen Modellen vergleichen zu können.

3.2 PROTEINANALYSE

Die Labeling-Methode für die Proteinanalyse der Gewebeproben wurde anhand der drei Dosisgruppen gewählt. Es wurde die Triplex-Isotope-Coded-Protein-Labeling-(ICPL)-Methode gewählt, um alle drei Proben im gleichen Durchlauf vergleichen zu können. Im ISB-Labor wurde diese Methode erfolgreich optimiert. Dabei kam zwar anderes, aber durchaus vergleichbares biologisches Material zum Einsatz (humane umbilikale venöse Endothelzellen (HUVEC)). Zusammen mit der Helmholtz Core Facility Proteomics wurde die Software so angepasst, dass mit ihr die Analysen erstellt werden konnten.

3.3 SUBI

Die Entnahme der Gewebeproben aus den Herzen erfolgt nach den Standard Operating Procedures aus dem Jahr 2011.

4. DURCHFÜHRUNG

4.1 MODELLIERUNGEN AM ISS

Das Einlesen der Daten und die Anpassung des C++ Codes ist erfolgt. Ein Plausibilitäts-check der Daten wurde vorgenommen. Unklarheiten wurden mit SUBI besprochen. Ein Ergebnis ist der zusätzliche Ausschluss von einigen Personen aus der Analyse des Risikos nach Exposition mit Alpha-Strahlern, bei denen die Menge des aufgenommenen Plutoniums nicht exakt genug bestimmt werden konnte (Aufnahme nicht über Standardwege wie Inhalation oder Ingestion, z. B. nach Unfällen). Die Analyse vom SUBI wurde wiederholt und die Ergebnisse verglichen. Da der Datensatz innerhalb der Zeit zwischen den Analysen am SUBI und der Übergabe ans ISS modifiziert wurde und auch ein neues Dosimetriesystem zugrunde liegt, konnte keine exakte Übereinstimmung erwartet werden. Die gefundenen Abweichungen sind plausibel. Die Bestimmung passender parametrischer Baseline-Funktionen ist weitgehend erfolgt. Es zeigen sich Schwierigkeiten in der Parametrisierung der sehr heterogenen Daten (z. B. deutet eine starke Datumsabhängigkeit des Inzidenzrisikos auf eine sich verändernde medizinische Überwachung hin.) Daraufhin wurden jene Daten ausgeschlossen, die sich auf Jahre mit zu starker Schwankung des Inzidenzrisikos beziehen. Die empirischen Analysen werden derzeit durchgeführt. Das mechanistische Atherosklerose-Modell wurde im C++ Code implementiert.

4.2 ENTGEGENNAHME DER ERSTEN PROBEN VOM SUBI

Die ersten Gewebeproben vom SUBI trafen im November 2012 in gutem Zustand am ISB ein. Insgesamt wurden 12 Proben von drei Personen erhalten, die jede der drei Dosisgruppen repräsentieren (<50 mGy, 50 mGy - 500 mGy, >500 mGy); pro Person wurden vier Ampullen versendet: zwei mit Proben des linken Ventrikels und zwei mit Proben der Koronararterie.

4.2.1 Messung der Proteinkonzentration

Auf der Grundlage einer bovinen Serumalbumin-(BSA)-Standardkurve wurde die Proteinkonzentration jeder Probe mittels der Bradford-Methode bestimmt.

4.2.2 Proteinmarkierung

50 µg der Proteine aus jeder Probe wurden wie folgt isotopisch markiert: Die Probe der Dosisgruppe <50 mGy wurde mit dem ICPL-0-Reagenz markiert, die Probe der Dosisgruppe 50 mGy bis 500 mGy wurde mit dem ICPL-4-Reagenz markiert und die Probe der Dosisgruppe >500 mGy wurde mit dem ICPL-6-Reagenz markiert. Vor der Trypsinierung und der Tandemmassenspektrometrie wurden die Proben vermischt und auf ein 12% SDS-PAGE-Gel¹⁾ aufgetragen.

4.3 ARBEITEN AM SUBI

Es wurden Arbeiten an den neuen epidemiologischen Datensätzen und bei der Datenerhebung durchgeführt, basierend auf den primären medizinischen Quellen der Studienkohorte. Bis Ende 2012 wurden Herzproben von 22 Personen (Majakarbeiter und Einwohner von Osjorsk) genommen - diese Arbeiten schließen die Identifizierung der Personen und Probengewinnung nach den 2011 vereinbarten Kriterien ein. Proben von drei Majakarbeitern, die externer Gammabestrahlung bei verschiedenen Dosen ausgesetzt waren, wurden ans HMGU versendet.

5. ERGEBNISSE

5.1 ANALYSEN AM ISS

Bisher wurde mit den IHD-Inzidenzdaten und IHD-Mortalitätsdaten für Männer und Frauen gearbeitet. Diese wurden mit verschiedenen empirischen ERR-Modellen unter Berücksichtigung der äußeren Gammabestrahlung analysiert. Für die Analysen der IHD-Daten wurde eine solide parametrische Baseline-Funktion gefunden. Es hat sich gezeigt, dass - zumindest für die Inzidenzdaten - die Baseline-Funktionen von Männern und Frauen derart verschieden sind, dass eine gemeinsame Analyse nicht sinnvoll ist. Außerdem ist es für die Inzidenzdaten zweckmäßig, die Personenjahre bis 1960 auszuschließen, da die starke Datumsabhängigkeit der Baseline-Funktion in diesem Bereich auf deutliche Änderungen in den medizinischen Methoden schließen lässt. Es wurde weiterhin nachgewiesen, dass es für die Bestimmung der Dosiswirkungsbeziehung der α -Bestrahlung notwendig ist, die Personenjahre auf die Zeit nach der ersten biophysikalischen Untersuchung (das heißt, der ersten Bestimmung der aufgenommenen Radioaktivität) der jeweiligen Person einzuschränken. Mit dieser Einschränkung ist die Analyse der Dosiswirkungsbeziehung der α -Bestrahlung geplant.

5.2 ARBEITEN AM ISB

Die Analyse der differenziell regulierten Proteine aus den höheren Dosisgruppe (50 - 500 mGy; >500 mGy) und der Vergleich zu den Kontrollgruppen (<50 mGy) wird derzeit durchgeführt.

6. GEPLANTE WEITERARBEIT

Die Datenanalyse für IHD-Inzidenz und IHD-Mortalität bei Männern und Frauen wird mit empirischen ERR- und EAR-Modellen unter Berücksichtigung der äußeren Gammabestrahlung und der internen Alphastrahlung fertiggestellt. Nach der durchgeführten Proteomanalyse der ersten drei Gewebeproben erwarten die Kollegen am ISB den Erhalt weiterer Proben vom SUBI. Die Kollegen am SUBI arbeiten an der Fertigstellung der Datenerfassung einschließlich Qualitätssicherung und führen die Arbeiten an den Gewebeproben fort.

¹⁾ Sodium dodecyl sulfate polyacrylamide gel electrophoresis

Thema Pilotstudie: Sequenzierung und bioinformatische Auswertung von kindlichen Leukämie-Fällen (akute lymphoblastische Leukämie, ALL)			
Subject <i>Pilot study: Sequencing and bioinformatical analysis of childhood leukemia cases (acute lymphoblastic leukemia, ALL)</i>			
Kennzeichen 3611S70014	Beginn 01.05.2012	Ende 31.07.2013	Fördermittel EUR 740.611,-
Forschungs- / Auftragnehmer Klinik für Allgemeine Pädiatrie und Institut für Klinische Molekularbiologie, Universitätsklinikum Schleswig-Holstein, Kiel			
Projektleitung Prof. Dr. M. Stanulla, Prof. Dr. A. Franke	Fachbetreuung BfS Dr. S. Hornhardt / AG-SG 1.1	verantwortlich für den Text Prof. Dr. M. Stanulla	

1. ZIELSETZUNG

Die akute lymphoblastische Leukämie (ALL) ist eine bösartige Erkrankung des Knochenmarks, bei der lymphoide Vorläuferzellen in einem frühen Differenzierungsstadium in ihrer Ausreifung blockiert sind. Mehr als 60% der Patienten mit ALL werden im Kindesalter diagnostiziert. Die Ursachen, die der ALL zugrunde liegen, sind zum überwiegenden Teil nicht bekannt. Nur ein kleiner Prozentsatz der Fälle ist durch vererbte genetische Prädisposition erklärbar, wie sie sich etwa für das Down-Syndrom und weitere Erkrankungen - z. B. die Ataxia teleangiectasia, das Bloom-Syndrom oder das Nijmegen-Breakage-Syndrom - beschrieben findet. Diesen genetischen Konstellationen höherer Penetranz stehen seit 2009 auch erste Informationen aus genomweiten Assoziationsstudien gegenüber, in denen gewöhnliche Varianten z. B. in den Genen IKZF1, ARIDB5, CEBPE und TP63 mit dem Risiko einer ALL assoziiert werden konnten. Weiterhin sind zahlreiche somatische genetische Aberrationen der ALL charakterisiert worden und es kommen ständig neue hinzu. Auch zur Sequenz des Erwerbs solcher genetischer Veränderungen ist dazugelernt worden. Aus molekularen Untersuchungen an zum Neugeborenen-Screening archivierten Guthrie-Karten von eineiigen, später an ALL erkrankten Zwillingen konnte durch das Auffinden identischer Genfusionssequenzen leukämiespezifischer chromosomaler Translokationen (z. B. ETV6-RUNX1) rückgeschlossen werden, dass die ersten leukämieassoziierten genetischen Veränderungen sehr früh - nämlich bereits in utero - erworben werden können. Das Muster der letztlich in der klinisch apparenten Leukämie angesammelten genetischen Veränderungen lässt sich dabei nicht immer logisch ableiten. Seit kurzer Zeit ist es durch den enormen technischen Fortschritt im Bereich neuer Sequenzieretechnologien möglich, das gesamte Erbgut auf seinen verschiedenen Ebenen zu analysieren. Ziel des Vorhabens ist es, zehn ausgewählte ALL systematisch auf Veränderungen des Genoms, des Exoms, des Transkriptoms, des Methyloms und des miRNoms (micro-Ribonukleinsäure Expressionsprofil) zu analysieren, um einen umfassenden, genomweiten Einblick in die Veränderungen des Erbguts dieser Leukämien zu erhalten.

2. EINZELZIELSETZUNG

Folgende Ziele werden in dem Projekt verfolgt:

2.1 AUFARBEITUNG DES RELEVANTEN STANDES VON WISSENSCHAFT UND TECHNIK

Nach Literaturrecherche wird der aktuelle Kenntnisstand zur ALL im Kindesalter in einem Bericht dargestellt.

2.2 AUSWAHL UND SEQUENZIERUNG DER PROBEN

Nach Auswahl von zehn geeigneten B-Vorläufer-Zell ALL-Proben anhand definierter Kriterien wird eine umfassende, genomweite Analyse durchgeführt. An weiteren unabhängigen ALL-Proben bei Diagnosestellung von Ersterkrankung und Rezidiv wird eine Validierungsanalyse vorgenommen.

2.3 BIOINFORMATISCHE AUSWERTUNG

Nach Qualitätskontrollen wird die bioinformatische Analyse durchgeführt und abschließend erfolgt die Integration der Ergebnisse unterschiedlicher Ebenen. Die Ergebnisse werden im Abschlussbericht im Kontext zum aktuellen Wissen zur Leukämogenese dargestellt.

3. METHODIK

3.1 SEQUENZIERUNG DER PROBEN

Die Sequenzierung beinhaltet folgende Schritte:

- Aufarbeitung der Spezimen zur Gewinnung der Nukleinsäuren inklusive Qualitätskontrollen.
- Durchführung von Genomsequenzierung, Exomsequenzierung, Methylosequenzierung, Transkriptomsequenzierung, miRNom-Sequenzierung und
- Validierung in unabhängigen Kohorten mittels Low-density-Assays (z. B. Sanger-Sequenzierung, RQ-PCR (real time quantitative polymerase chain reaction), Bisulfit-Sequenzierung).

3.2 BIOINFORMATISCHE AUSWERTUNG

Die Auswertung umfasst:

- Separates Read Alignment und Mutations-Detektion bei Exom- und Genomdaten, CNV (Copy Number Variation)-Detektion in Genomdaten, Analyse von RRBS-Methylomdaten und spezifische Transkriptomanalyse;
- Finale Integration der unterschiedlichen Datenqualitätsebenen.

4. DURCHFÜHRUNG

4.1 SEQUENZIERUNG DER PROBEN

Eine umfassende Genomanalyse wird an fünf B-Vorläufer-Zell ALL mit einer chromosomalen Translokation t(17;19), die zu einer Genfusion des Hepatic leukemia factor-Gens mit dem E2A-Gen führt, sowie an fünf B-Vorläufer-Zell ALL mit einer chromosomalen Translokation t(1;19), die zu einer Genfusion des Pre-B cell leukemic homeobox1-Gens mit dem E2A-Gen führt, vorgenommen. Weiterhin werden rekurrente somatische Veränderungen (n 2), die in den initialen Sequenzieranalysen detektiert wurden, in einem repräsentativen ALL-Kollektiv von weiteren 200 ALL-Proben bei Erstdiagnose und 50 Proben bei Rezidivdiagnose auf ihre Inzidenz in der ALL-Population (Basis: ALL-BFM- und ALL-REZ BFM-Studiengruppen) untersucht.

4.2 BIOINFORMATISCHE AUSWERTUNG

Zunächst wird ein „Read Alignment“ für Genome und Exome gegen das humane Referenzgenom, Annotation und Klassifizierung der Varianten vorgenommen. Strukturelle Variationen werden mittels Sequenzpaaranalyse, Sequenztiefenanalyse, Sequenzaufspaltungsanalyse und Sequenzassemblierung untersucht. Methylomdaten werden mittels spezieller Algorithmen, unter Berücksichtigung der Bisulfitkonvertierung, auf die Zielregion im Referenzgenom („restriction specific target enrichment“) abgebildet und anschließend der Grad der DNA-Methylierung an Cytosin-Basen bestimmt. Transkriptomsequenzen werden nach Kartierung auf das Referenzgenom kartiert, es werden Expressionsprofile und Pathwayanalysen für jede Probe hergestellt sowie eine umfassende Analyse der Spleißvarianten durchgeführt.

5. ERGEBNISSE

5.1 SEQUENZIERUNG DER PROBEN

Die Sequenzierarbeiten sind zum Großteil abgeschlossen.

5.2 BIOINFORMATISCHE AUSWERTUNG

Die Sequenzierdaten befinden sich in bioinformatischer Auswertung.

6. GEPLANTE WEITERARBEIT

Die Sequenzierarbeiten und die Auswertung der Daten werden abgeschlossen. Die Ergebnisse werden im Hinblick auf bisher bekannte Aberrationen im Kontext von Karzinogenese/Leukämogenese bewertet. Außerdem wird geprüft, ob gefundene Aberrationen rekurrent sind, also für die ALL im Kindesalter von allgemeiner Bedeutung sein könnten.

Themenbereich 04
Medizinische Strahlenexposition / Röntgenverordnung

Subject area 04
Medical radiation exposures / X-ray Ordinance

Thema			
Evaluation der Brustkrebsmortalität im deutschen Mammographie-Screening-Programm-Machbarkeitsstudie			
Subject			
<i>Evaluation of the breast cancer mortality in the German mammography-screening-program - Feasibility study</i>			
Kennzeichen 3610S40002	Beginn 01.07.2012	Ende 30.06.2014	Fördermittel EUR 508.376,-
Forschungs- / Auftragnehmer Westfälische Wilhelms-Universität, Münster			
Projektleitung Prof. H.W.Hense, Prof. W.Heindel		Fachbetreuung BfS Prof. G. Brix / SG 2	verantwortlich für den Text Prof. H.W. Hense, Dr. A. Fuhs

1. ZIELSETZUNG

Ziel der Machbarkeitsstudie ist es zu prüfen, ob unter den aktuellen rechtlichen Gegebenheiten praktikable Möglichkeiten bestehen, die an verschiedenen Stellen vorliegenden Informationen (sog. Sekundärdaten) so zusammenzuführen, dass mit ihnen die Auswirkung des deutschen Mammographie-Screening-Programms (MSP) auf die Brustkrebsmortalität evaluiert werden kann. Der entstehende Datensatz soll dabei so hinreichend umfangreich und detailliert sein, dass sich damit ergänzende und miteinander verzahnte Studientypen (Kohortenstudien, Fall-Kontroll-Studien und Begleitstudien) durchführen lassen.

2. EINZELZIELSETZUNG

Das Forschungsvorhaben ist an einen Generalunternehmer (GU) vergeben worden, der seinerseits drei fachlich ausgewiesene Unterauftragnehmer (UA) verpflichtet hat. Das Gesamtforschungsvorhaben gliedert sich in fünf Arbeitspakete:

- Im ersten Arbeitspaket (AP 1) werden aktuelle Ergebnisse und Entwicklungen aus der internationalen Literatur zur Brustkrebsmortalität zeitnah recherchiert und in einer zentralen Datenbank allen Auftragnehmern zur Verfügung gestellt.
- Im zweiten Arbeitspaket (AP 2) übernimmt der GU die zur Sicherung eines abgestimmten, konsistenten und koordinierten Ablaufes notwendigen Aufgaben des Projektmanagements.
- Im Arbeitspaket 3 (AP 3) sollen mit drei unterschiedlichen Ansätzen effiziente und praktikable Konzepte zu möglichen Datenflüssen entwickelt werden. Die Modelle basieren auf dem etablierten Vorgehen eines bevölkerungsbasierten Krebsregisters („Modell NRW“ (Nordrhein-Westfalen)), den Daten eines flächendeckenden Klinischen Krebsregisters („Modell Sachsen“) und dem Datenbestand der gesetzlichen Krankenkassen („Modell GKV“).
- Datenflüsse und Datenqualität sollen, nach der datenschutzrechtlichen Prüfung und Freigabe durch den Auftraggeber (Haltepunkt), modellhaft in mindestens zwei Regionen getestet werden (Arbeitspaket 4).
- In dem abschließenden Arbeitspaket 5 wird vom GU - unter Berücksichtigung der Resultate der UA - eine Empfehlung hinsichtlich eines realisierbaren Gesamtkonzepts abgegeben werden, das als Grundlage einer nachfolgenden Hauptstudie zur Mortalitätsevaluation des deutschen MSP dienen soll.
- Innerhalb des AP 4 läuft außerdem eine unabhängige Pilotstudie zur Abschätzung der Strahlenexposition innerhalb und außerhalb des MSP auf Bevölkerungsebene.

3. METHODIK

AP 1 umfasst regelmäßige Updates der Literatur in der Fachpresse. In AP 2 erfolgt durch den GU die Abstimmung und spezifische Steuerung mit allen UA hinsichtlich einzelner Arbeitsfortschritte, der Erstellung von Quartalsberichten und des vorläufigen Ergebnisberichtes und beim Abschlussbericht. Dazu werden regelmäßig protokollierte Telefonkonferenzen und Projekttreffen abgehalten und alle Dokumente auf einem den UA zugänglichen zentralen Server abgelegt. Im AP 3 versucht das „Modell NRW“ die bewährten und geprüften

Verfahren des Epidemiologischen Krebsregisters NRW (EKR-NRW) so weiter zu entwickeln, dass ein tragfähiges Konzept zur datenschutzgerechten Datenzusammenführung entsteht. Das Verfahren basiert auf Prozessen diversifizierter Kryptographie, um die Aufbereitung und Bereitstellung der Datensätze unterschiedlicher Datenhalter zu realisieren; das Modell ist zunächst auf Daten aus NRW begrenzt. Das „Modell Sachsen“ prüft, wie Routinedaten aus den Klinischen Krebsregistern Sachsen und dem MSP zusammengeführt werden können; es soll Verfahren erbringen, die potenziell in den ostdeutschen Bundesländern und Bayern umgesetzt werden können, da sich dort ebenfalls flächendeckende Klinische Krebsregister etabliert haben. Das „Modell GKV“ untersucht einen Ansatz, der primär auf den Leistungs- und Diagnosedaten der gesetzlichen Krankenkassen basiert; dieser Ansatz bietet u. a. Optionen für eine Erweiterung der Evaluationsstudie auf bundesländer-übergreifende Strukturen. Im AP 4 sollen die Datenflusskonzepte an Testdaten jeweils in den Regionen überprüft werden. In AP 5 wird nach Abschluss von AP 3 und AP 4 ein Gesamtkonzept für die Hauptstudie erstellt werden. In der Begleitstudie zu AP 4 erfolgt eine Analyse der Möglichkeiten zur Beschaffung von Strahlenexpositionsdaten innerhalb und außerhalb des MSP. Hinzu kommen die Expositionserhebungen und -auswertungen zunächst modellhaft für NRW.

4. DURCHFÜHRUNG

Allen Unterauftragnehmern wurden auf einem gemeinsamen Server, der zentral in Münster eingerichtet und gepflegt wird, alle projektrelevanten Daten (Dokumente, Protokolle, Folien etc.) zur Verfügung gestellt (AP 1). Die Koordination aller UA hinsichtlich des Kontaktes mit den Landes- und Bundesdatenschützern zur Bewertung der Datenfluss- und Datenhaltungskonzepte wurde vom GU übernommen. Zur Abschätzung des kurativen Anteils der Mammographie-Leistungen suchte der GU Kontakt mit der Kassenärztlichen Bundesvereinigung (KBV) und der lokalen Kassenärztlichen Vereinigung Westfalen-Lippe (AP 2). Im „Modell NRW“ wurden die ETL-Prozesse (Extract - Transfer - Load) analysiert und standardisiert und das kryptogramm-basierte Record Linkage geplant. Es wurden neue Systeme mit a-priori definierten Aggregationsstufen der Merkmale und Algorithmen zur automatischen „Blinden Anonymisierung“ in der DZS entwickelt. Im „Modell GKV“ ist der Zugang zu GKV-Daten geklärt worden und ein Konzept für die Auswahl der Merkmale (Variablen-Matrix) vorgelegt worden. Ein Konzept für den Zugang zu den Todesursachen aus offiziellen Mortalitätsdaten wurde erstellt. Im „Modell Sachsen“ wurde nach Kontaktaufnahme mit den potenziellen Datenhaltern ein Datenmodell erstellt. Das Konzept für ein Record-Linkage zur Zusammenführung der Daten von unterschiedlichen Datenhaltern wird zurzeit erarbeitet. Erstellung und Prüfung eines rechtssicheren Datenschutzkonzeptes in Zusammenarbeit mit dem sächsischen Landesdatenschutzbeauftragten sind avisiert (AP 3). Im Rahmen der Begleitstudie (AP 4) erfolgt die Evaluation der Strahlenexposition innerhalb des MSP mit Hilfe der Datenexportmöglichkeiten der MaSc-Software. Kurative Einrichtungen wurden mittels eines Empfehlungsschreibens der Ärztekammerpräsidenten und zusätzlichen Informationsschreiben zu Teilnahme an dieser Studie eingeladen.

5. ERGEBNISSE

Aktuell sind 286 Artikel für alle Kooperationspartner auf dem zentralen Server zugänglich. Die im Konzeptmodell NRW dargestellten Verfahren sind nach einer ersten Bewertung aus datenschutzrechtlicher Sicht (BfDI, LDI, BSI)¹⁾ hinreichend. Eine endgültige datenschutzrechtliche Bewertung erfolgt für das vollständige Modell zum Haltepunkt (2. Quartal 2013). Im „Modell GKV“ sind die zur Evaluation notwendigen Variablen festgelegt, die Ermittlung der Todesursachen wird aktuell noch vorbereitet. Zu diesem Projekt fehlt noch die Stellungnahme der Datenschützer, ob der Erhalt der Todesursachen vom Statistischen Landesamt möglich sein wird. Im „Modell Sachsen“ ist die Verschlüsselungsthematik intensiviert worden und bedarf nun einer Bewertung durch den Landesdatenschutzbeauftragten. Im Rahmen der Begleitstudie in AP 4 wurden zur Evaluation der Strahlenexposition innerhalb des MSP weitere Felder in den MaSc-Datenexport integriert. Die Einladungen haben bisher in ganz NRW insgesamt 47 kurative Gerätebetreiber (ca. 19% aller Angeschriebenen) angenommen und sich bereit erklärt, Geräte und Expositionsdaten zur Verfügung zu stellen. Alle Systemtypen und unterschiedliche Praxistypen sind abgedeckt. Die fehlende Standardisierung der Dokumentation muss durch eine entsprechende Auswertungsstrategie, z. B. Stratifikation, berücksichtigt werden.

¹⁾ BfDI - Bundesbeauftragter für den Datenschutz und die Informationsfreiheit
LDI - Landesbeauftragter für Datenschutz und Informationsfreiheit
BSI - Bundesamt für Sicherheit in der Informationstechnik

6. GEPLANTE WEITERARBEIT

- Fortlaufende Aktualisierung der Literatur;
- Fertigstellung der Datenflusskonzepte aller drei Modelle und Überprüfung an Testdaten;
- Entwicklung und Darstellung eines oder (optional auch) mehrerer realisierbarer Gesamtkonzepte (AP 5), die als Grundlage einer nachfolgenden Hauptstudie dienen können;
- Bestimmung der Strahlenexpositionsdaten innerhalb und außerhalb des MSP und anschließende Auswertung.

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 233.245,-

Forschungs- / Auftragnehmer

TÜV SÜD Life Service GmbH, Ärztliche Stelle Hessen, Frankfurt

Projektleitung

PD Dr. M. Walz

Fachbetreuung BfS

Dr. A. Schegerer / AG-SG 2.2

verantwortlich für den Text

PD Dr. M. Walz

1. ZIELSETZUNG

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

2. EINZELZIELSETZUNG

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

Ziel ist die Erhebung des aktuellen Standes der Strahlenexpositionserfassung und -auswertung in den Ärztlichen Stellen Deutschlands zu den vorhandenen informationstechnischen Grundlagen, zum Bedarf und den Wünschen bzgl. der Funktionen der IVEU - Software sowie zu den aktuell angewandten Methoden der Plausibilitätsprüfungen der erfassten Daten.

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

Ziel ist die Entwicklung und Bereitstellung einer Software für die Ärztlichen Stellen Deutschlands, mit der insb. 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 sollen die im Rahmen des IVEU-Projektes und der Überprüfungen nach § 17a RöV und § 83 StrlSchV erhobenen Daten der Ärztlichen Stelle Hessen zu diagnostischen Strahlenanwendungen für einen Zeitraum von ein bis zwei Jahren ausgewertet werden.

3. METHODIK

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

Die Befragungen der Ärztlichen Stellen erfolgen mit Hilfe von Fragebögen, teilweise unterstützt durch telefonische Kontakte, sowie im Rahmen der Treffen der Ärztlichen Stellen und bei Projektsitzungen 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 und deren Zusammenfassung im Rahmen einer Bachelor-Arbeit wird in Zusammenarbeit der Projektpartner, insb. der Ärztlichen Stellen, dem Centre Recherche Public Henri Tudor, der Technischen Hochschule Mittelhessen und Vertretern aus Krankenhäusern und Praxen (insb. aus Braunschweig, Mannheim und Nürnberg / Schweiz) das Software-Konzept und ein Zeitplan erstellt. Die Programmierung erfolgt unter der Federführung des Centre Recherche Public Henri Tudor unter Beteiligung weiterer Projektpartner und deren Studenten.

3.3 AUSWERTUNG DER ERHOBENEN DATEN IM RAHMEN EINER QUERSCHNITTSTUDIE IN HESSEN

Anhand einer Pilotstudie mit DICOM (Digital Imaging and Communications in Medicine)-Header-Daten der Ärztlichen Stelle Hessen (ÄSH), die aus Überprüfungen nach § 17a RÖV der Jahre 2010 bis 2012 stammen, wird der aktuelle Stand der Datenextraktionsmöglichkeiten und der notwendigen Algorithmen und Abläufe zur Auswertungen der bei den digitalen Bildern vorhandenen Informationen erhoben und ausgewertet. An der Hochschule Mittelhessen wird 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 werden erstellt.

4. DURCHFÜHRUNG

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

Es fanden 2 Erhebungen bei den Ärztlichen Stellen statt.

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

Das Software-Konzept wurde erstellt und die Software-Programmierung begonnen.

4.3 AUSWERTUNG DER ERHOBENEN DATEN IM RAHMEN EINER QUERSCHNITTSTUDIE IN HESSEN

Die Datenstrukturen, die Terminologie und die praktischen Erhebungsformen sowie Mensch-Maschinen-Schnittstellen wurden konzipiert und vorbereitet. Rapid Miner wurde als Data Mining Tool getestet und angepasst.

5. ERGEBNISSE

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

Ein Anforderungsprofil für die verschiedenen Typen von Ärztlichen Stellen wurde erstellt, z. B. bezüglich Änderungen an DICOM-Header-Feldern, der Software-unterstützten, manuellen Datenerfassung, der Plausibilitätsprüfungen, Auswertungen und Darstellung bei den Überprüfungen und der Bereitstellung eines frei verfügbaren PACS (Picture Archiving and Communication System).

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

Mit der Erstellung der IVEU Programmteile wurde begonnen, z. B. bezüglich:

- Datenbank zum Laden und Speichern der in IVEU verwalteten Daten;
- Grundlegende IVEU Programmoberfläche mit Menü-Bar, integriertem TUDOR-DICOM Viewer und Tabs für die verschiedenen Programmbereiche;
- Erfassungstemplate-Editor inklusive Import / Export der Templates sowie die Template-Engine zum Erfassen der Daten aus den DICOM-Headern, manueller Eingabe oder Übernahme aus der Geräte- / Betreiberdatenbank;
- DICOM-Open Dialog zum Öffnen und Laden von DICOM-Dateien aus verschiedenen Quellen wie Ordnerstrukturen, DICOM-CDs;
- DICOM-Export zum Speichern der geänderten Header und Bilddaten in lokale Verzeichnisstrukturen sowie zum Versenden dieser Daten an ein PACS;
- Definition eines Workflow und Software Interfaces zur Interaktion mit der Geräte- / Benutzerdatenbank in Zusammenarbeit mit der ÄSH.

5.3 AUSWERTUNG DER ERHOBENEN DATEN IM RAHMEN EINER QUERSCHNITTSTUDIE IN HESSEN

Die DICOM Header Pilot-Studie hat ergeben, dass manche Felder sehr variabel gefüllt werden und geeignete Zuordnungs-Algorithmen entwickelt werden müssen.

6. GEPLANTE WEITERARBEIT

In 2013 wird die Software weiterentwickelt, getestet und im breiteren Umfeld zur Verfügung gestellt. Die Datenerhebung für die Querschnittsstudie sowie die Entwicklung der Zuordnungsmechanismen und Analyse- / Reporting - Tools starten.

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 333.071,-
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	Dr. C. Richter, Dr. M. Sogalla, H. Wildermuth	

1. ZIELSETZUNG

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

2. EINZELZIELSETZUNG

Das Forschungsvorhaben gliedert sich in 5 Arbeitspakete. Das Arbeitspaket (AP) 1: „Aufarbeitung des für das Vorhaben relevanten Standes von Wissenschaft und Technik“ (W&T) nimmt dabei eine Sonderstellung ein, da die darin recherchierten und aufbereiteten Themen durch die Zielsetzungen der übrigen Arbeitspakete bestimmt werden und andererseits die Ergebnisse des AP1 die konkrete Umsetzung der übrigen APs beeinflusst. AP1 hat demzufolge keinen Selbstzweck, sondern dient vorbereitend für die übrigen Arbeiten. Ebenso folgt AP 5 „Informations- und Erfahrungsaustausch zwischen Programmentwicklern und externen Anwendern“ keinem Selbstzweck, sondern dient 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 INSBESONDERE BEI KOMPLEXER BEBAUUNG (AP 2)

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

Neben der Belastbarkeit der Strömungsfelder sind 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 von Turbulenzparametrisierungen werden verfolgt und, wenn sinnvoll, implementiert.

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

Einen Großteil der geplanten Modellerweiterungen betrifft die graphische Benutzeroberfläche GO-ARTM. Es sollen ermöglicht werden:

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

Des Weiteren sollen vorhandene meteorologische Präprozessoren dazu ertüchtigt werden, für ARTM nutzbare Eingabedateien zu erzeugen. Durch Fallstudien sollen zudem relevante Parameter und Randbedingungen der Ausbreitungsrechnung für die Berechnung der Strahlenexposition untersucht werden.

3. METHODIK

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

Die Arbeit der Verein Deutscher Ingenieure (VDI) Arbeitsgruppe zur Überarbeitung der VDI Richtlinie 3783, Blatt 8 zur Turbulenzparametrisierung wird verfolgt.

ARTM wird verifiziert. Validierungsdatensätze werden recherchiert und verfügbar gemacht. Für die Aufbereitung der Validierungsdaten und für die Visualisierung der Ergebnisse werden 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 SVN Repository gepflegt. Zur Programmentwicklung gehören jeweils Programmtests sowie die Dokumentation der Änderungen in einer History-Datei sowie, wenn nötig, in der Programm- und Modellbeschreibung.

Anwenderückfragen werden bearbeitet. Der diesbezügliche Email-Schriftverkehr wird für alle Projektmitarbeiter in einem internen Projektportal verfügbar gemacht und archiviert. Eine Internetseite zu ARTM www.grs.de/content/ausbreitungsmodellierung wird gepflegt. Zusammen mit dem Fachbetreuer wird ein Newsletter erstellt.

4. DURCHFÜHRUNG

Die Durchführung der Arbeitspakete 1,2,4 und 5 richtet sich nach der im vorherigen Abschnitt beschriebenen Methodik. Die Durchführung der Validierung richtet sich nach etablierten Vorgehensweisen im Bereich der computergestützten Simulationen bzw. dem Fachgebiet der atmosphärischen Ausbreitungsrechnung. Zu dem mehrstufigen Prozess gehört 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 sollen,
- die Festlegung von Vergleichsgrößen (bspw. Mittelwerte, Extremwerte, Positionen, Überschreitungen eines Referenzwertes, Zeitpunkte, Korrelationskoeffizienten),
- 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 und
- eventuell das Identifizieren von Handlungsbedarf zur Verbesserung des Modells oder der Anpassung des Anwendungsbereiches.

5. ERGEBNISSE

- AP 1: Der Stand von W&T wurde recherchiert, insbesondere wurden hier experimentelle Datensätze für die Validierung verfügbar gemacht.
- AP 3: Verifikationsrechnungen wurden durchgeführt. Die Modell- und Programmbeschreibung wurden erweitert. Eine technische Dokumentation des Programms wurde begonnen.
- AP 4: Ein Prototyp zur Visualisierung der Windfeldbibliothek wurde erstellt. Ausführbare Programme der meteorologischen Präprozessoren wurden kompiliert.
- AP 5: Durch Anwender wurden einige Modellerweiterungen und -verbesserungen angeregt und bereits umgesetzt.

Sämtliche Programmänderungen wurden in einer History-Datei sowie der Programm- und Modellbeschreibung dokumentiert.

6. GEPLANTE WEITERARBEIT

Der Schwerpunkt der Weiterarbeit liegt auf Arbeitspaket 3 (Validierung) mit den unter Abschnitt 4 beschriebenen Einzelschritten.

Themenbereich 06
Notfallschutz

Subject area 06
Emergency management

Thema			
Weiterentwicklung des elektronischen Meldeverfahrens im radiologisch relevanten Ereignisfall unter Berücksichtigung der Anforderungen im Rahmen internationaler Meldeverpflichtungen (ECURIE ¹⁾ /EMERCON ²⁾)			
Subject			
<i>Further development of the electronical notification procedure in the case of a radiologically relevant accident under consideration of international notification requirements (ECURIE/EMERCON)</i>			
Kennzeichen 3610S60002	Beginn 01.02.2011	Ende 15.11.2012	Fördermittel EUR 119.000,-
Forschungs- / Auftragnehmer Bircomp GmbH, CH 5605 Dottikon (Schweiz)			
Projektleitung R. Bendzko	Fachbetreuung BfS N. Zander / SW 2.2	verantwortlich für den Text N. Zander	

1. ZIELSETZUNG

Das in den Vorgängervorhaben erarbeitete elektronische Meldeverfahren soll durch Anpassung an die spezifischen Anforderungen eines weiteren Bundeslandes (Baden-Württemberg) und Anpassung an das zwischen IAEA³⁾ und EU abgestimmte IRIX-Format zum Standardverfahren für den Meldefluss im radiologisch relevanten Ereignisfall qualifiziert werden.

2. EINZELZIELSETZUNG

2.1 EINHEITLICHES DATENFORMAT

Zwischen IAEA und der Europäischen Kommission wird ein gemeinsames Datenformat für die internationale Meldung radiologisch relevanter Ereignisse erarbeitet (IRIX - Internation Radiation Information Exchange). Durch Beteiligung an der IRIX-Einführung und Ergänzung des Formates mit Inhalten, die für die spezifischen Anforderungen des nationalen Meldeflusses relevant sind, soll ein bundeseinheitliches anlagenübergreifendes Datenformat entwickelt und eingeführt werden, das gleichzeitig die Anforderungen der internationalen Berichterstattung erfüllt (NotDat-Inputfile).

2.2 INTEGRATION VON INFORMATIONS DATEN IN DEN MELDEFLUSS

Die bisherige Entwicklung des Meldeverfahrens baute auf den durch die Länderbehörden erfassten Informationen auf. Teile der internationalen Meldeverpflichtungen betreffen die Zuständigkeiten verschiedener behördlicher Strukturen (Länder/Bund). Diese international geforderten Informationen sollen in den elektronischen Meldefluss integriert werden.

Die elektronische Datenübermittlung ist nicht nur umfassend und vollständig in Bezug auf die im Rahmen internationaler Meldeverpflichtungen der Bundesrepublik Deutschland geforderten Daten, sondern bietet auch die Möglichkeit, die für zeitnahe Ausbreitungsrechnungen mit dem Entscheidungshilfesystem RODOS⁴⁾ benötigten Inputdaten zu extrahieren und somit eine belastbare Grundlage für die Lagebewertung im Ereignisfall zu schaffen.

2.3 TEST IM RAHMEN EINER MELDEÜBUNG

Erfahrungen aus den bisherigen Meldeübungen zum automatisierten Meldefluss sollen in eine optimierte Linux-Version der NotDat-Software eingearbeitet werden und im Rahmen einer Meldeübung unter Mitwirkung des Betreibers der Referenzanlage, der Landes- und der Bundesbehörde sowie der internationalen Melde-

¹⁾ European Community Urgent Radiological Information Exchange

²⁾ Emergency Convention

³⁾ International Atomic Energy Agency

⁴⁾ Real-time online decision support system

stelle (ECURIE) getestet werden. Dabei sollen auch die erforderlichen RODOS-Eingangsdaten generiert werden

2.4 EINBINDUNG VON INFORMATIONEN ZU SONSTIGEN RADIOLOGISCHEN EREIGNISSEN IN DEN MELDEFLUSS

In den Vorgängerprojekten wurden ausschließlich Ereignisse in Kernkraftwerken im Hinblick auf internationale Meldeverpflichtungen betrachtet. Ein Teilziel dieses Vorhabens ist es, Empfehlungen zur elektronischen Einbindung von Informationen zu sonstigen Ereignissen außerhalb kerntechnischer Anlagen (Transportunfälle mit radioaktiven Quellen, Ereignisse mit terroristischem Hintergrund etc.) zu erarbeiten.

2.5 STABILITÄT ELEKTRONISCHER VERBINDUNGEN IM EREIGNISFALL

In Meldeübungen und Studien zur Verfügbarkeit kritischer Infrastrukturen zeigte sich, dass im Ereignisfall die Stabilität der im Rahmen des Vorhabens genutzten elektronischen Datenverbindungen zu gewährleisten ist. Diese ist in einem ersten Schritt zu bewerten um Empfehlungen zur Verbesserung der Stabilität elektronischer Datenverbindungen im Ereignisfall erarbeiten zu können.

3. METHODIK

Es kommt keine spezifische Methodik zum Einsatz.

4. DURCHFÜHRUNG

Das Projekt wird in den folgenden Arbeitspaketen realisiert:

- Anpassung des im Rahmen der Vorläufervorhaben erarbeiteten elektronischen Meldeverfahrens an die spezifischen Anforderungen eines weiteren Bundeslandes (Baden-Württemberg) für eine Referenzanlage (AP 1)
- Entwicklung und Implementierung einer Plausibilitätsprüfung unter Berücksichtigung des aktuellen Standes der internationalen Meldeanforderungen (IRIX-Format). Weiterhin sind Vorschläge für die Vereinheitlichung von xml- Formaten zu erarbeiten, die durch unterschiedliche Datenlieferanten der Meldekette (Betreiber, Länderbehörden, Messzentralen etc.) gegenwärtig genutzt werden; Ziel ist die Erarbeitung eines bundeseinheitlichen elektronischen NotDat-Inputfiles (AP 2)
- Automatische Übernahme von im Rahmen internationaler Meldeverpflichtungen erforderlichen Informationen aus dem Entscheidungshilfesystem RODOS (z. B. „Mittelwert und Höchstwert von Dosen“, „Aktivitätskonzentrationen in Nahrungs- und/oder Futtermitteln“, „Überquert die Freisetzungsfahne die Staatsgrenze?“ usw.) (AP 3)
- Erprobung der optimierten Linux-Version der NotDat-Software im Rahmen einer Meldeübung unter Mitwirkung des Betreibers der Referenzanlage, der Landes- und der Bundesbehörde sowie der internationalen Meldestelle (ECURIE); dabei sollen auch die erforderlichen RODOS-Eingangsdaten generiert werden (AP 4)
- Erarbeitung von Empfehlungen zur elektronischen Einbindung von Informationen zu sonstigen Ereignissen außerhalb kerntechnischer Anlagen (Transportunfälle mit radioaktiven Quellen, Ereignisse mit terroristischem Hintergrund, etc.) (AP 5)
- Bewertung der Stabilität elektronischer Verbindungen im Ereignisfall und Erarbeitung von Vorschlägen zur deren Erhöhung unter Berücksichtigung internationaler Erfahrungen (AP 6)

5. ERGEBNISSE

Die elektronische Erzeugung und Übermittlung von Daten im Falle eines Unfalls in einer kerntechnischen Einrichtung ist möglich und sinnvoll. In diese Meldekette sind auch Informationen zu sonstigen Ereignissen außerhalb kerntechnischer Anlagen einzubinden. Die Stabilität der dabei verwendeten elektronischen Datenverbindungen kann durch Nutzung energetisch autarker Kommunikationssysteme (wie z. B. Satellitenfunk, den die Kernkraftwerks-Betreiber bereits eingeführt haben) erhöht werden. Aufbauend auf dem IRIX-Format können nun Meldeformate genutzt werden, die die elektronische Kommunikation zwischen allen Beteiligten der Meldekette medienbruchfrei und ohne Transformationen ermöglichen. Die Einbindung der für die öffentliche

Ordnung und den Katastrophenschutz zuständigen Landesbehörden kann im Rahmen dieses Vorhabens nicht abgedeckt werden.

6. GEPLANTE WEITERARBEIT

Die Anpassung des elektronischen Meldeverfahrens an die spezifischen Anforderungen der Referenzanlage und des Bundeslandes Baden-Württemberg wird fortgeführt und abgeschlossen. Das entwickelte Meldeverfahren wird im Rahmen einer Kommunikationsübung getestet. Alle Meldestellen (Betreiber der Referenzanlage, zuständige Landesbehörde, BMU/BfS) werden an der Übung teilnehmen. ECURIE- und EMERCON-Berichte werden zur Weiterleitung an die internationalen Organisationen (EU / IAEA) für das BMU auf der Grundlage der Lageberichte der Landesbehörden erzeugt.

Thema Generalisierte Konzepte für Maßnahmen bei nuklearen und radiologischen Notfällen			
Subject <i>Generalised concepts for countermeasures in case of nuclear or radiological emergencies</i>			
Kennzeichen 3610S60014	Beginn 01.03.2011	Ende 30.09.2013	Fördermittel EUR 329.063,-
Forschungs- / Auftragnehmer Gesellschaft für Anlagen- und Reaktorsicherheit (GRS) mbH, Köln			
Projektleitung Dr. M. Sogalla	Fachbetreuung BfS N. Zander / SW 2.2	verantwortlich für den Text Dr. M. Sogalla	

1. ZIELSETZUNG

Ziel des Vorhabens ist, verfügbare Maßnahmenkonzepte aus dem Bereich des anlagenexternen Notfallschutzes, der ABC (atomare, biologische und chemische)-Gefahrenabwehr und der nuklearspezifischen Gefahrenabwehr (NGA) in Bezug auf

- die Abdeckung eines möglichst weiten Ereignisspektrums radiologischer Notfälle mit überschaubaren Maßnahmenkombinationen,
- die Lagebewertung anhand einheitlicher Kriterien und
- die Abstimmung von Maßnahmen und der Information der Bevölkerung

auszuwerten und weiter zu entwickeln. Dadurch sollen bestehende und bewährte Konzepte in ein konsistentes Gesamtsystem integriert und ggf. ergänzt werden. Auf dieser Basis werden Lösungsansätze für die Weiterentwicklung und Optimierung von Entscheidungshilfesystemen zur schnellen Unterstützung von Entscheidungsfindungen und für die Bereitstellung von Informationen konzipiert. Dies soll die Effizienz der GRS im Rahmen der Beratertätigkeit auf dem Gebiet des Notfallschutzes maßgeblich erhöhen. Am Beispiel der Weiterentwicklung der elektronischen Version des Maßnahmenkatalogs „Übersicht über Maßnahmen zur Verringerung der Strahlenexposition nach Ereignissen mit nicht unerheblichen radiologischen Auswirkungen“ soll die Leistungsfähigkeit dieser Lösungsansätze überprüft und demonstriert werden.

2. EINZELZIELSETZUNG

Die Ergebnisse dieses Forschungsvorhabens sollen in einem Ereignisfall eine wesentlich schnellere Beurteilung der tatsächlichen Gefährdung und Entscheidungsfindung über geeignete Gegenmaßnahmen bei möglichen radiologischen Notfällen durch die GRS unterstützen. Der resultierende Zeitgewinn kommt der rechtzeitigen Einleitung geeigneter Gegenmaßnahmen zugute. Vor dem Hintergrund dieser Anforderungen verfolgt das Vorhaben die folgenden Einzelziele:

- Analyse und Charakterisierung des Spektrums radiologischer Notfälle;
- Zusammenfassung, Systematisierung und Ergänzung bestehender Maßnahmenkonzepte;
- Strategien zur Nutzung von generalisierten Maßnahmenkonzepten in Entscheidungshilfe- und Informationssystemen.

3. METHODIK

Das Spektrum radiologischer Notfälle mit Relevanz für die Notfallvorsorge wird analysiert, die maßgeblichen Charakteristika der unterschiedlichen Notfallsituationen für Lagebewertung und Entscheidungsfindung über Gegenmaßnahmen werden systematisch erfasst und aufgearbeitet. Durch die Zusammenführung und Systematisierung bestehender Maßnahmenkonzepte soll ein System kohärenter Maßnahmen aufgestellt werden. Dazu werden auch geeignete Verfahren zur maßnahmenorientierten Lagebewertung und Entscheidungsfindung erarbeitet. Die Umsetzungsmöglichkeiten des generalisierten Maßnahmenkonzeptes sollen durch die Weiterentwicklung der elektronischen Version des Maßnahmenkatalogs „Übersicht über Maßnahmen zur

Verringerung der Strahlenexposition nach Ereignissen mit nicht unerheblichen radiologischen Auswirkungen“ zur Anwendung für ein erweitertes Spektrum radiologischer Notfälle überprüft und demonstriert werden. Dies dient auch der Nutzungsmöglichkeit der erarbeiteten Ansätze für Schulungs- und Übungszwecke sowie der Übertragungsmöglichkeit dieser Ansätze in andere Entscheidungshilfesysteme.

4. DURCHFÜHRUNG

Das Vorhaben ist in vier Arbeitspakete gegliedert:

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

- Kenntnisstand zum relevanten Ereignisspektrum
- Kenntnisstand zu Maßnahmenkonzepten
- Entwicklungsstand von Unterstützungssystemen
- Analyse und Erfahrungsrückfluss zum Unfallablauf im Kernkraftwerk Fukushima Daiichi

4.2 ANALYSE DES RELEVANTEN EREIGNISSEKTRUMS (AP 2)

- Zusammenstellung relevanter Ereignisse
- Maßnahmenorientierte Charakterisierung relevanter Ereignisse
- Schlussfolgerungen aus dem Unfallablauf im Kernkraftwerk Fukushima Daiichi für das relevante Ereignisspektrum

4.3 GENERALISIERUNG VON MAßNAHMENKONZEPTEN (AP 3)

- Analyse und Vergleich bestehender Maßnahmenkonzepte
- Entwicklung eines generalisierten Maßnahmensystems
- Entwicklung einheitlicher Vorgehensweisen zur Lagebewertung und Entscheidungsfindung
- Information und Kommunikation

4.4 NUTZUNGSMÖGLICHKEITEN VON GENERALISIERTEN MAßNAHMENKONZEPTEN IN ENTSCHEIDUNGSHILFE- UND INFORMATIONSSYSTEMEN (AP 4)

- Bestandsaufnahme von Entscheidungshilfe- und Informationssystemen
- Strategien zur Umsetzung generalisierter Maßnahmenkonzepte in Unterstützungssystemen
- Erweiterung der elektronischen Version des Maßnahmenkatalogs „Übersicht über Maßnahmen zur Verringerung der Strahlenexposition nach Ereignissen mit nicht unerheblichen radiologischen Auswirkungen“ zur Umsetzung der generalisierten Maßnahmenkonzepte.

5. ERGEBNISSE

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

Ein Bericht zum Kenntnis- und Entwicklungsstand wurde dem Auftraggeber vorgelegt. Zum Unfall im Kernkraftwerk (KKW) Fukushima Daiichi wurde ein gemeinsamer Bericht erstellt, der auf Grund des sich weiterhin entwickelnden Erkenntnisfortschritts nochmals fortgeschrieben wird.

5.2 ANALYSE DES RELEVANTEN EREIGNISSEKTRUMS

Die Zusammenführung der Klassifizierung der Ereignisspektren und die Analyse wesentlicher Merkmale des relevanten Ereignisspektrums wurde abgeschlossen. Die Vergleichsmatrix zur systematischen übergreifenden Erfassung der Charakteristika aller einzubeziehenden Ereignisse wurde abschließend überarbeitet. Die Ableitung des Erweiterungsbedarfs verfügbarer Ereignisspektren für den Notfallschutz anhand der Ereignisse im KKW Fukushima Daiichi im Vergleich zu bestehenden Ereignisspektren wurde abgeschlossen.

5.3 GENERALISIERUNG VON MAßNAHMENKONZEPTEN

Im Berichtszeitraum wurde die Recherche und Zusammenstellung verfügbarer Maßnahmenkonzepte sowie Entwicklung von Kriterien für die Anwendbarkeit und Übertragbarkeit auf unterschiedliche Ereignistypen abgeschlossen. Die Merkmale von Maßnahmen und ihrer Effizienz verschiedener Ereignistypen für die Erstellung eines generalisierten Maßnahmensystems wurden untersucht. Die Entwicklung einheitlicher Vorgehensweisen zur Lagebewertung und Entscheidungsfindung wurde fortgeführt, ebenso die Recherche und Bewertung bestehender Kommunikationskonzepte.

5.4 NUTZUNGSMÖGLICHKEITEN VON GENERALISIERTEN MAßNAHMENKONZEPTEN IN ENTSCHEIDUNGSHILFE- UND INFORMATIONSSYSTEMEN

Zur Bestandsaufnahme sollte eine Fragebogenaktion bei den zuständigen Behörden für Katastrophenschutz und Strahlenschutzvorsorge für die radiologische Lagebewertung durchgeführt werden. Eine derartige Abfrage erfolgt außerhalb des Vorhabens durch das BMU. Die im Rahmen des Vorhabens bereits konzipierten Fragen wurden dem BfS für einen gemeinsamen Fragebogen überlassen, um eine Mehrfachbefragung zu vermeiden. Die Skizzierung von Umsetzungsstrategien auf Basis bereits verfügbarer Entscheidungshilfesysteme wurde fortgeführt. Dabei wurde schwerpunktartig der identifizierte Bedarf an Bewertungsmöglichkeiten auf Grund des Fukushima-Einsatzes beleuchtet. Außerdem wurden Szenarien schwerer Transportunfälle in Bezug auf ihre Erfordernisse für die Lagebewertung näher betrachtet. Auf Grund der Erfahrungen des Fukushima-Einsatzes wurde der Katalog für den Bedarf an optimierten Entscheidungshilfesystemen fortgeführt und mit der Recherche von Möglichkeiten zur Deckung des identifizierten Bedarfs begonnen. Die Skizzierung von Umsetzungsstrategien auf Basis bereits verfügbarer Entscheidungshilfesysteme wurde durchgeführt.

6. GEPLANTE WEITERARBEIT

Schwerpunktmäßig werden die im Arbeitspaket 2 (s. 4.2) erzielten Erkenntnisse im Arbeitspaket 3 (s. 4.3) zur Ableitung optimierter Maßnahmenpakete genutzt, um das Arbeitspaket 3 zeitnah abzuschließen. Im Arbeitspaket 4 (s. 4.4) wird schwerpunktmäßig die Einarbeitung der Maßnahmenkombinationen in den Maßnahmenkatalog EDV-technisch umgesetzt.

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 357.006,-
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 soll unter Berücksichtigung weiterer spezifischer Ereignisabläufe erweitert und ergänzt werden. Somit soll 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 BMU/BfS beizutragen.

Das Augenmerk hierbei liegt auf der Weiterentwicklung des bestehenden Szenarienkatalogs um zusätzliche Szenarien für in- und ausländische Vorkommnisse. Daneben sollen 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 soll dabei berücksichtigt werden. Zudem soll das Quelltermprognosetool QPRO in einem Szenario Anwendung finden. Das Szenario mit QPRO sowie ein weiteres neu erstelltes Szenario sollen jeweils in einer Übung angewendet werden.

2. EINZELZIELSETZUNG

Im Rahmen des Vorhabens werden Übungsszenarien zu radiologisch relevanten Themenbereichen, wie

- Ereignisablauf mit mehrfach wiederkehrenden Freisetzungen,
- Übung unter Verwendung des Quelltermprognosetools QPRO,
- Ereignis in einem ausländischen Kernkraftwerk (KKW),
- auslegungsüberschreitendes Ereignis in einer weiteren kerntechnischen Einrichtung (z. B. Forschungsreaktor, Einrichtung der kerntechnischen Industrie),
- Unfall bei Handhabung oder Transport radioaktiver Quellen und
- Notfallmanagement nach einem Wolkendurchzug

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

Neben einer Notfallübung unter Verwendung des Quelltermprognose-Tools QPRO am Beispiel einer Referenzanlage soll eine weitere Tabletop-Übung unter Verwendung eines weiteren im Vorhaben erstellten Szenariums erfolgen.

3. METHODIK

Für die Ausarbeitung von Szenarien werden zur Ermittlung der Quellterme und zur quantitativen Beschreibung der Ereignisabläufe entsprechend detaillierte Analysen der komplexen Unfallabläufe verwendet. Die Ableitung der Ereignisabläufe für Übungsszenarien stützt sich insbesondere für inländische Anlagen auf verfügbare Unfallanalysen mit dem integralen Rechenprogramm MELCOR. Ausgehend von den ermittelten Anlagenzuständen wird hergeleitet, welche Radionuklidfreisetzungen aus der Anlage stattfinden und welche Informationen zu welcher Zeit an die Behörde gemeldet werden können.

4. DURCHFÜHRUNG

4.1 AUFARBEITUNG DES STANDES VON WISSENSCHAFT UND TECHNIK

Die Aufbereitung des für das Vorhaben relevanten Standes von Wissenschaft und Technik bezieht 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 zugrunde liegen,
- bewährte Vorgehensweisen („Best Practices“).

Als Teil der Recherchen werden 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.

4.2 ERWEITERUNG DES SZENARIENKATALOGS

Der Szenarien katalog soll um folgende Übungsszenarien erweitert werden:

- Szenarien für Leistungsreaktoren
 - Wiederkehrende Freisetzung;
 - Verwendung von QPRO;
 - Ausländisches Kernkraftwerk;
 - Notfallmanagement nach Wolkendurchzug.
- Szenarien für andere kerntechnische Einrichtungen (z. B. Zwischenlager, Forschungsreaktoren etc.) und für den Umgang mit sonstigen radioaktiven Stoffen
 - Kerntechnische Einrichtung;
 - Handhabungs-/Transportunfall.

4.3 VORBEREITUNG, DURCHFÜHRUNG UND AUSWERTUNG VON NOTFALLSCHUTZÜBUNGEN

Im Vorhaben sollen zwei Übungen durchgeführt werden: Eine Stabsrahmenübung unter Verwendung des Quelltermprognosetools QPRO und eine Tabletop-Übung auf Grundlage der neu erarbeiteten Szenarien. Entsprechend der Zielsetzung werden die zu beteiligenden Organisationen vom Betreiber über die Landesbehörden bis zu den Bundesbehörden zusammengestellt, wobei überprüft wird, welche Behörden und Organisationen an der Übung beteiligt werden können; die nicht beteiligten Stellen werden entsprechend dem erforderlichen Umfang simuliert. Bei der Durchführung wird die Übungsleitung den Ablauf der Übung protokollieren und für die spätere Auswertung verfügbar machen. Zur weiteren Erfassung der Übungserfahrungen werden die Beobachter sowie die Übenden mit entsprechenden Fragebögen zur Erfassung der Erfahrungen ausgerüstet. Zur Übungsauswertung werden neben der im Laufe der Übung erstellten Dokumentation auch die Berichte der Beobachter sowie der Übenden ausgewertet und zu einem Erfahrungsbericht zusammengeführt.

5. ERGEBNISSE

Es wurden Recherchen zu Notfallschutzübungen im In- und Ausland sowie eine erste Auswertung dazugehöriger Unterlagen durchgeführt. Dabei wurde insbesondere Augenmerk auf Notfallübungen, die in Bezug zu den Erfahrungen von Fukushima stehen, gelegt. Zur Erarbeitung konkreter Szenarien für Leistungsreaktoren wurden anlagentechnische Abläufe und zugehörige Quellterme spezifiziert. Für das Szenario der kerntechnischen Einrichtung wurden Recherchen zu Forschungsreaktoren durchgeführt. Auch hierfür wurde ein Quellterm abgeleitet und eine erste Grobanalyse bezüglich der radiologischen Konsequenzen erstellt. In Vorbereitung der ersten Übung wurde begonnen, das Quelltermprognosetool QPRO anlagenspezifisch anzupassen.

6. GEPLANTE WEITERARBEIT

Die Erarbeitung von Szenarien wird gemäß dem Arbeitsplan fortgesetzt. Den Schwerpunkt im Jahre 2013 bilden die Vorbereitung, die Durchführung und die Auswertung von geplanten Notfallübungen auf der Grundlage der im Rahmen des Vorhabens entwickelten Szenarien. Hierzu werden auch Abstimmungen mit den beteiligten Institutionen durchgeführt.

Thema			
Weiterentwicklung der aero-gammaspektrometrischen Messsysteme des Bundesamtes für Strahlen-schutz (BfS) und Anpassung der Mess- und Auswerteverfahren an die Anforderungen des Notfallschutzes			
Subject			
<i>Development of the aero-gamma spectrometric measurement systems of the Federal Office for Radiation Protection (BfS) and adjusting the measurements and the evaluation of the measurements to the needs of the emergency management</i>			
Kennzeichen 3611S60013	Beginn 01.09.2011	Ende 30.09.2013	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 EC 135 der Bundespolizei eingebauten und vom Luftfahrtbundesamt zugelassenen rechnergestützten Messsysteme sind mit einem Germaniumdetektor und bis zu vier mit Thallium dotierten Natriumiodid-Detektoren (NaI(Tl)-Detektoren) ausgestattet und können im Sekundentakt Spektren aufnehmen. Während die NaI(Tl)-Detektoren mit ihrer hohen Effektivität vor allem zur geologischen Kartierung und zum Auffinden von Gammastrahlern eingesetzt werden, eignen sich die hochauflösenden Germaniumdetektoren für die nuklid-spezifische 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 ist es, den Einfluss dieser relevanten Parameter auf das Messergebnis durch Modellrechnungen und Kalibriermessungen zu bestimmen und für alle sich als wesentlich erweisenden Einflussgrößen ein weitestgehend automatisiertes Korrekturverfahren zu erstellen.

2. EINZELZIELSETZUNG

Das Vorhaben gliedert sich in mehrere Teile:

1. Berechnung von Geometriefaktoren,

d. h. des Verhältnisses von Flussdichte ungestreuter Photonen am Ort des Detektors zur Photonenquellstärke der betrachteten Flächen- bzw. Masseneinheit (abhängig von Photonenenergie E und Radionuklidverteilung V ; vgl. DIN 25462). Die vorgegebenen Radionuklidverteilungen beinhalten unebenes Gelände, unterschiedliche Ausdehnung von Kontaminationen am Boden, Bodenvegetation und Luftkontamination.

2. Kalibriermessungen

am im Hubschrauber eingebauten Messsystem mit Punktquellen für diskrete Einstrahlwinkel bei verschiedenen Tankfüllungen.

3. Erstellung eines Programms

zur Berechnung von Geometriefaktoren und in Verbindung mit den Ergebnissen aus Punkt 2 von Kalibrierfaktoren für das Gesamtsystem für die unterschiedlichen Modellannahmen.

4. Entwicklung von Methoden

zur Optimierung der Anwendbarkeit eines Aero-Gammaspektrometers im Hinblick auf vorhandene Luftkontaminationen, Berechnung der charakteristischen Grenzen (DIN ISO 11929) und die Suche von Quellen.

3. METHODIK

Es wird zuerst das Programm entwickelt und mit diesem werden dann die Geometriefaktoren berechnet. Die Kalibrierung erfolgt an einem Hubschrauber des Typs EC 135 im Hangar der Bundespolizei in Oberschleißheim. Mit den Ergebnissen aus diesen Schritten wird mit Hilfe des erstellten Programms die Optimierbarkeit des Aero-Gammaspektrometers untersucht werden.

4. DURCHFÜHRUNG

4.1 ERSTELLUNG DES PROGRAMMS UND BERECHNUNG DER GEOMETRIEFAKTOREN

Es wurde ein hinreichend allgemeines Geometriemodell für die Verteilung von Aktivität und absorbierender Materie gewählt. Dieses dient 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 orografischen 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 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 kostenlos verfügbaren Programmiersprache PYTHON implementiert. Obwohl es sich hierbei um eine Interpretersprache handelt, welche prinzipiell erst einmal zu langsameren Programmen führt, wurde diese 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.

In das Programm wurden die vorgegebenen Szenarien für die Bodenkontaminationen, Gelände und Vegetation eingegeben und die jeweiligen Geometriefaktoren berechnet.

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, die sich sowohl im unteren als auch im oberen Halbraum im Abstand von 3 m zum Mittelpunkt der Symmetrieachsen der vier NaI(Tl)-Detektoren befanden, ermittelt. Dabei war der sich unter den Detektoren befindende Tank des Hubschraubers zu einem Drittel gefüllt. Die Messpunkte im unteren Halbraum lagen 20 Grad, im oberen Halbraum 30 Grad auseinander. 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 auf Grund der Masse der Messeinrichtung nicht möglich.

Aus den Kalibrierdaten lässt sich die Ausbeutekorrekturfunktion durch die erstellte Software sowohl entlang des Raumwinkels als auch über den Füllstand des Tanks interpolieren.

5. ERGEBNISSE

Es wurde das Programm zur Ermittlung der Geometriefaktoren erstellt und diese für einzelne Beispiele von Bodenkontaminationen, Geländeformen und Vegetation berechnet. Die Ergebnisse stimmen bei den für Vergleiche geeigneten Verteilungen mit denen mit Hilfe anderer Methoden (DIN 25462, Tabellenwerte, andere Programme) ermittelten Ergebnissen überein. Mit den ersten Kalibriermessungen wurde die Anwendbarkeit der Methode gezeigt.

6. GEPLANTE WEITERARBEIT

Die nächsten anstehenden Aufgaben beinhalten die Erstellung einer grafischen Benutzeroberfläche für das Programm, weitere Kalibriermessungen am Hubschrauber zur Verbesserung der Ergebnisse, die Berechnung der Kalibrierfaktoren für das Gesamtsystem und die Bearbeitung des Einzelziels 4 mit Hilfe der Resultate der Geometrie- und Kalibrierfaktoren.

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 3611S70004	Beginn 01.01.2012	Ende 30.05.2014	Fördermittel EUR 225.171,-
Forschungs- / Auftragnehmer ESN Sicherheit und Zertifizierung GmbH, Schwentimental			
Projektleitung B. Matzig	Fachbetreuung BfS N. Zander / SW 2.2	verantwortlich für den Text O. Staack	

1. ZIELSETZUNG

Im Rahmen des Vorhabens soll ein webbasiertes Forum mit dem Ziel geschaffen werden, die Bevölkerung mit dem Thema „nuklearer Notfallschutz“ und den damit verbundenen Feldern vertraut zu machen. Dabei sollen die Möglichkeiten einer modernen Webanwendung (z. B. Interaktivität) eingesetzt und der tatsächliche Nutzen der Technologien und Verfahren anhand eines Experiments ermittelt werden. Das Experiment stellt dabei ein Benutzertest der realisierten Webanwendung dar. Die Ergebnisse sollen schließlich genutzt werden, um Vorschläge zur Optimierung der Kommunikationsstrategien von Behörden in den genannten Gebieten auszuarbeiten. Im Mittelpunkt stehen dabei die Bevölkerung und der Nutzen, den sie aus einem derartigen Angebot ziehen kann.

2. EINZELZIELSETZUNG

Die Zielsetzung soll im Wesentlichen in den nachfolgend beschriebenen Schritten erreicht werden.

- Analyse bestehender deutscher und internationaler Informationsportale:

In einem ersten Arbeitspaket wurden im Jahr 2012 die Webangebote von Behörden mit Aufgaben im nuklearen Notfallschutz und verwandten Gebieten untersucht. In den Blick genommen wurden dabei sowohl technische Aspekte der Angebote als auch administrative und inhaltliche Gesichtspunkte. Untersucht wurden deutsche Behörden auf Kreis-, Landes- und Bundesebene und internationale Behörden.

- Technische und inhaltliche Realisierung einer Webanwendung mit dahinter liegender Datenbank:

Derzeit befindet sich, unter Einbeziehung der Erkenntnisse des ersten Arbeitspaketes, eine Datenbank in der Entwicklung, in der die Erkenntnisse aus dem ersten Arbeitspaket einfließen und die Grundlage für die im späteren Experiment zu untersuchende Webanwendung darstellt.

- Erprobung der Webanwendung im Experiment und Ableitung von Optimierungspotenzial

3. METHODIK

Im Rahmen der Entwicklung und Ausgestaltung der Webanwendung wird auch das Konzept für das Experiment erarbeitet und die Testgruppe festgelegt.

4. DURCHFÜHRUNG

Im ersten Halbjahr 2012 wurden an insgesamt 33 deutsche Behörden und 26 internationale Institutionen Fragebögen verschickt. Die Auswahl umfasste dabei eine mit dem Auftraggeber abgestimmte Liste von Einrichtungen, deren Tätigkeiten im Bereich Katastrophenschutz in der Umgebung kerntechnischer Anlagen, Strahlenschutzvorsorge, Atomaufsicht oder Umweltradiologie liegen. Die Fragebögen beinhalteten sowohl technische als auch administrativ-organisatorische Aspekte zu den Webangeboten dieser Einrichtungen.

Derzeit befindet sich eine Datenbank in der Entwicklung, in die die Erkenntnisse aus dem ersten Arbeitspaket einfließen und welche die Grundlage für die im späteren Experiment zu untersuchende Webanwendung darstellt. Im 4. Quartal 2012 wurde mit der Arbeit an der Datenbank begonnen.

5. ERGEBNISSE

Das erste Arbeitspaket hat gezeigt, dass die meisten Behörden im In- und Ausland im Allgemeinen keine oder nur sehr wenige Interaktionsmöglichkeiten in ihren Webangeboten bereitstellen, sondern ihre Informationen auf einem Informationsweg ohne Rückkanal (z. B. durch Texte, Bilder und ggf. zusätzliche Dokumente) präsentieren. Das bedeutet, dass die Einbeziehung derartiger Technologien und der Nutzen für den Anwender umfangreich getestet werden muss.

6. GEPLANTE WEITERARBEIT

Derzeit befindet sich die für die Webanwendung zugrundeliegende Datenbank in der Entwicklung. Sie wird zunächst in einem Betastadium in einem Zwischenbericht beschrieben. Im Rahmen der Entwicklung der darauf aufbauenden Webanwendung werden dann weitere Anpassungen vorgenommen. Schließlich wird im 3. und 4. Quartal 2013 das Experiment durchgeführt. Die Ergebnisse der Auswertung des Experiments werden dann im Jahr 2014 vorgelegt.

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 - DIN			
Subject <i>Revision of technical radiation protection standards in the range of the Materials Testing Standards Committee (NMP) - Batch 1 - DIN</i>			
Kennzeichen 3611S20005	Beginn 01.09.2011	Ende 31.08.2014	Fördermittel EUR 221.595,-
Forschungs- / Auftragnehmer DIN Deutsches Institut für Normung e. V., Berlin			
Projektleitung V. Seibicke	Fachbetreuung BfS U. Häusler/ AG-SG 2.5		verantwortlich für den Text M. Treige

1. ZIELSETZUNG

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

2. EINZELZIELSETZUNG

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

- DIN (Deutsche Industrie Norm) 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 soll die frühzeitige und direkte Mitwirkung von deutschen Experten bei der internationalen Normung im Bereich „Strahlenschutz“ sichergestellt werden.

3. METHODIK

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

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

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

Die jeweiligen Norm-Entwürfe werden mit einer Einspruchsfrist von 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 Arbeitsausschuss beim DIN eingereicht und als Norm veröffentlicht.

Um die Mitarbeit von deutschen Experten in internationalen Normungsgremien (IEC (International Electrotechnical Commission), ISO (International Organization for Standardization)) und den entsprechenden Ar-

beitsausschüssen 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 wird in folgenden Schritten durchgeführt:

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

5. ERGEBNISSE

5.1 DIN 25415-1

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 umbenumbenommen und der Titel dem Inhalt der Norm angepasst, um zu betonen, dass nicht ein Verfahren zur Dekontamination festgelegt wird, sondern eine Festlegung der Dekontaminierbarkeit. Er lautet nun:

DIN 25415 - Radioaktiv kontaminierte Oberflächen - Verfahren zur Prüfung und Bewertung der Dekontaminierbarkeit

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

5.2 DIN 25466

DIN 25466:1995-10 entsprach nicht mehr dem Stand der Technik und wurde überarbeitet. 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

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 Strahlenschutzverordnung (StrlSchV) und weitere Änderungen im Normenbestand des DIN und des KTA (Kerntechnischer Ausschuss)-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.

5.3.2 DIN 25407-2

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 Normen-

bestand 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

DIN 25407-3 und das zugehörige Beiblatt wurden im Rahmen der Überarbeitung anderer Normen überprüft und überarbeitet. Die Überarbeitung ist abgeschlossen. DIN 25407-3 ist mit Ausgabe November 2011 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

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 Norm ist mit Ausgabe Juli 2012 erschienen. DIN 25400:1991-02 ist damit zurück gezogen.

5.5 NORMEN DER REIHE DIN 25412

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 soll. Diese wird Anfang 2013 tagen. Im Rahmen der Überarbeitung sollen beide Teile zusammengeführt werden und die Dichtheitsprüfung in den Vordergrund gestellt werden. Unter diesem Aspekt wurden erneut die Hersteller von Handschuhkästen bzgl. einer Mitarbeit befragt. Es konnten dadurch neue Experten für die Mitarbeit gewonnen werden, die in die Arbeitsgruppe einbezogen werden. Mit einem Entwurf ist Ende 2013 zu rechnen.

5.6 NORMEN DER REIHE DIN 25413

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. DIN 25413-1 und DIN 25413-2 werden mit Ausgabe April 2013 erscheinen.

5.7 DIN 25401-8 UND DIN 25401-9

DIN 25401-8 und DIN 25401-9 wurden überprüft und 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, wurde eine Veröffentlichung auf CD beschlossen, um eine bessere Anwendbarkeit zu ermöglichen. Ein entsprechender Antrag wurde von der Geschäftsleitung des DIN genehmigt. Derzeit erfolgt die Anpassung der Manuskripte an die neuen Regelungen für Begriffsnormen. Mit einer Veröffentlichung ist Mitte 2013 zu rechnen.

6. GEPLANTE WEITERARBEIT

Die Arbeiten an den Normen DIN 25413 (Teile 1 und 2), DIN 25415, DIN 25430, DIN 25466 und DIN 25407 (Teile 1, 2 und 3) wurden abgeschlossen. Die Überarbeitung von DIN 25412 (Teile 1 und 2) und DIN 25401 (Teile 8 und 9) wird auf den anstehenden Sitzungen fortgeführt, wobei bei DIN 25412 noch weitere Anstrengungen unternommen werden müssen, um genügend interessierte Experten in die Arbeit einzubinden.

Thema			
Messtechnische und theoretische Abschätzung des Eintrags von I-131 in die OSPAR-Regionen auf Grund der nuklearmedizinischen Anwendungen von Radioiod in Deutschland			
Subject			
<i>Measurements and modelling of I-131 fluxes from nuclear medical applications in Germany into the OSPAR region</i>			
Kennzeichen 3611S70013	Beginn 10.08.2011	Ende 31.08.2013	Fördermittel EUR 180.642,-
Forschungs- / Auftragnehmer			
Nuclear Control & Consult GmbH, Braunschweig Universität Bremen, Institut für Umwelphysik, Bremen			
Projektleitung Dr. R. Gellermann, Dr. H. Fischer	Fachbetreuung BfS Dr. C. Strobl / SW 1.4	verantwortlich für den Text Dr. R. Gellermann, Dr. H. Fischer	

1. ZIELSETZUNG

Die Anwendung von Radioiod (I-131) ist ein verbreitetes Standardverfahren in der nuklearmedizinischen Therapie. Zwar werden in Deutschland die Patienten zur Durchführung der Therapie stationär aufgenommen und die anfallenden Abwässer in Abklinganlagen gesammelt, allerdings können Patienten unterhalb einer Körperaktivität von 250 MBq I-131 entlassen werden. Ein Teil der restlichen Aktivität wird von den entlassenen Patienten ausgeschieden und gelangt dann über die Kanalisation in Kläranlagen und Gewässer. Im Rahmen von IMIS (Integriertes Mess- und Informationssystem)-Messungen wird dieses I-131 bundesweit regelmäßig im Ablauf von Kläranlagen nachgewiesen.

Gemäß dem OSPAR-Abkommen obliegt es der Bundesregierung, den jährlichen Eintrag von I-131 in den Nordatlantik aus deutschen Fließgewässern zu ermitteln und zu berichten. Des Weiteren haben sich die Mitgliedstaaten dazu verpflichtet, auch Einträge radioaktiver Stoffe infolge nuklearmedizinischer Anwendungen zu quantifizieren. Ziel des hier berichteten Vorhabens ist es, den aktuellen Stand zu den Ableitungen von I-131 sowohl aus nuklearmedizinischen Einrichtungen als auch aus diffusen Einträgen entlassener Radioiod-Patienten in die Flusssysteme von Rhein, Elbe, Main, Weser, Ems und Neckar und den derzeitigen Stand bei der Modellierung des Transports von Radioiod in den Flusssystemen zu ermitteln und zu dokumentieren.

2. EINZELZIELSETZUNG

Die Aufgabe umfasst folgende Teilleistungen:

- Aufarbeitung des relevanten Standes von Wissenschaft und Technik (Arbeitspaket 1);
- Modellierung der Transportprozesse von I-131 in Fließgewässern und Ermittlung der in den Nordostatlantik (OSPAR-Region) von deutscher Seite eingeleiteten I-131 Gesamtaktivität (Arbeitspaket 2).
- Validierung der Modellprognosen durch Messungen an mindestens vier der oben angeführten Flusssystemen (Arbeitspaket 3).

3. METHODIK

3.1 MODELLIERUNG DER TRANSPORTPROZESSE

Ausgehend vom Ziel des Projektes, die von deutscher Seite in den Nordostatlantik eingeleitete I-131 Gesamtaktivität zu ermitteln, wurde ein spezielles Bilanzmodell „OSBIMO“ entwickelt, mit dem die für eine Jahresbilanz relevanten Prozesse

- Abfluss im betrachteten Flusslauf mit Zumischung von Nebenflüssen, Einleitungen von Kläranlagen, Austausch Flusswasser - Grundwasser;
- Schwebstofftransport mit Sedimentation, Erosion und Verteilung der gelösten bzw. schwebstoffgebundenen Fraktion von I-131;

- Konvektiver Transport von I-131 sowie radioaktiver Zerfall, Quermischung im Gewässer und eine Sorption von I-131 (z. B. an Biofilmen);

modelliert werden können.

3.2 MESSMETHODEN

Als Nachweisverfahren wurde die Gammaskopie gewählt und I-131 über die 364 keV-Gammaemissionslinie detektiert. Wegen der geringen I-131-Konzentrationen im Flusswasser wurde abweichend vom Standardverfahren zur Messung von I-131 im Wasser ein eigenes Verfahren, bei dem Probenvolumina von 50 l analysiert werden, entwickelt und angewendet. Durch Anreicherung mittels Bentonitfällung und längere Messzeiten wird die Erkennungsgrenze um Faktor 10 reduziert und liegt unter 1 mBq/l; bei Direktmessung von Probenvolumina von 5 l ohne Anreicherung werden etwa 10 mBq/l erreicht.

4. DURCHFÜHRUNG

Seit Mitte 2012 werden die in die Nordsee mündenden großen deutschen Flüsse Elbe, Weser, Ems und Rhein sowie ausgewählte an diesen Flüssen gelegene Kläranlagen (Magdeburg-Gerwisch, Bremen-Seehausen, Lingen und das Emscherklärwerk Dinslaken) monatlich beprobt. Das ursprünglich geplante Untersuchungsprogramm wurde nach Vorliegen erster Messbefunde modifiziert. Die Untersuchung von Sedimenten wurde zu Gunsten der aussagekräftigeren Analyse von Wasserproben reduziert. Bis Ende 2012 wurden insgesamt 44 Sedimentproben, 51 Flusswasserproben und 24 Wasserproben aus Klärwerken entnommen und analysiert.

Zur Charakterisierung der Flüsse wurden im Regelfall zwei Proben quer zum Abflussprofil entnommen, um Effekte von Einleitstellen, die sich mit Ausnahme der Einleitung Magdeburg-Gerwisch (Einleitung in Strommitte) an einer Uferseite befinden, erfassen zu können. Außerdem wurde abwechselnd der Anstrom und Abstrom der jeweils untersuchten Kläranlagen so nahe wie möglich an den Einleitstellen beprobt.

5. ERGEBNISSE

5.1 ERMITTLUNG VON BASISDATEN

Die im AP1 durchgeführten Auswertungen und Recherchen zeigten, dass im Einzugsgebiet der hier betrachteten Flüsse 79 Kliniken Radioiodtherapien durchführen. In diesen Kliniken wurden im Jahr 2009 ca. 28700 Fälle behandelt. Dabei können nach Schlüsselnummern der Krankenkassen 3 Kategorien unterschieden werden:

8-531.0: bis zu 1,2 GBq;

8-531.1: 1,2 GBq bis 5 GBq;

8-531.2: mehr als 5 GBq.

Exakte Informationen über die Häufigkeit, mit der diese Kategorien vorkommen, konnten nicht erhalten werden. Um eine grobe Abschätzung der Gesamtaktivität des applizierten I-131 vorzunehmen, wurde mit einer geschätzten mittleren Aktivität je Applikation von 1,4 GBq gerechnet. Damit erhält man als Jahreswert der Gesamtaktivität einen Wert von ca. 40 000 GBq. Die Recherchen ergaben, dass Behandlungen im Ausland für diese Bilanz als vernachlässigbar eingestuft werden können.

5.2 MESSERGEBNISSE

Für den Kläranlagenablauf wurden bisher Messwerte im Bereich 30 bis 500 mBq/l ermittelt. Sie liegen damit im Wertebereich früherer eigener Messungen und den aus IMIS bekannten Werten. Die Konzentrationen im Flusswasser sind entsprechend der Verdünnung der Abwässer um mehrere Größenordnungen niedriger. Sie liegen im Bereich weniger mBq/l oder noch darunter und damit nahe an der apparativen Erkennungsgrenze.

Die Messergebnisse der Flusswasseruntersuchungen im Jahr 2012 sind in Tabelle 1 zusammengestellt. Sie zeigen, dass das Konzentrationsniveau von I-131 in allen Flüssen mit Ausnahme der Ems bei weniger als 2 Bq/m³ liegt.

Tabelle 1:
Messergebnisse von Flusswasser („Grau“ - Probenahme im Anstrom zur Kläranlage; „Weiß“ - Probenahme (PN) im Abstrom zur Kläranlage)

	I-131 in Bq/m ³ (mBq/l)							
Monat/Jahr	Elbe		Weser		Ems		Rhein	
	Magdeburg		Bremen		Lingen		Duisburg / Wesel	
Einleitstelle	Strommitte		Links (West)		Rechts (Ost)		Rechts (Ost)	
Stromseite PN	Rechts	Links	Rechts	Links	Rechts	Links	Rechts	Links
07/12	<0,87	<0,79	<3,82	<2,54	<4,1	<3,7	<1,64	<1,83
08/12	<0,94	<1,11	<1,07	<1,18	4,33	2,35	1,25	1,74
09/12	1,96	1,15	1,01	0,7	4,06	3,3	1,25	
10/12	<0,56	<0,34	4,11	5,51	1,58	1,58	0,88	1,22
11/12	<1,19	<1,19	<0,65	1,47	8,30	2,23	4,01	1,74
12/12			<0,57	1,47	3,55	2,76	2,10	<0,96
Mittel (+)	0,4 ...1,2	0,2 ...1,0	0,9 ...1,8	1,5 ...2,1	3,6 ...4,3	2,0 ...2,6	1,6 ...1,9	1,0 ...1,5

(+) der angegebene Wertebereich ergibt sich aus den arithmetischen Mittelwerten der beiden Rechenvarianten: Werte < Erkennungsgrenze = 0 oder Werte < Erkennungsgrenze = Erkennungsgrenze

6. GEPLANTE WEITERARBEIT

Die regelmäßigen Probenahmen und Messungen, mit denen die Modellprognosen geprüft werden sollen, werden bis Juni 2013 fortgeführt. Parallel dazu wird das Modellsystem OSBIMO weiterentwickelt und durch Vergleich mit den verfügbaren Messergebnissen zur Ermittlung repräsentativer Bilanzen genutzt.

Thema			
Untersuchung des Einflusses von intrakorporalen Feldkomponenten an Gewebegrenzschichten bei der numerischen Bestimmung induzierter Feldstärkeverteilungen in hoch aufgelösten realistischen Computermodellen zu Überprüfung der Einhaltung von Grenzwerten			
Subject			
<i>Investigation of the influence of intra-corporal field components at tissue interfaces during numerical determination of induced field strength distributions in realistic high resolution body models for testing compliance with safety limits</i>			
Kennzeichen 3611S70017	Beginn 01.07.2011	Ende 31.08.2012	Fördermittel EUR 155.700,-
Forschungs- / Auftragnehmer			
Seibersdorf Labor GmbH, A-1444 Seibersdorf, Österreich			
Projektleitung G. Schmid	Fachbetreuung BfS D. Geschwentner / AG-SG 1.2	verantwortlich für den Text G. Schmid	

1. ZIELSETZUNG

Im Rahmen dieses Vorhabens soll geklärt werden, ob bzw. in welchem Maße die in den gegenwärtig geltenden Regelungen zum Schutz von Personen in niederfrequenten elektromagnetischen Feldern vorgesehenen Limits für die äußeren elektrischen und magnetischen Feldstärken im Hinblick auf die von der Internationalen Kommission zum Schutz vor nichtionisierender Strahlung (ICNIRP) 2010 veröffentlichten Basiswerte für die intrakorporale elektrische Feldstärke (Ei) konservativ sind. Dies soll unter Einbeziehung unterschiedlicher Auswertemethoden (Maximalwerte, Raummittelwerte, Perzentile) und bei besonderer Betrachtung der Verhältnisse an Gewebegrenzschichten erfolgen.

2. EINZELZIELSETZUNG

Bei der Bearbeitung des Vorhabens werden folgende Einzelzielsetzungen verfolgt:

2.1 AUFARBEITUNG DES GEGENWÄRTIGEN KENNTNISSTANDES

Die in den gegenwärtig relevanten Dokumenten definierten Beurteilungsgrößen sowie die dafür gängigen Bewertungsmethoden (Mittelungsmethoden) sind vergleichend gegenüberzustellen und der wissenschaftliche Kenntnisstand bezüglich der relevanten elektrischen Gewebeeigenschaften im Niederfrequenzbereich (bis 10 MHz) soll erhoben und dokumentiert werden. Des Weiteren sind eine Synopse der gegenwärtig auf europäischer und deutscher Ebene geltenden Regelwerke im Hinblick auf die Begrenzung der Exposition von Personen in niederfrequenten elektromagnetischen Feldern zu erstellen sowie Recherchen bezüglich praktisch relevanter Feldquellen, die ausgeprägte Teilkörperexpositionen verursachen, durchzuführen.

2.2 UNTERSUCHUNG DER VERHÄLTNISSSE IN GANZKÖRPER-EXPOSITIONSSZENARIEN

Auf Basis von im Vorfeld zu entwickelnden unterschiedlichen Mittelungs- und Bewertungsstrategien sollen Szenarien bei homogener Ganzkörperexposition gegenüber elektrischen, magnetischen und kombiniert elektrischen und magnetischen Feldern im Frequenzbereich bis 10 MHz analysiert werden. Es soll damit untersucht werden, ob bzw. in wie weit die in der EU-Ratsempfehlung 1999/519/EG definierten Referenzwerte für die äußeren Feldstärken zur Ausschöpfung der von ICNIRP 2010 definierten Basiswerte führen. Für 16 2/3 und 50 Hz entsprechen die Referenzwerte in Deutschland geltenden Grenzwerten (26. Verordnung zum Bundesimmissionsschutzgesetz).

2.3 UNTERSUCHUNGEN BEI AUSGEPRÄGTER TEILKÖRPER-EXPOSITION

Zusätzlich zu den oben beschriebenen Ganzkörperexpositionsszenarien soll auch für ausgewählte und praktisch relevante Situationen mit ausgeprägter Teilkörperexposition bei komplexer und stark inhomogener Feldverteilung untersucht werden, ob bzw. in wie weit die von ICNIRP 2010 definierten Basiswerte ausgeschöpft werden können. Die Feldverteilungen sollen denen von elektrisch betriebenen Verbraucherprodukten ent-

sprechen, bei denen hohe Expositionen erwartet werden können (z. B. Bohrmaschine). In einem Beispiel soll die Feldverteilung so gewählt werden, wie sie über einer Erdkabeltrasse der Hochspannungsebene auftritt.

2.4 UNTERSUCHUNG DES EINFLUSSES VON GEWEBEPARAMETERN

Da in den Empfehlungen von ICNIRP 2010 hinsichtlich der räumlichen Mittelung der induzierten intrakorporalen elektrischen Feldstärke für die Retina und die Haut eine im Vergleich zu den anderen Geweben unterschiedliche Vorgehensweise empfohlen wird, sollen hier schließlich detaillierte numerische Berechnungen im Hinblick auf die Verhältnisse in der Retina und der Haut durchgeführt werden, wobei insbesondere auch der Einfluss von Variationen der dielektrischen Gewebeeigenschaften von Haut und Retina, sowie umgebenden Geweben analysiert werden soll.

3. METHODIK

Die Untersuchungen werden unter Verwendung neuester und leistungsstarker Computersimulations-Hard- und Software sowie hochaufgelöster anatomischer Körpermodelle durchgeführt. Als Berechnungsmethode hat sich die frequenzskalierte FDTD (Finite Difference Time Domain)-Methode als am besten geeignet erwiesen. Homogene Ganzkörperbefeldung wird mittels gegenläufiger ebener Wellen modelliert, ideale Erdungsbedingungen der Körpermodelle durch Anwendung des Spiegelungsprinzips. Die Analysen bei ausgeprägter Teilkörperexposition erfolgen für realistische externe Feldverteilungen, wie sie beim Gebrauch von Elektrogeräten bzw. bei realistischen Expositionen in der Nähe von Energieversorgungsanlagen auftreten. Als Grundlage für die numerische Modellierung dieser externen Feldverteilungen dienen Messungen an realen Geräten bzw. realen Anlagen bzw., falls in hinreichender Qualität vorhanden, auch in der wissenschaftlichen Literatur verfügbare Messergebnisse aus früheren Arbeiten.

4. DURCHFÜHRUNG

4.1 AUFARBEITUNG DES GEGENWÄRTIGEN KENNTNISSTANDES

Die Bestandsaufnahme hinsichtlich der gegenwärtig verwendeten Beurteilungsgrößen und -methoden sowie der geltenden Regelwerke auf europäischer und deutscher Ebene wurde abgeschlossen und im ersten Zwischenbericht zum Vorhaben dokumentiert.

4.2 UNTERSUCHUNG DER VERHÄLTNISSE IN GANZKÖRPER-EXPOSITIONSSZENARIEN

Die Entwicklung und Validierung unterschiedlicher Mittelungsmethoden bzw. Bewertungsgrößen sowie die Berechnungen für homogene Ganzkörperexposition wurden abgeschlossen und die Ergebnisse im zweiten Zwischenbericht zusammengefasst.

4.3 UNTERSUCHUNGEN BEI AUSGEPRÄGTER TEILKÖRPEREXPOSITION UND EINFLUSS VON GEWEBEPARAMETERN

Als Feldquellen für die Berechnungen für Teilkörperexposition werden betrachtet: Bohrmaschine, Induktionsherd, Elektroschweißgerät, Magnetfeldmatte, Energiesparlampe, Elektroschmelzofen, Erdkabeltrasse.

5. ERGEBNISSE

Die Ergebnisse zeigen zunächst, dass die Verwendung von Perzentilen der induzierten intrakorporalen Feldstärke für den Vergleich mit den Basiswerten untauglich ist, da es, insbesondere bei lokal konzentrierten Feldstärkeüberhöhungen, zu einer systematischen Verwerfung real auftretender Expositionsmaxima kommen kann. Die ursprüngliche Begründung für die Verwendung von Perzentilen verliert mit feiner werdender räumlicher Auflösung des Rechenraums zunehmend ihre Gültigkeit. Als bestgeeignete Beurteilungsgröße wurde der Maximalwert der strikt würfelförmig über $2 \times 2 \times 2 \text{ mm}^3$ gemittelten intrakorporalen elektrischen Feldstärke identifiziert.

Bezüglich der induzierten Feldstärke in Geweben des Zentralnervensystems im Kopf ergeben sich mit diesem Mittelungsalgorithmus bei Exposition mit einem homogenen magnetischen Feld und Feldstärken in Höhe der Referenzwerte nach den ICNIRP-Empfehlungen 2010 keine Hinweise auf eine Überschreitung der Basiswerte. Da die geltenden Grenzwerte für magnetische Felder gemäß 26. BImSchV bei 16,7 Hz bzw. 50 Hz iden-

tisch mit bzw. geringer als die genannten Referenzwerte sind, sind auch diese Grenzwerte als konsistent mit den aktuell empfohlenen Basiswerten anzusehen.

Bei homogener elektrischer Befeldung weisen die Ergebnisse jedoch auf geringfügige Überschreitungen (bis zu ca. einem Faktor 1,5) der Basiswerte im Frequenzbereich von ca. 15 bis 70 Hz hin, womit auch die Konsistenz der Grenzwerte für die elektrische Feldstärke mit den aktuell empfohlenen Basiswerten als nicht gegeben angesehen werden muss.

Bezüglich der intrakorporalen elektrischen Feldstärke in der Haut (gemäß ICNIRP 2010 als Maß für die Beurteilung der Exposition von peripherem Nervengewebe heranzuziehen) zeigen die Berechnungen eine starke Abhängigkeit von der bei den Berechnungen verwendeten Hautleitfähigkeit. Bei Verwendung von Leitfähigkeitswerten, wie sie aus gegenwärtig verfügbaren Gewebeparameter-Datenbanken ableitbar, jedoch nicht repräsentativ für Hautschichten mit peripheren Nervenstrukturen sind, ergeben sich erhebliche Überschreitungen der Basiswerte (mehr als Faktor 10 im Frequenzbereich unterhalb von 100 kHz). Die Frage nach einer repräsentativen Leitfähigkeit für die Haut erscheint daher dringend klärungsbedürftig.

6. GEPLANTE WEITERARBEIT

Neben den noch ausstehenden Berechnungen für ausgewählte Szenarien mit Teilkörperexposition erfolgt abschließend eine Analyse der Verhältnisse in Haut und Retina unter Berücksichtigung der Variation der dielektrischen Gewebeeigenschaften. Eine ausführliche Diskussion aller Ergebnisse sowie die sich daraus aus strahlenschutztechnischer Sicht in der Praxis ergebenden Konsequenzen bildet den Abschluss der Arbeiten.

Thema			
Machbarkeitsstudie zum Aufbau einer Geburtskohorte und zur Überprüfung genetischer Prädisposition bei kindlichen Leukämien (Prospektive Forschungsansätze)			
Subject			
<i>Feasibility study for establishing a birth cohort and for testing genetic predisposition to childhood leukaemia</i>			
Kennzeichen 3611S70020	Beginn 01.01.2012	Ende 31.03.2013	Fördermittel EUR 277.755,-
Forschungs- / Auftragnehmer			
Leibniz-Institut für Präventionsforschung und Epidemiologie - BIPS GmbH			
Unterauftragnehmer/Kooperation:			
Krankenhaus St. Joseph Stift Bremen			
José Carreras Stammzellbank, Universitätsklinikum Düsseldorf			
Projektleitung Prof Dr. H. Zeeb	Fachbetreuung BfS Dr. A. Dehos / AG-SG 1.4	verantwortlich für den Text S. Ernst, K. Günther	

1. ZIELSETZUNG

Die wesentlichen Ziele dieser Machbarkeitsstudie umfassen

- die Erstrekrutierung für eine Geburtskohorte (80-100 Mutter-Kind-Paare) und die Prüfung der Bereitschaft werdender Mütter, sich vorgeburtlich in Bezug auf mögliche Risikofaktoren für Leukämien im Kindesalter befragen zu lassen sowie
- die Erforschung der Bereitschaft, zum Zeitpunkt der Geburt Nabelschnurblutproben und venöses Blut der Mutter in einer entsprechenden Stammzellbank asservieren zu lassen und für spätere Forschungsaktivitäten zur Verfügung zu stellen. Darüber hinaus werden Empfehlungen für eine deutsche Geburtskohorte für die Erforschung der Ursachen für Leukämie im Kindesalter mit Sammlung und Untersuchung von Nabelschnurblut erarbeitet.

2. EINZELZIELSETZUNG

Das Projekt umfasst insgesamt fünf Arbeitspakete (AP):

- Aufarbeitung des relevanten Standes von Wissenschaft und Technik (AP 1)
 - Stand des Wissens: Geburtskohorten (AP 1.1);
 - Stand des Wissens: Nabelschnurblutentnahme (AP 1.2);
 - Stand des Wissens: Risikofaktoren für Leukämien (AP 1.3);
- Planung zur Durchführung der Machbarkeitsstudie (AP 2)
 - Vorbereitungen zur Rekrutierung von werdenden Müttern (AP 2.1);
 - Entwicklung von Instrumenten (AP 2.2);
 - Datenhaltung (AP 2.3);
- Klärung der datenschutzrechtlichen und ethischen Fragen (AP 3);
- Datenerhebung (AP 4)
 - Rekrutierung von werdenden Müttern (AP 4.1);
 - Entnahme von Nabelschnurblut (AP 4.2);
 - Transport, Verarbeitung und Asservierung von Proben (AP 4.3);
- Datenanalyse und Erarbeitung von Empfehlungen für eine deutsche Geburtskohorte für die Erforschung der Ursachen für Leukämie im Kindesalter mit Sammlung und Untersuchung von Nabelschnurblut (AP 5).

3. METHODIK

In AP 1 wurde der relevante aktuelle Stand von Wissenschaft und Technik aufgearbeitet. Dieser umfasst folgende drei Themenkomplexe:

- Stand des Wissens zu weltweit laufenden bzw. sich konkret in Planung befindlichen Geburtskohorten.
Einschlusskriterien:
 - Beginn der Geburtskohorte präkonzeptionell, während der Schwangerschaft oder bei Geburt des Kindes,
 - mindestens ein Follow-up-Zeitpunkt mit einem direkten Kontakt zu den eingeschlossenen Müttern oder Kindern sowie
 - die Geburtskohorten sollten mindestens eine Studienpopulation von 1.000 Mutter-Kind-Paaren aufweisen. Gezielte Kontaktaufnahme zu einer Reihe von Wissenschaftler/innen.
- Literaturreview zum Stand des Wissens zu Entnahme und Asservierung von Nabelschnurblut. Enger Kontakt zu der Leiterin und den Mitarbeitern der Stammzellbank in Düsseldorf, die Partner in diesem Projekt sind und über große Erfahrung in diesem Bereich verfügen.
- Stand des Wissens zu Risikofaktoren für Leukämien im Kindesalter. Literaturrecherche ausschließlich in der medizinisch elektronischen Datenbank Pubmed. Recherchestrategien:
 - „Review von Reviews“ für den Veröffentlichungszeitraum 01.01.2000-31.12.2011. Die Bewertung und Selektion der Literaturstellen erfolgte durch zwei unabhängige Reviewer.
 - Systematische Literaturrecherche für den aktuellen Zeitraum 01.01.2010 bis zum Recherchetag zu neueren Erkenntnissen zu Risikofaktoren für Leukämien im Kindesalter. Entsprechend bisher nicht berücksichtigte Risikofaktoren bzw. Faktorenkomplexe wurden mit in die Kurzbeschreibung des Berichts eingeschlossen.

In AP 2 „Planung zur Durchführung der Machbarkeitsstudie“ wurden alle Voraussetzungen für die Rekrutierung von werdenden Müttern, für die Datenerhebung und -haltung (z. B. Entwicklung des Fragebogens, der Studieninformationen, sowie Programmierung von verschiedenen Datenbanken) sowie die Logistik für die Gewinnung und Asservierung des Nabelschnurblutes geschaffen. Parallel hierzu wurden die Kontakte zum Klinikpersonal und den niedergelassenen Gynäkologinnen und Gynäkologen intensiviert, um die Ansprache von potenziellen Studienteilnehmerinnen vorzubereiten.

In AP 3 wurden zur „Klärung der datenschutzrechtlichen und ethischen Fragen“ verschiedene Aspekte hinsichtlich der ethischen und datenschutzrechtlichen Beurteilung berücksichtigt und in Gesprächen mit der Landesdatenschutzbeauftragten des Landes Bremen, verschiedenen anderen Datenschutzbeauftragten, der Ethikkommission der Ärztekammer Bremen sowie mit externen Gutachtern der Ethikkommission diskutiert. Die Ergebnisse wurden in das Datenschutzkonzept und den Ethikantrag integriert.

4. DURCHFÜHRUNG

AP 4 „Datenerhebung“ wird derzeit noch in der kooperierenden Entnahmeklinik (St. Joseph Stift) sowie teilnehmenden gynäkologischen Praxen durchgeführt. Potenzielle Teilnehmerinnen wurden und werden über verschiedene Zugangswege (niedergelassene Gynäkologen, Klinikpersonal in der Entnahmeklinik, Angebote für Schwangere in der Entnahmeklinik, wie z. B. Kreißsaalbegehungen, Hebammensprechstunde, Geburtsvorbereitungskurse) angesprochen und in die Studie eingebunden. Darüber hinaus wurde die Ansprache über den Einsatz einer Study Nurse vor Ort getestet. Die Entnahme der Bioproben (venöses Blut der Mutter, Nabelschnurblut) erfolgt durch das Klinikpersonal zum Zeitpunkt der Geburt. Des Weiteren wird der Einfluss von monetären Incentives auf die Teilnahmebereitschaft von werdenden Müttern sowie niedergelassenen Gynäkologen untersucht. Den sachgerechten Transport des Nabelschnurblutes übernimmt die Blutbank in Düsseldorf. In der Blutbank wurden bzw. werden Vollblut-Aliquots kryokonserviert (in flüssigem Stickstoff eingefroren) und darüber hinaus Serum, Plasma, RNA und DNA isoliert und in Aliquots eingelagert, welche für spätere Analysen verwendet werden können.

5. ERGEBNISSE

Die in AP 1 erarbeiteten Grundlagen wurden insbesondere bei der Planung für die Erstellung der Erhebungsinstrumente (z. B. Fragebogen für werdende Mütter) sowie der technisch-organisatorischen Umsetzung der Bioprobenentnahme im Rahmen der Machbarkeitsstudie beachtet. Laut Ethikkommission der Ärztekammer

Bremen sowie des betrieblichen Datenschutzbeauftragten des BIPS bestehen keine ethischen bzw. datenschutzrechtlichen Einwände gegen die Durchführung eines solchen Projektes.

Im bisherigen Rekrutierungszeitraum beträgt die Geburtenanzahl in der Entnahmeklinik (St. Joseph-Stift) ca. 1.000 Geburten. Etwa 20% der potenziellen Teilnehmerinnen mit Migrationshintergrund konnten auf Grund von Sprach- oder Verständigungsproblemen nicht in die Studie einbezogen werden. Von den verbleibenden 800 Geburten wurden etwa 200 werdende Mütter durch niedergelassene Gynäkologen, Klinikpersonal oder Mitarbeiterinnen des BIPS angesprochen/erreicht. Damit liegt die geschätzte Response im bisherigen Rekrutierungszeitraum bei ca. 25%. Als Gründe für eine Nichtteilnahme wurden bisher vor allem folgende Gründe angegeben:

- Ungewissheit, ob eine Hauptstudie zu Stande kommt;
- Verbleib der Proben ungewiss;
- Nabelschnurblutspende für therapeutische Zwecke bevorzugt;
- Eltern wollten nicht für das Kind entscheiden, ob genetische Informationen (Nabelschnurblut) in einer Studie verwendet werden;
- Entbindung doch in einer anderen Klinik bzw. im Geburtshaus.

6. GEPLANTE WEITERARBEIT

Die Phase der Datenerhebung wird abgeschlossen. Im zusammenführenden Arbeitspaket (AP 5) werden auf Basis der praktischen Erfahrungen und zusammen mit den beteiligten Wissenschaftlern und kooperierenden Institutionen (Krankenhaus St. Joseph Stift, José Carreras Stammzellbank) Empfehlungen für eine mögliche nationale Geburtskohorte erarbeitet. Dabei werden verschiedene Bereiche berücksichtigt:

- technische, logistische, strukturelle, finanzielle und personelle Anforderungen an den Aufbau einer Geburtskohorte; Bewertung der Machbarkeitsstudie unter Berücksichtigung der bundesdeutschen Forschungslandschaft, des Datenschutzes und ethischer Rahmenbedingungen und Auflagen.
- Organisatorischer, zeitlicher und finanzieller Aufwand in Bezug auf Gewinnung und Asservierung von Nabelschnurblut; Diskussion von alternativen Vorgehensweisen.
- Aspekte der organisatorischen Anbindung einer Geburtskohorte an die Nationale Kohorte bzw. die entsprechenden Rekrutierungszentren einerseits und an das International Childhood Cancer Cohort Consortium (I4C) andererseits.

Thema			
Untersuchungen zum Zusammenwirken umweltbedingter Risikofaktoren mit genetischen und weiteren endogenen Faktoren bei der Entstehung von Leukämie im Kindesalter - Teilvorhaben 4: Pilotstudie zum Vergleich der Inzidenz			
Subject			
<i>Pilot to develop a main study protocol for a multinational study of childhood leukaemia investigating the potential aetiological roles of genetic predisposition, biomarkers of infectious exposure and selected environmental factors</i>			
Kennzeichen	Beginn	Ende	Fördermittel
3611S70028	01.03.2012	31.05.2013	EUR 98.875,-
Forschungs- / Auftragnehmer			
International Agency for Research on Cancer (IARC), Lyon, France			
Projektleitung	Fachbetreuung BfS	verantwortlich für den Text	
Dr. J. Schüz	Dr. G. Ziegelberger / AG SG 1.1	Dr. J. Schüz	

1. ZIELSETZUNG

Akute Leukämie ist die häufigste Krebserkrankung bei Kindern unter 15 Jahren; bei einer Inzidenzrate von etwa 5 Neuerkrankungen pro 100 000 Kinder pro Jahr in Deutschland erkranken jährlich mehr als 600 Kinder. Die Ursachen der Erkrankung sind weitgehend unbekannt. Hohe Dosen ionisierender Strahlung sind ein gesicherter Risikofaktor, so zum Beispiel Leukämie als Folge einer Strahlentherapie eines vorangegangenen Malignoms. Bei niedrigen Dosen ist die Evidenz mit Unsicherheit verbunden; insbesondere Beobachtungen erhöhter Leukämie-Inzidenzraten im Umkreis deutscher Kernkraftwerke sind ungeklärt, weil einerseits die Erhöhung epidemiologisch messbar ist, die gemessenen Strahlenwerte im Umkreis der Anlagen aber zu niedrig erscheinen, um ursächlich eine Rolle zu spielen. Bei nicht-ionisierender Strahlung zeigen epidemiologische Studien konsistent ein erhöhtes Leukämierisiko bei erhöhten Expositionen gegenüber niederfrequenten magnetischen Feldern, zum Beispiel bei Kindern, die in der Nähe von Hochspannungsleitungen aufwachsen, aber es gibt keine biologische Erklärung für den beobachteten Zusammenhang. Populäre Hypothesen zu Ursachen von Leukämien bei Kindern betreffen ein Zusammenspiel mit Expositionen gegenüber infektiösen Erregern. So wurde beispielsweise postuliert, dass das Immunsystem von Kindern, die im Säuglingsalter weniger Infektionen ausgesetzt sind, bei späterem Kontakt mit Erregern in einer Form reagiert, die eine Leukämieentstehung begünstigt.

Viele Hypothesen bauen auf der Beobachtung auf, dass Leukämien in entwickelten Ländern um ein Vielfaches häufiger sind als in Entwicklungsländern, sozusagen damit der westliche Lebensstil mit der Häufigkeit der Erkrankung assoziiert ist. Die Beobachtung ist allerdings mit Fragezeichen versehen, weil es auf Grund des jungen Alters der Patienten und der in Entwicklungsländern oft an einer Infektion versterbenden betroffenen Kinder sowie der fehlenden guten Infrastruktur für Krebsregistrierung zu einer möglicherweise sogar massiven Unterschätzung des Krankheitsaufkommens kommen kann, teils auf fehlende Diagnose erkrankter Kinder oder nicht vollständige Erfassung diagnostizierter Kinder zurückzuführen. Zudem fehlen systematische Daten, ob es sich bei den insbesondere akuten lymphatischen Leukämien (ALL) weltweit um die gleiche Verteilung handelt, also ob es sich insgesamt um eine reduzierte ALL all ihrer Subtypen handelt oder ob bestimmte Subtypen gleich häufig vorkommen und andere damit praktisch gar nicht.

Die hier vorgeschlagene Pilotstudie sieht vor, ein globales Netzwerk mit Forschungsstruktur aufzubauen, um später weltweit repräsentative Studien zu Leukämie bei Kindern durchführen zu können. Weiterhin soll ein dementsprechendes Studienprotokoll erstellt werden.

2. EINZELZIELSETZUNG

2.1 AUFBAU EINES WELTWEITEN PÄDIATRISCH-ONKOLOGISCHEN NETZWERKS

Ziel war, ein Netzwerk mit großen, weltweit repräsentativen pädiatrischen Onkologien aufzubauen, so dass ein direkter Zugang zu Patienten möglich ist. Für die Identifikation potenzieller Partner wurden Fragebögen verschickt mit Fragen zum Patientenaufkommen, Einzugsgebiet und Größe der Klinik, diagnostischer und

therapeutischer Prozesse sowie Bereitschaft für die Teilnahme an epidemiologischen und molekular-biologischen Studien. Die Etablierung des Netzwerks war mit einem Workshop in Lyon vorgesehen.

2.2 ENTWICKLUNG EINES STUDIENPROTOKOLLS

Auf Basis der gesammelten Informationen sollte ein Studienprotokoll entwickelt werden, wie das neu etablierte Netzwerk an ätiologischen Studien und zur Verbesserung der Therapie zusammenarbeiten kann.

3. METHODIK

Für das Netzwerk wurden folgende Partner identifiziert, die einerseits eine globale Repräsentativität garantieren, andererseits aber eine übersichtliche Gruppenstärke für die Durchführung multinationaler Studien besitzen. Weiterhin garantieren die Partner einen direkten Kontakt mit betroffenen Familien sowie Verfügbarkeit biologischer Proben, medizinischer und gegebenenfalls per Fragebogen zusätzlich zu erhebender Information der betroffenen Kinder und ihrer Familien. Die Partner sind:

- Amerika: USA (Minneapolis, sowie Kontakt zum US-kanadischen Netzwerk „Children Oncology Group“ und ihrer klinischen Studien), Brasilien (Rio de Janeiro);
- Europa: Deutschland (Münster), Dänemark (Kopenhagen), Groß-Britannien (Leeds), Russland (Moskau), Türkei (Ankara);
- Afrika: Ägypten (Cairo), Kenia (Nairobi), Südafrika (Bloemfontein);
- Asien: Jordanien, Indien (Dehli, Chennai), China (Peking), Japan (Tokio), Südkorea (Seoul).

Zudem wurden Kontakte zu Argentinien (Buenos Aires) und Australien (Sydney) etabliert, die aber persönlich nicht am Workshop beteiligt waren. Das neue Netzwerk wurde weiterhin mit bestehenden epidemiologischen Gruppen verlinkt, insbesondere dem „Childhood Leukemia International Consortium (CLIC)“ (Leitung: Universität Berkeley, USA) und dem „International Childhood Cancer Cohort Consortium (I4C)“ (Leitung: Universität Melbourne, Australien).

4. DURCHFÜHRUNG

Die Identifikation potenzieller Partner wurde bei einem Treffen aller Antragssteller im Juni in Lyon beschlossen. Die Fragebögen wurden danach versandt und bis Oktober 2012 ausgewertet. Daraufhin folgten die Einladungen zum Workshop (20.-22. Februar 2013 in Lyon), die auf Grund von Visa-Bestimmungen einigen Vorlauf benötigten.

5. ERGEBNISSE

Der Informationsaustausch zeigte eine breite Streuung in den Kenngrößen von Leukämien bei Kindern, nicht nur im Gesamtaufkommen, sondern im speziellen auch in der typischen Altersverteilung, dem Verhältnis von ALL zu akuter myeloischer Leukämie, dem Verhältnis von Jungen zu Mädchen, sowie den ALL Subtypen T-ALL und verschiedener B-Vorläufer-Zellen ALL. Klar wurde auch, dass diese Streuung zumindest nicht ausschließlich ursächlicher Natur ist, sondern mit dem Gesundheitssystem, Verfügbarkeit von Diagnostik und Therapie, konkurrierenden Erkrankungen, gesellschaftlichen und kulturellen Normen zusammenhängt. Insgesamt zeigte sich, dass weltweite Studien ein sinnvoller Ansatz sind, um neue Erkenntnisse für die Ätiologie der Erkrankung zu gewinnen.

6. GEPLANTE WEITERARBEIT

Ein entsprechendes Studienprotokoll wird bis Ende Mai 2013 entwickelt.

Thema			
Nachweis von chromosomalen Translokationen durch genomische PCR zur Identifizierung prä-leukämischer Zellen bei Kindern - Pilotstudie zur Entwicklung und Validierung geeigneter Sonden			
Subject			
<i>Detection of chromosomal translocation by genomic PCR aiming the identification of pre-leukemic cells - pilot study for development and validation of sensitive probes</i>			
Kennzeichen 3612S70019	Beginn 01.09.2012	Ende 30.11.2013	Fördermittel EUR 214.498,-
Forschungs- / Auftragnehmer Universitätsklinikum Düsseldorf			
Projektleitung A. Borkhardt, R. Slany	Fachbetreuung BfS Dr. S. Hornhardt / AG-SG 1.1	verantwortlich für den Text Prof. Dr. A. Borkhardt	

1. ZIELSETZUNG

Ziel ist die Entwicklung einer neuen molekulargenetischen Methodik, die es erlaubt, prä-leukämische Zellen bei gesunden Kindern hochsensitiv zu detektieren.

2. EINZELZIELSETZUNG

Es sollen genetisch veränderte, aber noch nicht vollständig maligne Zellen in einem „Vor-Leukämie-Stadium“ erkannt werden. In den klinisch manifesten Leukämieerkrankungen bei Kindern sind insbesondere die Translokationen t(12;21), t(11;19), t(4;11), t(1;19) und t(9;11) von besonderem Interesse, so dass sich die zu entwickelnde Methodik auf diese häufigen Fälle konzentriert.

Damit ergeben sich folgende Einzelziele:

- Literaturübersicht über den Stand der Technik zum Nachweis von "Prä-Leukämiezellen"
- Entwicklung geeigneter Sonden zum Nachweis der Rearrangements ETV6/Runx1, MLL/ENL, MLL/AF9, MLL/AF4 und E2A/Pbx1, die den oben genannten zytogenetischen Veränderungen entsprechen bzw. deren molekulargenetisches Äquivalent darstellen.

3. METHODIK

- Eine Datenbanksuche der medizinisch-wissenschaftlichen Literatur wird durchgeführt, die direkte Kontaktaufnahme mit den im Feld arbeitenden internationalen Wissenschaftlern ist vorgesehen.
- Sonden werden an permanenten Leukämiezellen mit Translokation t(4;11), t(9;11), t(12;21), t(1;19) und t(11;19) entwickelt. Die Sensitivität wird mittels quantitativer real-time PCR (Polymerase-Kettenreaktion) getestet.

4. DURCHFÜHRUNG

4.1 ENTWICKLUNG DER NEUARTIGEN „GIPFEL-METHODIK“

Hierbei wird die gesamtgenomische Restriktion (Exonuklease-Verdau) mit spezifischen enzymatischen Ligationsschritten kombiniert, so dass vorrangig nur die gesuchten Gene rezirkularisieren, die in o. g. chromosomale Rearrangements involviert sind. Das erlaubt den sensitiven Nachweis mittels PCR-Amplifikation, ohne die Nukleotidabfolge am genauen genomischen Bruchpunkt zu kennen und ohne die bisherigen Limitierungen auf sehr große Fragmentlängen (sogenannte „long-range“ PCR), die sich nicht hochempfindlich nachweisen lassen.

5. ERGEBNISSE

Es wurden bereits umfangreiche Primersets für die Gene MLL-AF4/AF9 AML RUNX1, ETV6, E2A und TZF3 konfiguriert und in Analysen getestet. Zusätzlich wurden für alle im Angebot abgegebenen Translokationsbruchpunkte Restriktionskarten erstellt sowie verschiedene Exonukleasen mit und ohne Ligasereaktion getestet. Hier zeigte sich bereits in dem frühen Projektstadium, dass für die meisten Zelllinien die methodischen Probleme lösbar sind. Es wird in den folgenden Schritten darauf ankommen, dies auf das primäre Patientenmaterial zu übertragen und für die anderen Rekombinationen entsprechend zu adaptieren.

Des Weiteren wurden für das Gesamtprotokoll, das in Einzelschritten aus der Isolierung der genomischen DNA, Restriktionsverdau und Aufreinigung, Ligation und Exonukleaseverdau sowie nachfolgender PCR bzw. real time PCR besteht, nachfolgend Modifizierungen vorgenommen. Die experimentellen Einzelschritte wurden in den letzten Wochen in den Labors in Erlangen und Düsseldorf getestet und entsprechend modifiziert.

6. GEPLANTE WEITERARBEIT

Das erstellte experimentelle „GIPFEL-Protokoll“ soll auf das Primärmaterial von Kindern mit Leukämie mit entsprechenden translokationstragenden Zellen übertragen und die Sensitivität ermittelt werden.

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

1. ZIELSETZUNG

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

2. EINZELZIELSETZUNG

Zur Orientierung sind folgende über ganz Deutschland verteilte Standorte zu untersuchen:

- Lohmen (Sachsen): Lager und Aufbereitung für Isotope und radioaktive Stoffe, NVA (Nationale Volksarmee);
- 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 (Westgruppe der Truppen), Truppenübungsplatz;
- Münsingen (Baden-Württemberg): NATO, französische Truppen, Panzereinheiten;
- Gießen (Hessen): US-Streitkräfte, Luftabwehr.

Die Untersuchungen sind in folgende Arbeitspakete (AP), jeweils in die standortbezogenen Unterpunkte gegliedert:

2.1 RECHERCHE ZUR HISTORIE DER EHEMALIGEN MILITÄRSTANDORTE (AP 1)

Zu jedem Standort ist eine kurze Recherche der Historie und der daraus resultierenden möglichen radioaktiven Kontaminationsquellen durchzuführen und jeweils in einem eigenständigen Bericht zu dokumentieren. Grundlage sind die Informationen aus dem zentralen Informationssystem Boden- und Grundwasserschutz (INSA-Datenbank) der Oberfinanzdirektion (OFD) Hannover.

2.2 VORBEREITUNG DER BEGEHUNGEN/BEPROBUNGEN (AP 2)

Die im Ergebnis des AP 1 zur Beprobung ausgewählten Bereiche sind zu dokumentieren und die Begehungen administrativ vorzubereiten.

2.3 DURCHFÜHRUNG DER BEGEHUNGEN/BEPROBUNGEN (AP 3)

Bei den Begehungen/Beprobungen/Messungen auf den Standorten sind die Verantwortlichen des BfS zu begleiten und einzuweisen. Pro Standort ist die Entnahme von etwa 15 Bodenproben vorgesehen.

3. METHODIK

3.1 RECHERCHE ZUR HISTORIE DER EHEMALIGEN MILITÄRSTANDORTE (AP 1)

Die Bearbeitung erfolgt standortbezogen in folgenden Teilschritten:

- Ermittlung und Nachweis bestehender Quellen;
- Beurteilung der Relevanz sowie Auswahl von Quellen für die Auswertung;
- 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 wird dies durch eine allgemeine Recherche zum Thema „radioaktive Strahlenquellen aus militärischer Ausrüstung“.

3.2 VORBEREITUNG DER BEGEHUNGEN/BEPROBUNGEN (AP 2)

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

3.3 DURCHFÜHRUNG DER BEGEHUNGEN/BEPROBUNGEN (AP 3)

Die mit AP 2 vorbereiteten Begehungen werden gemeinsam mit Vertretern des BfS an den sechs Standorten durchgeführt (einschließlich praktischer Unterstützung bei der Probenahme). Die Begehungen werden dokumentiert (zeichnerisch, fotografisch).

3.4 ABSCHLUSSBERICHT (AP 4)

Sämtliche Ergebnisse und Erkenntnisse aus AP 1 - 3 werden in einem Abschlussbericht zusammengeführt. Empfehlungen für weitere Maßnahmen bzw. die weitere Vorgehensweise werden abgeleitet sowie eine methodische Anleitung für ggf. erforderliche weitere Untersuchungen auf ehemaligen Militärstandorten erarbeitet.

4. DURCHFÜHRUNG

Entsprechend des Arbeitsprogramms wurde mit der Bearbeitung des AP 1 parallel an allen sechs Standorten sowie der Recherche zum Thema „radioaktive Strahlenquellen aus militärischer Ausrüstung“ begonnen. Es erfolgten eine Kontaktaufnahme mit allen ermittelten, potenziell im Besitz von relevanten Informationen befindlichen Behörden, öffentlichen und privatwirtschaftlichen Stellen und Personen sowie eine allgemeine Literaturrecherche. Zusätzlich ergangenen Empfehlungen wurde gefolgt. Erste Gespräche wurden geführt sowie erste Unterlagen gesichtet und ausgewertet.

Grundlegender Bestandteil waren darüber hinaus intensive Recherchetätigkeiten zur eindeutigen Identifikation der zu bearbeitenden Liegenschaften (Lage, Abgrenzung, exakte Bezeichnung usw. sowie aktuell im Bundeseigentum befindliche Flächen). Ausgangspunkt dafür bildete eine erste Akteneinsichtnahme bei der OFD Hannover zu den potenziell infrage kommenden Altstandorten sowie davon ausgehend eine Beantragung des Eigentumsnachweises bei der Bundesanstalt für Immobilienaufgaben (BImA), Sparte Bundesforst.

5. ERGEBNISSE

Die Bearbeitung befindet sich noch im Anfangsstadium, so dass konkrete Ergebnisse bisher nicht vorliegen. Ende 2012 wurde folgender standortbezogener Sachstand erreicht:

a) Lohmen (Sachsen)

Der Standort wurde seit den 1960er Jahren vom SAAS (Staatliches Amt für Atomsicherheit und Strahlenschutz) der DDR zur Zwischenlagerung von leicht- bis mittelradioaktiven Abfällen in unterirdischen Stollen sowie bis 1983 auch zu deren Verarbeitung/Konfektionierung genutzt. Ab 1984 wurde zusätzlich das ehemalige

NVA-Munitionsdepot Lohmen angesiedelt. Der Gesamtstandort wurde durch die Bundeswehr übernommen und ins allgemeine Grundvermögen (AGV) abgegeben. Ein großer Teil des Geländes wurde später an einen privaten Eigentümer veräußert. Die übrigen Flächen befinden sich weiter in Bundeseigentum, wobei die ehemaligen Altlastenverdachtsflächen zum überwiegenden Teil nicht mehr dazu gehören. Unklar ist noch, ob auch die unterirdischen Stollen vollständig verkauft wurden bzw. in wessen Eigentum sie sich befinden.

b) Zeithain (Sachsen)

Es handelt sich um den ehemaligen Truppenübungsplatz Zeithain, wobei von der NVA offensichtlich nur ein Teil des Gesamtstandortes als Übungsgelände genutzt wurde, der größte Teil ab 1945 wahrscheinlich von russischen Streitkräften (ehemals WGT). Es konnte bisher nicht in Erfahrung gebracht werden, wo sich das fragliche ehemalige Truppenlager des NVA-Pionierbataillons befand. Die Existenz eines ABC-Übungsplatzes konnte aus den Unterlagen bisher nicht geklärt werden. Die Flächen wurden durch die Bundeswehr ins AGV abgegeben. Möglicherweise wurden sie später vollständig oder teilweise vom Land Sachsen übernommen.

c) Kummersdorf/Sperenberg (Brandenburg)

Es handelt sich um die ehemalige Militärliegenschaft Kummersdorf Gut mit dem Flugplatz Sperenberg. Ab 1875 befand sich hier eine ca. 3500 ha umfassende Versuchsstelle zur Erforschung, Entwicklung und Erprobung von Waffen und Militärtechnik. Ab 1942 ließ die Deutsche Wehrmacht in der Heeresversuchsstelle Gotow auch Versuche zur Urankernspaltung durchführen. Von 1945 bis 1994 diente das Gelände den WGT als Militärflugplatz und als Ausbildungsstätte für Logistik. Zum AGV gehören nach Angabe der lokalen Behörden heute wahrscheinlich nur noch drei kleine Teilflächen. Es handelt sich um eine ehemalige Deponie und zwei konventionell kontaminierte Altlastenflächen. Der Rest wurde offenbar vom Land Brandenburg übernommen.

d) Gräfenhainichen/Oranienbaum (Sachsen-Anhalt)

Ein großer Teil des ehemaligen WGT-Truppenübungsplatzes ist heute Naturschutzgebiet. Möglicherweise wurden auch hier große Flächen vom Land Sachsen-Anhalt übernommen. Ausgenommen sind ggf. das ehemalige Großtanklager und weitere Altlastenflächen.

e) Münsingen (Baden-Württemberg)

Es handelt sich um einen seit 1895 bestehenden und von 1945 - 1992 hauptsächlich von Französischen Streitkräften genutzten Truppenübungsplatz. Bei der OFD Hannover liegen zu dem seit 1942 ca. 6700 ha umfassenden Standort umfangreiche Untersuchungen zu konventionellen und militärischen Altlasten (Munitionsbelastung) vor. Der Standort wurde von der Bundeswehr übernommen und 2005 geschlossen. Sehr wahrscheinlich ist der gesamte ehemalige Truppenübungsplatz im AGV verblieben. Das ehemalige Sonderlager für radioaktive Stoffe soll sich auf einer von der Bundeswehr genutzten Liegenschaft befunden haben.

f) Gießen (Hessen)

Hier handelt es sich offensichtlich um zwei unabhängige Teilflächen. Der Altstandort „Class I Depot“ war ein Lager/Versorgungsstandort am Erdkauter Weg im Süden von Gießen. Der Standort „Hohe Warte“ (ehemalige Patriot-Stellungen) befand sich östlich von Gießen (Europastraße/Licher Straße) und ist heute größtenteils Naturschutzgebiet. Es handelt sich um Konversionsliegenschaften der US-Streitkräfte im AGV (Stand 2007). Bei der OFD liegen nur zum Standort „Class I Depot“ Unterlagen vor.

Zur allgemeinen Fragestellung der möglichen radiologischen Quellen in militärischer Ausrüstung liegt für die WGT-Streitkräfte eine umfangreiche Veröffentlichung des Landes Brandenburg vor. Davon ausgehend wurde versucht, analoge Erkenntnisse zu anderen Armeen zu erlangen, wobei bisher keine relevanten Quellen erschlossen werden konnten.

Aus radiologischer Sicht ist jedoch nach einer ersten Einschätzung davon auszugehen, dass für die meisten Quellen sowohl auf Grund der Art der radioaktiven Strahlung (hauptsächlich Alpha und Beta) als auch der Halbwertszeiten der verwendeten Isotope nur ein geringer Gefahrenverdacht abzuleiten sein wird.

6. GEPLANTE WEITERARBEIT

Die Zuarbeit der BImA, Sparte Bundesforst, zur eindeutigen Identifikation der zu bearbeitenden Flächen wird für Anfang 2013 erwartet. Davon ausgehend wird eine erneute Kontaktaufnahme mit den lokalen Behörden (vornehmlich Umweltämter) und der OFD Hannover erfolgen, um weitere standortspezifische Unterlagen einzusehen und auszuwerten. Anschließend werden interne Standorterstbegehungen geplant.

Zur allgemeinen Fragestellung der möglichen radiologischen Quellen in militärischer Ausrüstung sind weitere Literaturrecherchen sowie Gespräche mit Militärfachleuten vorgesehen.

Thema			
Evaluation und Weiterentwicklung von Kommunikationsstrategien in neuen Medien für eine zielgruppengerechte und permanente Präsentation radiologischer Messwerte aus dem Ortsdosisleistungs-Messnetz in Deutschland			
Subject			
<i>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</i>			
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 2.4	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 will vor diesem Hintergrund die Qualität seiner aktuellen Kommunikationsbemühungen bewerten und Verbesserungsvorschläge erarbeiten lassen.

Das Projekt verfolgt deshalb zwei Ziele: Es stellt in einem ersten Schritt die Frage, wie die gegenwärtige Praxis der Messwertepäsentation und deren Rezeption in der Bevölkerung zu bewerten ist. In einem zweiten Schritt sollen bestehende Ansätze und Formate weiterentwickelt werden, um die Ergebnisse der Radioaktivitätsmessnetze, insbesondere des ODL Messnetzes des BfS, in der Öffentlichkeit optimal zu kommunizieren.

2. EINZELZIELSETZUNG

Das Projekt ist aufgeteilt in sechs Arbeitspakete (AP).

2.1 AKTUELLER STAND VON WISSENSCHAFT UND TECHNIK

Ziel von Arbeitspaket 1 (AP1) ist 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 AP2 konkret zu bewerten.

AP1 beantwortet die folgenden Fragen:

- Welche - mit ODL-Info vergleichbaren - Angebote existieren?
- Welche Philosophien liegen diesen Angeboten in Bezug auf die Bereitstellung von Daten zugrunde?
- Welche Faktoren beeinflussen eine erfolgreiche Kommunikation? (Hierfür wurde ein Bewertungsraster entwickelt.)

2.2 BEWERTUNG DES GEGENWÄRTIGEN INFORMATIONSANGEBOTES DER ODL-MESSDATEN DES BFS

AP2 untersucht, bewertet und vergleicht die aktuellen Angebote des BfS zur Aufbereitung und Präsentation der ODL-Daten mit anderen Angeboten. Die Beurteilung der Angebote erfolgt anhand des ebenfalls in AP1 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.

AP2 verfolgte folgende Ziele:

- Bewertung von ODL-Info;
- Vergleich von ODL-Info mit weiteren ODL-Informationsangeboten;
- Welchen Zusatznutzen können „ergänzende“ Informationskanäle (Soziale Medien, Twitter, Apps, etc.) bieten?

3. METHODIK

Im Rahmen des Projekts werden verschiedene Methoden angewendet. AP1 basiert auf Literatur- und Online-recherchen sowie Experteninterviews. AP2 nutzt zur Bewertung der unterschiedlichen Informationsangebote das in AP1 erarbeitete Bewertungsraster. In AP4 werden sowohl qualitative, als auch quantitative Befragungen durchgeführt. Über den gesamten Projektverlauf hinweg finden 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 der Form einer fortlaufenden Begleitung des Projekts (Advisory Board) stehen dem Projektteam zudem erfahrene Experten/innen zur Verfügung, mit denen wichtige Projektschritte reflektiert werden.

4. DURCHFÜHRUNG

4.1 AKTUELLER STAND VON WISSENSCHAFT UND TECHNIK

Die Inhalte von AP1 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 Wissensgebieten 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 bleiben.

4.2 BEWERTUNG DES GEGENWÄRTIGEN INFORMATIONSANGEBOTES DER ODL-MESSDATEN DES BFS

Die Beurteilung der aktuellen Angebote des BfS erfolgte anhand des in AP1 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.)?

5. ERGEBNISSE

Die Resultate der beiden abgeschlossenen Arbeitspakete wurden in Berichten veröffentlicht. Diese Ergebnisse wurden bzw. werden zudem in Workshops mit dem Auftraggeber diskutiert. Zusätzlich wurden die wichtigsten Resultate auch am 15. Fachgespräch zur Überwachung der Umweltradioaktivität in Bremen präsentiert.

5.1 AKTUELLER STAND VON WISSENSCHAFT UND TECHNIK

Resultat von AP1 ist einerseits ein Bewertungsraster (inkl. Bewertungsmethode), um ODL-Informationsangebote miteinander vergleichen zu können. Andererseits konnten in AP1 zudem aber auch unterschiedliche Kommunikationsphilosophien und -ansätze identifiziert werden.

5.2 BEWERTUNG DES GEGENWÄRTIGEN INFORMATIONSANGEBOTES DER ODL-MESSDATEN DES BFS

AP2 bewertet sowohl ODL-Info, als auch rund 10 weitere ODL-Informationsangebote und identifiziert Best Practice-Beispiele in verschiedenen Aspekten des Bewertungsrasters (z. B. Interaktivität, Zielgruppengerechtigkeit etc.). Zudem wurden andere Kommunikationskanäle (Mobile Apps, Soziale Medien etc.) untersucht und es konnte aufgezeigt werden, welchen Zusatznutzen diese für Nutzer/innen bieten. Ausserdem besteht eine Analyse von Fragen aus der Bevölkerung an das BfS. Alle diese Informationen wurden in Hypothesen integriert, welche im Rahmen des Workshops AP3 mit dem Auftraggeber besprochen werden und die Grundlage für die empirischen Untersuchungen in AP4 bilden.

6. GEPLANTE WEITERARBEIT

Im Rahmen des Workshops Anfang April 2013 (AP3) werden die erarbeiteten Resultate mit dem Auftraggeber besprochen und die empirischen Untersuchungen (AP4) gemeinsam geplant. Im Herbst 2013 werden neue Kommunikationskonzepte für das BfS erarbeitet (AP5) und ein Konzept für die Weiterentwicklung des heutigen Internetauftritts (ODL-Info) erarbeitet (AP6).

Thema			
Evaluierung des messbaren Nutzens für die Solarienbesucher durch die UV-Schutzverordnung, insbesondere die Unterweisung durch qualifiziertes Personal in Solarien			
Subject			
<i>Evaluation of the measurable benefit for tanning salons' customers due to the UV protection regulations, in particular through instructions from qualified staff in tanning salons</i>			
Kennzeichen 3612S70031	Beginn 15.08.2012	Ende 14.07.2014	Fördermittel EUR 140.206,-
Forschungs- / Auftragnehmer infas Institut für angewandte Sozialwissenschaft GmbH, Bonn			
Projektleitung J. Belz	Fachbetreuung BfS Dr. C. Baldermann / AG-SG 1.4	verantwortlich für den Text J. Belz, B. Ermes	

1. ZIELSETZUNG

Ziel der Untersuchung ist es, den messbaren Nutzen für Solarienbesucher durch die von der UV-Schutz-Verordnung (UVSV) vorgegebene Beratung durch entsprechend qualifiziertes Personal zu evaluieren. Hierzu werden 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 soll 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, sprich, 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 erfolgt die erste Befragung in 2012, die zweite folgt in 2014.

2.1 ERSTELLEN EINES FRAGEBOGENS

Ein detaillierter Fragebogen ist zu erstellen. Die Fragen orientieren sich an den Inhalten und Vorgaben der UVSV. Die Fragen sind so zu formulieren, dass der Fragebogen sowohl in der ersten Befragung in 2012 als auch in der Befragung in 2014 eingesetzt werden kann, um die Vergleichbarkeit der Ergebnisse zu gewährleisten. Die Inhalte der Befragung decken die folgenden Aspekte ab:

- Verhaltensbezogene Fragen bezüglich Solariennutzung und möglicher Konsequenzen aus dem Wissen über UV-Strahlung durch Solarien sowie bezüglich möglicher Verhaltensänderung, die die Befragten auf ein Beratungsgespräch zurückführen;
- Wissensbezogene Fragen zur UV-Strahlung und zu einem möglichen diesbezüglichen Wissenszuwachs durch Beratung;
- Einstellungsbezogene Fragen im Hinblick auf den Wunsch nach einem Beratungsgespräch und damit zusammenhängende Anforderungen an die Betreiber;
- Faktenfragen rund um ein Beratungsgespräch in Betrieben, die die Nutzung von Solarien anbieten, einschließlich aller dort erörterten Details;
- Fragen zur Soziodemographie.

2.2 DURCHFÜHRUNG DER UMFRAGEN

Für die Befragungen ist jeweils ein repräsentativer Querschnitt von Solariennutzern zu erheben. Die Befragten müssen 18 Jahre oder älter sein. Es sind Nutzerinnen und Nutzer von UV-Bestrahlungsgeräten gemäß der UVSV einzubeziehen (Sonnenstudios, Wellnessbereiche, Schwimmbäder, Fitness-Einrichtungen, etc.). Nicht mit einzubeziehen sind unter anderem Patienten, die im Rahmen einer ärztlichen Therapie unter ärztlicher Aufsicht mit UV-Bestrahlungsgeräten behandelt werden.

2.3 AUSWERTUNG DER UMFRAGEN

Die Auswertung orientiert sich an den aufgeführten Inhalten der Befragung und stellt sowohl für die Befragung 2012 als auch für die Wiederholung in 2014 die wichtigsten Ergebnisse sowohl für die aktuelle Erhebung als auch im späteren Zeitverlauf vor. Zentrale Kriterien sind dabei der Umfang der in den Sonnenstudios erfolgten Beratung sowie die Auswirkungen auf die Solarien-Kundschaft. Die Grundgesamtheit umfasst Solariennutzer, die diese Dienstleistung in den letzten 24 Monaten vor dem jeweiligen Interview in Anspruch genommen haben.

3. METHODIK

Vorgesehen sind sowohl in 2012 als auch in 2014 computergestützte standardisierte telefonische Befragungen auf Basis repräsentativer Bevölkerungsstichproben. In diesem Rahmen erfolgt ein Screening, d. h. in seinem Verlauf werden aktuelle Solariennutzer identifiziert und anschließend ausführlich befragt. Grundlage hierfür ist eine so genannte Dual-Frame-Stichprobe (n = 1000), bei der sowohl Festnetz- als auch Mobilfunknummern eingesetzt werden. Diese Zugangsform wurde für die erste Erhebungswelle um einen Zugang über ein Online-Panel erweitert (n = 500). Bei einem Online-Panel handelt es sich um eine Gruppe von Personen, welche sich zur wiederholten Teilnahme an Online-Studien bereit erklärt haben. In der vorliegenden Studie wurden die potenziellen Solariennutzer über ein solches Panel online vorgescreeent und in einem zweiten Schritt einem regulären Telefoninterview einschließlich nochmaliger Überprüfung der Zielgruppenzugehörigkeit unterzogen. Der Zugang über ein Online-Panel bildet die Gruppe der Intensivnutzer mit aktuelleren Erfahrungen stärker ab. Die Splittung der Gesamt-Stichprobe wird in der Ergebnisaufbereitung entsprechend dargelegt und inhaltlich bewertet.

4. DURCHFÜHRUNG

In 2012 wurde die erste Befragungswelle begonnen. Hierzu wurde ein auf das Ziel des Forschungsvorhabens ausgerichteter Fragebogen entwickelt. Vor der eigentlichen Umfrage wurde ein Pretest durchgeführt, der die Einsatzfähigkeit und Verständlichkeit des Fragebogens überprüft. In anschließenden Screeninginterviews (ca. 9000) wurde die Zielgruppe im Rahmen eines Zufallsverfahrens bestimmt und der Befragung zugeleitet.

5. ERGEBNISSE

Die erste Erhebungswelle wurde im Herbst 2012 begonnen und Anfang 2013 abgeschlossen. Ergebnisse lagen in 2012 noch nicht vor.

6. GEPLANTE WEITERARBEIT

Für die Jahre 2013 und 2014 ist die Fortführung der Befragungen vorgesehen. In 2013 erfolgt die Auswertung der ersten Umfrage. Sollte sich Änderungsbedarf bezüglich der Durchführung der zweiten Befragung ergeben, wird dieser in das bestehende Verfahren implementiert. In 2014 folgt die zweite Befragung mit anschließender Auswertung und vergleichender Bewertung beider Befragungen.

Themenbereich 08
Nichtionisierende Strahlung

Subject area 08
Non-ionising radiation

Thema			
Auswirkungen niederfrequenter Magnetfelder auf die Entstehung und den Verlauf von neurodegenerativen Erkrankungen im experimentellen Modell			
Subject			
<i>Effects of low frequency electromagnetic fields on the induction and progress of neurodegenerative diseases in an animal model</i>			
Kennzeichen 3608S03008	Beginn 01.10.2008	Ende 30.09.2013	Fördermittel EUR 690.824,-
Forschungs- / Auftragnehmer			
Universitätsmedizin der Johannes Gutenberg-Universität, Institut für Pathobiochemie, Mainz			
Projektleitung Dr. A. M. Clement Prof. Dr. Chr. Behl	Fachbetreuung BfS PD Dr. B. Pophof / AG SG 1.1	verantwortlich für den Text Dr. A. M. Clement	

1. ZIELSETZUNG

Eine Reihe von epidemiologischen Studien deutet darauf hin, dass die lang andauernde Exposition mit niederfrequenten Magnetfeldern ein erhöhtes Risiko birgt, altersabhängige Krankheiten zu erleiden. Zu niederfrequenten Magnetfeldern zählen Felder, die durch den Fluss von Wechselstrom (50 Hz) verursacht werden. Die WHO (World Health Organization) geht in ihren „Environmental Health Criteria 238“ von einer möglichen, aber nicht belegten, Gesundheitsgefährdung unter diesen Bedingungen aus. Unter Einsatz geeigneter Tiermodelle soll im Rahmen dieses Projektes untersucht werden, ob die lang andauernde Exposition mit niederfrequenten Magnetfeldern ein Risikofaktor für das Auftreten der Alzheimer Krankheit und der Amyotrophen Lateralsklerose (ALS) ist.

2. EINZELZIELSETZUNG

Die Alzheimer Krankheit und die ALS sind altersabhängige neurodegenerative Erkrankungen. Die Ursachen für das Absterben spezifischer Nervenzelltypen sind weitestgehend unbekannt, da über neunzig Prozent der Fälle sporadisch, also nicht vererbt auftreten. Neben einer genetischen Veranlagung gelten Umwelteinflüsse als eine der möglichen Ursachen für das Auftreten dieser Krankheiten. Eine Vielzahl von epidemiologischen Studien deutet darauf hin, dass die Exposition mit niederfrequenten Magnetfeldern einen Risikofaktor darstellen könnte. Allerdings liegt bis heute keine Studie unter kontrollierten Laborbedingungen vor, die den Einfluss der Magnetfelder auf den Verlauf dieser beiden neurodegenerativen Erkrankungen detailliert untersucht. In den hier durchgeführten Experimenten werden etablierte Mausmodelle der Alzheimer Demenz und der ALS eingesetzt, die familiäre Formen der Krankheiten darstellen. Unter der Voraussetzung, dass die Krankheitsmechanismen bei familiären wie den sporadischen Fällen ähnlich sind, sollten die Ergebnisse eine generelle Aussage über den Einfluss niederfrequenter Magnetfelder auf die Entstehung und den Verlauf der Krankheiten zulassen.

2.1 ALZHEIMER DEMENZ

Mutationen im Gen des Amyloid- β Vorläuferproteins (APP) sind verantwortlich für einen Teil der familiären Alzheimer Fälle und führen zu einer vermehrten Herstellung der A β -Fragmente, die sich zu Plaques zusammenlagern. A β -Plaques sind neben dem Auftreten von neurofibrillären Ablagerungen sowohl bei familiären wie auch bei sporadischen Alzheimer Fällen ein wesentliches neuropathologische Merkmal. Es ist allerdings unklar, wie und an welcher Stelle die A β -Fragmente in den Pathomechanismus der Krankheit einwirken. Die Tiere des App23-Mausmodells, das die schwedische Doppelmutante der APP-Form APP(751) exprimiert, entwickeln ab einem Alter von sechs Monaten fortschreitend Plaques, um die herum aktivierte Gliazellen (Hilfszellen) auftreten. Zudem sind die neuronalen Fortsätze nahe den Plaques auffällig und enthalten hyperphosphoryliertes Tau-Protein. Die Tiere zeigen schon im frühen Alter Beeinträchtigungen in ihrem Erinnerungsverhalten.

2.2 AMYOTROPHE LATERALSKLEROSE

Obwohl Mutationen im Gen für das Enzym Cu/Zn-Superoxiddismutase (SOD1) nur 2% aller ALS-Fälle auslösen, sind diese Fälle klinisch von sporadischen Patienten nicht zu unterscheiden. Transgene Mäuse, die mutante Formen der SOD1 exprimieren, entwickeln eine ALS-ähnliche Krankheit, die viele phänotypische und pathologische Kennzeichen der menschlichen Erkrankung sowie den spezifischen Nervenzelltod von Motorneuronen zeigt. Die toxische Wirkung mutanter SOD1 beruht auf einer neu erworbenen, bisher unbekanntem Eigenschaft. Diese tritt dabei nicht nur in motorischen Nervenzellen auf, sondern auch in Gliazellen, die die Motorneuronen umgeben.

3. METHODIK

Die transgenen Tiere werden nach der Genotypisierung dauerhaft einem niederfrequenten Magnetfeld von 1 mT ausgesetzt. Das Feld wird mit Merrit-Spulen erzeugt. Die Käfige, Käfigdeckel und Flaschen sind aus Kunststoff gefertigt, so dass sie das Magnetfeld nicht beeinflussen. Die Kontrollgruppe wird in Scheinexpositionsmodulen gehalten, die den gleichen Aufbau wie die Expositionsmodule zeigen. Die Feldstärke in den Scheinexpositionsmodulen beträgt infolge einer speziellen Führung der Kabel weniger als 2 μ T.

Im Alter von 12 und 18 Monaten wird bei den APP-transgenen Tieren zunächst untersucht, ob ihre Lernfähigkeit in Abhängigkeit der Exposition verändert ist. Die Tiere werden danach biochemisch und histologisch analysiert. Ein besonderes Augenmerk liegt dabei auf dem Nachweis der typischen A β -Plaques und dem Spiegel der A β -Peptide.

Bei den SOD1-transgenen Tieren werden der Krankheitsverlauf und das Überleben in Abhängigkeit der Exposition dokumentiert. Danach werden die Gewebe der Tiere mit histologischen und biochemischen Methoden auf die Aggregatbildung, die Aktivierung der Gliazellen (Hilfszellen) und den oxidativen Status untersucht.

4. DURCHFÜHRUNG

In der bisherigen Laufzeit des Projekts wurden die Expositionsmodule und die Scheinexpositionsmodule erstellt. Bei den Expositionsmodulen wurde die Streustrahlung durch Abschirmungen minimiert, so dass die Felder der Scheinexpositionsmodule mindestens 500fach geringer (unter 2 μ T) sind. Inzwischen wurden alle benötigten Tiere in das Experiment eingebracht. Insgesamt werden 231 Mäuse der Linie SOD1(G85R), 178 Mäuse der Linie SOD1(G93A) und 138 Mäuse der Linie APP23 untersucht. Davon wurde jeweils die Hälfte der Tiere mit Magnetfeldern exponiert und die andere Hälfte scheinexponiert.

5. ERGEBNISSE

Das Ziel des Projektes ist die Untersuchung, ob niederfrequente Magnetfelder den Verlauf von altersabhängigen neurodegenerativen Erkrankungen, wie der ALS, beeinflussen. Ein wesentlicher Endpunkt der Analyse ist, ob die Exposition die Lebenszeit der SOD1-transgenen Mauslinien verändert. Bisher wurden alle geplanten Tiere der SOD1(G85R)- und der SOD1(G93A)-Linien in das Experiment eingebracht und den entsprechenden Expositionen zugeführt. Ein Großteil der Tiere erreichte im Jahr 2012 den Endpunkt der Krankheit. Eine genaue statistische Auswertung dieser Daten sowie der Daten zur Gewichtsbestimmung wurde bisher nicht durchgeführt, da noch nicht alle Tiere den Endpunkt erreicht haben. Die Gewebe eines Teils der Tiere wurden bisher für eine biochemische und immunhistochemische Analyse aufgearbeitet. Die Untersuchung nach Kandidatenproteinen, bei denen vermutet wird an ALS beteiligt zu sein, zeigte bisher keine Unterschiede. Auch lassen erste Untersuchungen darauf schließen, dass die Bildung von Proteinaggregaten, die ein sehr prominentes pathologisches Kriterium darstellen, nicht verändert war. Dazu wurden Fraktionen hergestellt, in denen Aggregate angereichert sind, und daraufhin untersucht, wie hoch der Anteil an veränderten Proteinen ist. Bei der Untersuchung der Entzündungsreaktion, die im Nervensystem durch Hilfszellen (Astrozyten und Mikrogliazellen) vermittelt wird, konnten in immunhistologischen und biochemischen Untersuchungen keine offensichtlichen Unterschiede beobachtet werden. Diese ersten Analysen werden durch weitere Untersuchungen zur Expression von Stress-Proteinen, wichtiger intrazellulärer Signalwege und des oxidativen Status der Gewebe vervollständigt.

Für die Untersuchung der APP23-Mauslinie wurden zum bisherigen Zeitraum alle geplanten Tiere in das Experiment eingebracht. Ein Großteil dieser Tiere erreichte das Alter von 18 Monaten, wobei zurzeit noch 27 Tiere im Experiment verweilen. Auch diese Tiere werden wie die SOD1-transgenen Mäuse wöchentlich gewogen, um gegebenenfalls einen Einfluss auf die Vitalität der Tiere in Abhängigkeit von der Exposition zu do-

kumentieren. Die verhaltensbiologischen, biochemischen und immunhistologischen Untersuchungen der Tiere konnten bisher teilweise durchgeführt werden. Für eine statistisch signifikante Aussage ist aber die Auswertung aller Tiere notwendig.

6. GEPLANTE WEITERARBEIT

Die Analyse der SOD1-transgenen Tiere wird mit der Bestimmung und Auswertung des Krankheitsverlaufs (z. B. Gewichtsbestimmung, Zeitpunkt des Beginns der Krankheit) und durch die Festigung der bisherigen Daten durch die Untersuchung einer größeren Anzahl von Tieren fortgeführt. Außerdem wird der oxidative Status, zu dem die Bestimmung von oxidativen Schäden (z. B. Veränderungen an Proteinen) gehört, untersucht. Die Untersuchung der Expression von Genen, die zur Erhaltung des Protein-Gleichgewichts beitragen, wird vertieft, da sie einen Bestandteil der zentralen Hypothese zu einem möglichen Wirkmechanismus darstellen.

Durch die hohe Sterberate und die geringe Reproduktionsrate hat sich die Untersuchung der APP23-Tiere verzögert, da insbesondere für die Verhaltensstudien Gruppen von Tieren mit ähnlichem Alter zusammengestellt werden müssen. Die Verhaltensstudien werden im Jahr 2013 zusammengefasst. Außerdem werden die Gewebe der noch verbleibenden Tiere aufgearbeitet. Hier wird ein besonderes Augenmerk auf das pathologische Auftreten der A β -Fragmente gelegt. Zudem werden der Entzündungsstatus und die Expression von Proteinen, die für das Protein-Gleichgewicht wichtig sind, untersucht.

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 3609S30010	Beginn 01.07.2009	Ende 30.06.2013	Fördermittel EUR 136.200,-
Forschungs- / Auftragnehmer Klinikum der Universität München (LMU), Institut für Arbeits-, Sozial- und Umweltmedizin			
Projektleitung Prof. Dr. K. Radon	Fachbetreuung BfS Dr. A. Tschense / AG SG 1.3	verantwortlich für den Text S. Klostermann, V. Kießling	

1. ZIELSETZUNG

Gehirntumoren 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), Gehirntumoren in der Familiengeschichte oder Exposition gegenüber elektromagnetischen Feldern (z. B. durch die Nutzung von Mobiltelefonen).

Ziel der durch die Europäische Union sowie durch nationale Geldgeber, wie das Bundesamt für Strahlenschutz, geförderten internationalen Fall-Kontroll-Studie MOBI-KIDS ist 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 vorliegenden Erweiterungsstudie ist die Erhöhung der Aussagekraft der MOBI-KIDS Studie. Hierzu werden Kontrollen aus der Bevölkerung als Ergänzung zu den Krankenhauskontrollen, die in der EU-Studie verwendet werden, für die Studie rekrutiert. Außerdem wird bei einer Teilstichprobe der Studienteilnehmer die Exposition gegenüber elektromagnetischen Feldern des Mobilfunks mit Hilfe von Personendosimetern gemessen. Weiterhin wird bei einer Stichprobe der deutschen MOBI-KIDS Studienteilnehmer eine Validierung der Handynutzung durchgeführt.

3. METHODIK

Die multinationale Fall-Kontroll-Studie, die in insgesamt 16 Ländern durchgeführt wird, begann Ende 2010 und endet voraussichtlich Mitte 2014. Auf Grund der geringen Fallzahlen wurde die Feldphase der Studie verlängert. Untersucht werden Fälle und Kontrollen im Alter zwischen 10 und 24 Jahren. Insgesamt sollen 1900 Fälle mit bös- und gutartigen Tumoren des zentralen Nervensystems rekrutiert werden. In Deutschland wird insgesamt mit einer Fallzahl von 313 gerechnet. Pro Fall werden zwei Krankenhauskontrollen gesucht, die auf Grund einer vermuteten Appendizitis operiert wurden. Da Krankenhauskontrollen möglicherweise keine ausreichende Repräsentativität darstellen, werden in Deutschland im Rahmen der vorliegenden Erweiterungsstudie zusätzlich pro Fall mindestens zwei Kontrollen aus der Population nach dem Zufallsprinzip ausgewählt und ebenfalls in die Studie eingeschlossen.

3.1 AUSWAHL DER FÄLLE UND KONTROLLEN

Für die Rekrutierung der Gehirntumorpatienten finden Kooperationen mit Kliniken statt, die auf die Behandlung von Gehirntumoren spezialisiert sind. Hierzu wurden alle Unikliniken sowie weitere Kliniken, die Gehirntumorpatienten im Kindes- und im jungen Erwachsenenalter behandeln, kontaktiert und um Kooperation gebeten. Auf diese Weise soll der Großteil des Bundesgebiets abgedeckt werden. Bei den Fällen handelt es sich um Kinder, Jugendliche und junge Erwachsene zwischen 10 und 24 Jahren, die seit mindestens sechs Monaten in der Bundesrepublik Deutschland leben und einen im Studienzeitraum diagnostizierten primären Ge-

hirntumor aufweisen. Zusätzlich zu den Krankenhauskontrollen der Hauptstudie werden in Deutschland pro Fall mindestens zwei weitere Kontrollen aus der Population in die Studie eingeschlossen. Diese Kontrollen werden per Zufallsstichprobe über die Einwohnermeldeämter aus den Herkunftsgemeinden der Fälle gezogen.

3.2 DOSIMETERMESSUNG

Die Dosimetermessung wird an einer Teilstichprobe des deutschen Studienkollektivs aus der Region München und Umgebung durchgeführt. Zurückliegendes Verhalten wird von Probanden häufig verzerrt berichtet, dieser sogenannte Erinnerungsfehler (Recall Bias) soll mit der vorliegenden Erweiterungsstudie abgeschätzt und möglichst reduziert werden. Die Expositionsmessung erfolgt über ein am Oberarm des Probanden fixiertes Messgerät (ESM-140 der Firma Maschek) für 24 Stunden. Gemessen werden die Frequenzen der Mobilfunk- und DECT (Digital Enhanced Cordless Telecommunications)-Telefone sowie deren Basisstationen und die WLAN (Wireless Local Area Network)-Frequenz.

3.3 VALIDIERUNG DER HANDY NUTZUNG

Die Validierung der Handynutzung wird ebenfalls für eine Stichprobe der Studienteilnehmer durchgeführt. Ist ein Teilnehmer mit der Erhebung einverstanden, wird eine Anfrage zum Nutzungsverhalten an seinen aktuellen sowie seine ehemaligen Netzanbieter gestellt.

4. DURCHFÜHRUNG

Im Jahr 2012 konnte die Datenbank für die Interviews von der Studienzentrale in Barcelona (Spanien) fertig gestellt werden. Daraufhin wurden alle Interviews, die bisher mit Hilfe von Papierfragebögen geführt wurden, in die Datenbank eingegeben. Seit Fertigstellung der Datenbank ist es möglich, computerassistierte persönliche Interviews (CAPI) vorzunehmen. Mittlerweile werden die Interviews vorwiegend mit Hilfe von Pc's durchgeführt und die Antworten direkt in die Datenbank eingegeben (CAPI). Da die Anzahl der teilnehmenden Fälle bisher geringer war als erwartet, wurden die ursprünglich definierten Studienzentren 2012 auf ganz Deutschland ausgeweitet, wodurch zahlreiche neue Kooperationen entstanden sind. Außerdem wurde 2012 eine Kooperation mit dem Deutschen Kinderkrebsregister (DKKR) aufgebaut, bei der die in die MOBI-KIDS Studie eingeschlossenen Fälle unter 18 Jahre mit den beim Kinderkrebsregister gemeldeten Gehirntumorfällen abgeglichen werden sollen. Durch dieses Vorgehen sollen Fälle, die bisher nicht in die Studie eingeschlossen wurden, nach Möglichkeit nachträglich eingeschlossen werden.

5. ERGEBNISSE

5.1 STAND DER DATENERHEBUNG

In allen Studienregionen im gesamten Bundesgebiet werden geschulte Interviewer eingesetzt, die zum einen die Interviews mit den Probanden durchführen und zum anderen die kooperierenden Ärzte vor Ort vor allem durch persönlichen Kontakt betreuen.

Fälle: Bis Dezember 2012 bestand eine Zusammenarbeit mit 52 Kooperationskliniken. Bis zum 31.12.2012 wurden von den Kooperationskliniken insgesamt 75 Fälle gemeldet. Von diesen entsprachen 68 Fälle den Einschlusskriterien, 44 hiervon hatten bereits die Studienteilnahme zugesagt (Teilnahmequote 64,7%), von 15 war eine Antwort noch ausstehend. Insgesamt konnten 43 der 44 möglichen Interviews bis Jahresende 2012 durchgeführt werden.

Krankenhauskontrollen: Auch die Anzahl der chirurgischen Kooperationskliniken konnte 2012 weiter gesteigert werden und liegt nun bei 58 Kooperationskliniken. Insgesamt konnten bis Ende 2012 107 Patienten, die auf Grund einer vermuteten Appendizitis operiert wurden, als potenzielle Kontrollen identifiziert werden. Von diesen haben 54 Personen einer Studienteilnahme zugestimmt (Teilnahmequote 50,5%), 47 von ihnen wurden bereits interviewt.

Populationskontrollen: Bis Ende 2012 wurden 568 Personen zur Studienteilnahme eingeladen, von diesen erklärten sich nach bis zu 3 Erinnerungsschreiben und telefonischen Kontaktversuchen 140 Personen zu einer Teilnahme bereit (Teilnahmequote 24,6%). Von diesen wurden 123 Kontrollen bereits interviewt.

5.2 DOSIMETERMESSUNGEN

Bis Ende 2012 wurden im Raum München sechs Gehirntumorpatienten rekrutiert und interviewt, zwei von ihnen nahmen an der Dosimetermessung teil (Teilnahmebereitschaft: 33%). Ebenfalls bis Ende 2012 wurden zehn Krankenhauskontrollen erfolgreich in die Studie eingeschlossen, sechs von ihnen stimmten einer Dosimetermessung zu (Teilnahmebereitschaft: 60%). Über die Einwohnermeldeämter der Herkunftsgemeinden der Patienten konnten 20 Personen als Populationskontrollen rekrutiert und interviewt werden, zehn von ihnen stimmten einer Dosimetermessung zu (Teilnahmebereitschaft 50%). Insgesamt haben von 36 Studienteilnehmern im Raum München (Fälle und Kontrollen) 18 Personen an der Dosimetermessung teilgenommen (Teilnahme gesamt 50%).

5.3 VALIDIERUNG DER HANDYNUTZUNG

Bisher wurde von 14 Fällen, 21 Krankenhauskontrollen und 28 Populationskontrollen eine Anfrage zur Handynutzung an die Netzbetreiber gestellt. Die Auswertung dieser Daten findet erst nach Abschluss der Feldphase statt.

6. GEPLANTE WEITERARBEIT

Es wird damit gerechnet, dass durch den Einschluss von noch mehr Kooperationskliniken die Anzahl der untersuchten Fälle weiter ansteigen wird. Weiterhin werden weitere Fälle und Kontrollen, die bisher - weil sie bislang nicht von der Kooperationsklinik gemeldet wurden - nicht in die Studie eingeschlossen werden konnten, über die Archive aller kooperierenden Kliniken identifiziert und nach Möglichkeit in die Studie eingeschlossen werden. Auch durch die Kooperation mit dem DKKR werden sich voraussichtlich die Fallzahlen weiter erhöhen.

International wurde im Rahmen der MOBI-KIDS Studie eine weitere Validierungsstudie, die sogenannte MOBI-EXPO Studie gestartet. Im Rahmen dieser Studie soll die Handynutzung der Studienteilnehmer vier Wochen lang aufgezeichnet werden und die Studienteilnehmer vorher und nachher zu ihrer Handynutzung befragt werden, außerdem ist eine erneute Befragung nach weiteren sechs Monaten geplant. Ende 2012 startete hierfür in Deutschland die Rekrutierung der Studienteilnehmer. Hierzu wurden alle MOBI-KIDS Kontrollen schriftlich kontaktiert und um eine Teilnahme an der MOBI-EXPO Studie gebeten. Die Durchführung der Studie ist für 2013 geplant.

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 457.512,-
Forschungs- / Auftragnehmer Jacobs University, Bremen			
Projektleitung Prof. Dr. A. Lerchl	Fachbetreuung BfS Dr. M. Asmuß / AG SG 1.4		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 (Universal Mobile Telecommunications System), Leistungsflussdichte $4,8 \text{ W/m}^2$) 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 der Lungentumoren nicht durch eine Infektion zu erklären. Bei höherer Leistungsflussdichte (48 W/m^2) konnten keine tumorpromovierenden Effekte festgestellt werden. Daher soll in dem begonnenen Projekt die Studie unter weitestgehend gleichen Bedingungen wiederholt werden, wobei als Ergänzung eine weitere, niedrigere Leistungsflussdichte getestet wird. Weiterhin werden 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 (spezifische Absorptionsrate)-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 Exposition der Tiere erfolgt verblindet nach UMTS-Standard für 24 Stunden pro Tag beginnend in utero bis zu dem Zeitpunkt, zu dem 75% der mit ENU behandelten Tiere gestorben sind. Die Leistungsflussdichten betragen 0 (Scheinexposition), 0,43, 4,3 und 22 W/m^2 (dies entspricht SAR-Werten von 0 (Scheinexposition), 0,04, 0,4 und 2 W/kg , bezogen auf 20 g schwere Mäuse). Für das Projekt kann eine Expositionsanlage verwendet werden, die bereits in einer früheren Untersuchung erfolgreich eingesetzt wurde.

2.3 BIOLOGISCHES SYSTEM, ENDPUNKTE

Die Untersuchungen erfolgen am Mausmodell (weibliche Nachkommen aus C57BL/6N (weiblichen) und C3H/HeN (männlichen) Elterntieren).

Die schmerzfrei getöteten Tiere werden einer pathologischen Untersuchung unterzogen. Alle makroskopisch sichtbaren Auffälligkeiten werden dokumentiert. Die Organe Gehirn, Lunge, Milz, Leber, Nieren und mesenterische Lymphknoten werden fixiert (10% Formalin). Die Lunge wird durch intratracheale Infusion vorfixiert, bevor sie in dem Fixans endfixiert wird. Nach dem Einbetten werden Schnitte ($4 \mu\text{m}$) angefertigt, gefärbt (Hämatoxilin / Eosin) und mikroskopisch untersucht. Die mikroskopische Untersuchung wird durch elektronische Bildaufnahmen dokumentiert (Carl Zeiss AxioVision). Die Klassifikation der Tumoren erfolgt verblindet und nach internationalem Standard / Nomenklatur (WHO/IARC (World Health Organization/International Agency for Research on Cancer) 2001).

3. METHODIK

3.1 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 erfolgt durch den technischen Partner TU Wuppertal.

3.2 BIOLOGISCHES SYSTEM, ENDPUNKTE

Das Projekt wurde wie geplant gestartet. Im Gegensatz zur ursprünglichen Planung und anders als in der Publikation von Tillmann et al. dargestellt sollen alle Tiere (also auch die nicht mit ENU behandelten Mäuse) zu dem Zeitpunkt getötet werden, wenn 75% der mit ENU behandelten Tiere verstorben sind. Dies hat den entscheidenden Vorteil, dass altersbedingte Erkrankungen und Todesursachen vermieden werden, die den Vergleich der Gruppen erschweren würden.

4. DURCHFÜHRUNG

Vom Züchter Charles River Wiga (Deutschland) wurden am 7.6.2012 vom Stamm C57Bl/6N 128 F0-Muttertiere im Alter von 10 Wochen, 128 F0-Tiere im Alter von 9 Wochen und 34 F0-Tiere im Alter von 8 Wochen geliefert sowie 43 Männchen im Alter von 9 Wochen vom Stamm C3H/HeNCrl. Für 2 Wochen wurden die Mäuse zu sechst in Käfigen zur Eingewöhnung gehalten. Anschließend wurden die ersten 128 F0-Weibchen für 1 Woche mit den Männchen verpaart, im Verhältnis 1 Männchen plus 3 Weibchen. Die Weibchen wurden dann nach Gewicht randomisiert in die Anlagen 1 und 2 verbracht. Die Männchen wurden direkt im Anschluss mit den nächsten 128 Weibchen verpaart, die eine Woche später in die Expositionsanlagen 3 und 4 verbracht wurden. Insgesamt n: 256 Weibchen und 43 Männchen.

Anschließend wurden die Männchen mit den verbleibenden 34 Weibchen im gleichen Verhältnis verpaart, ohne einen anschließenden Transfer in die Anlagen. Eine Woche nach Geburt der Nachkommen wurde das Geschlecht bestimmt. Die weiblichen Nachkommen dieser Tiere dienen als Käfigkontrolle (n=96). Die männlichen Jungtiere wurden zu diesem Zeitpunkt schmerzfrei getötet.

Am Tag 6 p.c. begann die Exposition der trächtigen Weibchen (2 Tiere pro Käfig, 64 Tiere pro Gruppe) in den Anlagen. Die trächtigen Weibchen wurden mit ENU (40 mg/kg) intraperitoneal injiziert, die übrigen wurden schmerzfrei getötet. 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 beträgt 32 (n=96 Weibchen pro Expositionsstärke).

5. ERGEBNISSE

Bislang sind insgesamt 13 mit ENU behandelte Mäuse verstorben (ohne signifikante Häufung in einer Gruppe).

6. GEPLANTE WEITERARBEIT

Die Exposition der Tiere wird fortgesetzt. Der Gesundheitszustand sowie das Gewicht der Tiere werden laufend kontrolliert und dokumentiert. Sichtbar kranke Tiere werden unmittelbar schmerzfrei getötet und wie unter 2.3. dargestellt untersucht. Am Ende des Versuchszeitraums erfolgen die verbleibenden histopathologischen Untersuchungen sowie die statistischen Auswertungen.

Thema			
Ergänzende Analysen von Daten zur Exposition durch RFID ¹ Technologien aus FV 3609S80002 und Untersuchungen an Warensicherungsanlagen			
Subject			
<i>Supplementary analyses of the data obtained in FV 3609S80002 concerning personal exposure caused by RFID devices and investigations of electronic article surveillance systems</i>			
Kennzeichen 3612S80004	Beginn 01.10.2012	Ende 31.03.2013	Fördermittel EUR 59.642,-
Forschungs- / Auftragnehmer Seibersdorf Labor GmbH, Seibersdorf (Österreich)			
Projektleitung G. Schmid	Fachbetreuung BfS D. Geschwentner / AG-SG 1.2		verantwortlich für den Text G. Schmid

1. ZIELSETZUNG

Im Rahmen des Forschungsvorhabens 3609S80002 wurden umfassende messtechnische Untersuchungen sowie numerische Berechnungen im Hinblick auf die Exposition von Personen durch Geräte der RFID-Technologie, inklusive elektronischer Artikelsicherungssysteme (EAS), durchgeführt. Die Bewertung der Expositionen im Frequenzbereich bis 10 MHz erfolgte dabei nach den Empfehlungen der ICNIRP (International Commission on Non-ionising Radiation Protection) aus dem Jahr 1998. Im Jahr 2010 wurden von ICNIRP für den genannten Frequenzbereich neue Bewertungsempfehlungen herausgegeben, die sich grundlegend von jenen 1998 veröffentlichen unterscheiden. Im Rahmen dieses Vorhabens sollen alle Berechnungsergebnisse für die intrakorporalen dosimetrischen Größen im Frequenzbereich bis 10 MHz aus dem Vorhaben 3609S80002 nach den neuen ICNIRP-Bewertungskriterien analysiert werden.

Des Weiteren haben sich im Zuge des Vorhabens 3609S80002 insbesondere elektronische Artikelsicherungssysteme (EAS) als relevante Quellen elektromagnetischer Felder im Alltag herausgestellt. Da derartige Systeme in großer Vielfalt am Markt vorhanden sind, soll die im Vorhaben 3609S80002 untersuchte Stichprobe im Rahmen dieses Vorhabens erweitert werden.

2. EINZELZIELSETZUNG

Für die Bearbeitung des Vorhabens können die folgenden Einzelzielsetzungen definiert werden:

2.1 MESSTECHNISCHE UNTERSUCHUNGEN AN 10 EAS ANLAGEN

Ergänzend zu den im Rahmen von FV 3609S80002 bereits untersuchten EAS Anlagen werden an weiteren 10 unterschiedlichen Geräten Immissionsmessungen im Nahbereich der Antennen durchgeführt. Die Auswahl der zu untersuchenden Anlagen erfolgte bereits im Vorfeld und orientiert sich an möglichst großer Repräsentanz der Stichprobe.

2.2 NUMERISCHE BERECHNUNGEN DER EXPOSITION DURCH 4 EAS ANLAGEN

Für jene vier EAS Anlagen, die sich auf Basis der messtechnischen Untersuchungen aus strahlenschutztechnischer Sicht am interessantesten herausstellen, werden numerische Berechnungen der relevanten intrakorporalen dosimetrischen Größen unter Verwendung validierter Quellenmodelle und anatomischer Körpermodelle durchgeführt.

2.3 BEWERTUNG DER DATEN AUS 3609S80002 NACH DEN EMPFEHLUNGEN DER ICNIRP 2010

Alle im FV 3609S80002 erhaltenen Berechnungsergebnisse für die intrakorporalen dosimetrischen Größen werden einer Neuauswertung im Hinblick auf die, gemäß ICNIRP 2010 für die Bewertung heranzuziehende, induzierte elektrische Feldstärke im Gewebe unterzogen und vor diesem Hintergrund strahlenschutztechnisch neu bewertet.

¹⁾ Radio Frequency Identification

3. METHODIK

Die messtechnischen Untersuchungen an EAS Anlagen vor Ort im Einzelhandel erfolgen in bewährter Weise in hinreichend fein aufgelösten räumlichen Messpunktgittern, so dass sowohl eine Expositionsbeurteilung gemäß der anzuwendenden Produktnorm als auch eine numerische Modellierung der untersuchten EAS Anlagen und die Validierung der numerischen Quellenmodelle möglich ist.

Die numerischen Berechnungen erfolgen im Frequenzbereich unterhalb von 1 MHz mittels der frequenzskalierten FDTD (Finite Difference Time Domain)-Methode, im darüber liegenden Frequenzbereich direkt mit FDTD. Es werden für jede der vier zu betrachtenden EAS-Anlagen zumindest zwei unterschiedliche Expositionsszenarien mit zwei unterschiedlichen anatomischen Körpermodellen (darunter ein Kindermodell) betrachtet.

Die Neuauswertung der Berechnungsergebnisse aus FV 3609S80002 erfolgen unter Verwendung eines aus FV 3611S70017 als bestgeeignet hervorgehenden Mittelungsalgorithmus. Sofern für eine zuverlässige Expositionsbeurteilung erforderlich, erfolgen auch Neuberechnungen mit höherer räumlicher Auflösung der Rechengitter einzelner der in FV 3609S80002 betrachteten Expositionsszenarien.

4. DURCHFÜHRUNG

4.1 MESSTECHNISCHE UNTERSUCHUNGEN AN 10 EAS ANLAGEN

Die messtechnischen Untersuchungen an den EAS-Anlagen im Einzelhandel laufen derzeit. Die Messungen an Radiofrequenz (RF) und Akustomagnetischen (AM) Systemen konnten abgeschlossen werden. Ausständig sind noch Messungen an einem Elektromagnetischen (EM) System. Da diese Systeme vergleichsweise selten eingesetzt werden und die Bereitschaft des Einzelhandels und des Herstellers zur Unterstützung des Vorhabens bisher nicht gegeben war, wird derzeit noch weiter an einer Möglichkeit gearbeitet ein solches System für die Messungen zugänglich zu machen.

4.2 NUMERISCHE BERECHNUNGEN DER EXPOSITION DURCH 4 EAS ANLAGEN

Die numerischen Berechnungen wurden für zwei der vier zu betrachtenden Anlagen begonnen und laufen derzeit.

4.3 NEUBEWERTUNG DER DATEN AUS FV 3609S80002 GEMÄß ICNIRP 2010

Die Neubewertung der Berechnungsergebnisse aus FV 3609S80002 läuft derzeit ebenfalls.

5. ERGEBNISSE

Die Messungen an den EAS Anlagen zeigen, wie auch schon im Rahmen von FV 3609S80002, teilweise lokale Überschreitungen der Referenzwerte in der Nähe der Antennen. Unter den von der entsprechenden Produktnorm geforderten Messbedingungen und Mittelung der Feldstärken über das zu verwendende Messpunktgitter liegen die Feldstärkemittelwerte unterhalb der Referenzwerte.

Bei der Auswertung der Berechnungsergebnisse aus FV 3609S80002 nach den ICNIRP 2010 Empfehlungen ergeben sich vor allem im Hinblick auf die Bewertung der Verhältnisse für das periphere Nervensystem teilweise Konflikte mit den Basiswerten. Dies beruht vor allem auf einer Problematik, die mit der Wahl der elektrischen Leitfähigkeit der Haut (gemäß ICNIRP 2010 als Maß für die Beurteilung der Exposition von peripherem Nervengewebe heranzuziehen) im Zuge der Berechnungen zusammenhängt. Bei Verwendung von Leitfähigkeitswerten, wie sie aus gegenwärtig verfügbaren Gewebeparameter-Datenbanken ableitbar, jedoch nicht repräsentativ für Hautschichten mit peripheren Nervenstrukturen sind, ergeben sich massive Überschreitungen der Basiswerte. Die Frage nach einer repräsentativen Leitfähigkeit für die Haut erscheint daher dringend klärungsbedürftig.

6. GEPLANTE WEITERARBEIT

Es wird ein zeitnaher Abschluss der Messungen an den EAS Anlagen angestrebt, um unmittelbar im Anschluss daran auch die ausständigen numerischen Berechnungen mit den EAS Anlagen weiterführen und abschließen zu können. Die Neuauswertungen der Berechnungsergebnisse aus FV 3609S80002 wird plangemäß fortgeführt.

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	Beginn 01.03.2012	Ende 28.02.2014	Fördermittel EUR 272.142,-
Forschungs- / Auftragnehmer Universität Würzburg			
Projektleitung Prof. Dr. H. Stopper	Fachbetreuung BfS Dr. A. Dehos / AG-SG 1.4		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 ist 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

Eine Expositionsrichtung soll erstellt werden, die es erlaubt, Zellen mit Mobilfunkfeldern moduliert nach GSM¹⁾-(900 MHz), UMTS²⁾-(1 950 MHz) und LTE³⁾-Standard (2 535 MHz) zu exponieren. Dabei sind Expositionszeiten von 4 h und 66 h mit einer über die Zellen gemittelten spezifischen Absorptionsrate (SAR) von 0 W/kg (Scheinxposition), 0,5 W/kg, 1 W/kg, 2 W/kg und 4 W/kg vorgesehen. Dabei werden während der Expositionen alle wichtigen Parameter laufend aufgezeichnet. Temperatur-Effekte werden vorab am Ort der exponierten Zellen bestimmt.

2.2 BIOLOGIE

Ziel ist zunächst, aus den vorgegebenen Bereichen Zellfunktion und -differenzierung, Reparatur- und Kontrollmechanismen, genotoxische und epigenetische Effekte sowie Apoptose geeignete Endpunkte bzw. Methoden zu identifizieren und diese zu etablieren bzw. zu validieren. Im Anschluss finden die Expositionen in Form von drei unabhängigen Replikat-Experimenten und die biologischen Auswertungen statt. Nach der Entblindung werden die einzelnen Ergebnisse den jeweiligen Expositionsparametern zugeordnet.

3. METHODIK

3.1 EXPOSITION UND DOSIMETRIE

Die Expositionen sollen in einer sogenannten Mikro Transversal-Elektromagnetischen Zelle (μ TEM-Zelle) durchgeführt werden, die speziell für derartige Untersuchungen von der TU Braunschweig entwickelt wurde. Sie ist für alle geplanten Frequenzen nutzbar.

¹⁾ Global system mobile communication

²⁾ Universal Mobile Telecommunications System

³⁾ Long Term Evolution

Konstante Zellkulturbedingungen werden dadurch gewährleistet, dass die μ TEM-Zelle innerhalb eines Inkubators betrieben wird. Dabei wird der konvektionsbedingte Wärmeaustausch zwischen den Zellproben und der geregelten Inkubatoratmosphäre mittels eines Pumpenkreislaufes verbessert.

Zur Sicherung und Dokumentation der Qualität der Expositionsexperimente werden die Temperatur der μ TEM-Zelle, die Temperatur am Ort der Probe sowie die Temperatur, die Luftfeuchte, der Druck und der CO_2 -Gehalt der Inkubatoratmosphäre mindestens einmal pro Minute aufgezeichnet und in einem codierten Datensatz abgelegt. Die Hochfrequenzleistung wird am Ein- und Ausgang der Zelle ebenfalls einmal pro Minute gemessen und aufgezeichnet. Zur Bestimmung der Parameter repräsentativer Signale während der Exposition wurden Entwickler der Fa. Rohde & Schwarz zu Rate gezogen und eine Literaturrecherche durchgeführt. Für die numerische Dosimetrie wurde ein realitätsnahes Simulationsmodell der μ TEM-Zelle (leer und befüllt) erstellt und verwendet.

Die Verblindung der Expositionen wird durch eine selbstentwickelte Software zur Steuerung der gesamten Expositionsanlage gewährleistet.

3.2 BIOLOGIE

In diesem Forschungsvorhaben kommen HL¹⁾-60-Zellen und hämatopoetische Stammzellen zum Einsatz. Folgende Endpunkte werden untersucht:

- Oxidativer Stress mittels DCF²⁾-Analytik;
- Differenzierung mittels CD11b³⁾-Expression und Adhärenz;
- Nukleotidexzisionsreparatur mittels EdU⁴⁾-Inkorporation bzw. Aphidicolin-Comet-Assay;
- Zellzyklus-Bestimmung mittels DNA⁵⁾-Gehaltsbestimmung;
- Quantifizierung von DNA-Strangbrüchen mittels Comet Assay;
- Histonmodifikationen mittels Quantifizierung der Acetylierung am Histon H3;
- Apoptose-Bestimmung mittels Annexin V.

4. DURCHFÜHRUNG

4.1 EXPOSITION UND DOSIMETRIE

Geeignete Testsignale wurden anhand einer Literaturstudie und der Empfehlungen der Entwickler der Fa. Rohde & Schwarz ausgewählt. Die exakte Dosimetrie wurde erstellt. Die Expositionseinrichtung wurde in der PTB⁶⁾ Braunschweig unter Berücksichtigung der Ziele und der genannten Methodik entwickelt, realisiert und im Institut für Pharmakologie und Toxikologie der Julius Maximilians Universität Würzburg aufgebaut. Anhand von Probeexpositionen wurden sowohl Aufbau als auch Steuerungssoftware optimiert.

4.2 BIOLOGIE

Für die HL-60-Zellen wurden für alle Endpunkte die entsprechenden Testmethoden einschließlich der jeweils geeigneten Positivkontrollen in mehreren unabhängigen Replikaten etabliert und validiert.

5. ERGEBNISSE

5.1 EXPOSITION UND DOSIMETRIE

Die Funktionalität der Expositionsanlage wurde verifiziert. Es zeigte sich jedoch, dass im Fall von GSM unter Verwendung der eingestellten Signalparameter maximal 0,5 W/kg SAR in den Zellen erreicht werden kann.

1) humane promyelozytische Leukämiezellen

2) ein Fluoreszenzfarbstoff, 2,7-Dihydrodichlorofluorescein

3) ein Oberflächenantigen

4) 5-Ethynyl-2'-Desoxyuridin

5) Desoxyribonukleinsäure

6) Physikalisch-Technische Bundesanstalt

Bei den GSM- und UMTS-Expositionen ist eine maximale Erwärmung der Proben von bis zu 2,0 °C zu beobachten. Für die Expositionen soll daher die Inkubator-Temperatur auf 36,0 °C abgesenkt werden. Damit werden die Zellen bei allen Intensitäten bei einer Temperatur von 37,0 °C ± 1,0 °C exponiert. Für die LTE-Expositionen soll die Inkubator-Temperatur bei 37,0 °C belassen werden. Die Verblindung würde dann separat für die LTE-Expositionen und gemeinsam für die UMTS- und GSM-Expositionen erfolgen. Eine entsprechende Anpassung der Steuersoftware wurde erstellt.

5.2 BIOLOGIE

Alle Methoden wurden erprobt und liefern stabile Ergebnisse. Ausnahme war bisher lediglich die Nukleotidexzisionsreparatur, bei der inkonsistente Ergebnisse erzielt wurden. Die als Positivkontrollen vorgesehenen Chemikalien führen bei allen Methoden zu einer deutlichen Änderung des entsprechenden Endpunktes.

6. GEPLANTE WEITERARBEIT

Es sollen zusätzliche Methoden zur Quantifizierung der Nukleotidexzisionsreparatur etabliert werden. Im weiteren Verlauf werden die Expositionen mit den HL-60-Zellen begonnen. Parallel dazu wird überprüft, ob die etablierten Methoden auf die hämatopoetischen Stammzellen übertragbar sind. Anderenfalls werden alternative Methoden etabliert.

Im Jahr 2012 begonnene Forschungsvorhaben, deren Ergebnisse noch nicht vorliegen

Research projects initiated in 2012 of which the results are not available yet

THEMENBEREICH 04 / MEDIZINISCHE STRAHLENEXPOSITION / RÖNTGENVERORDNUNG

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 01.12.2012	Ende 30.09.2014	Fördermittel EUR 251.090,-
Forschungs- / Auftragnehmer			
Klinik und Poliklinik für Nuklearmedizin der Universität Würzburg, Würzburg			
Projektleitung Prof. Dr. Chr. Reiners		Fachbetreuung BfS A. Erzberger / AG SG 2.1	

Ziel des Forschungsvorhabens ist die Abschätzung des Risikos von Zweittumoren, im besonderen Brustkrebs, bei weiblichen Patienten, die im Kindes- bzw. Jugendalter wegen eines Schilddrüsenkarzinoms infolge des Reaktorunfalls in Tschernobyl radioiodtherapiert wurden. Da die Zusammenhänge zwischen Brustkrebsinzidenz nach einer Radioiodtherapie (RIT) in den bisherigen Studien kontrovers bewertet werden und Forschungsergebnisse aus Screeninguntersuchungen zur Frühdiagnose von Brustkrebs bei diesem Hochrisikokollektiv bisher kaum vorliegen, sollen in einer Machbarkeitsstudie an einem ausgewählten Patientinnen- und Kontrollkollektiv aus Weißrussland die Voraussetzungen und die Rahmenbedingungen einer prospektiven Langzeitstudie ermittelt werden. Die Analyse der Ergebnisse der Machbarkeitsstudie hinsichtlich des organisatorischen, personellen, finanziellen und wissenschaftlichen Aufwands soll klären, ob eine Folgestudie zum Brustkrebsrisiko nach RIT eines Schilddrüsenkarzinoms bei einer größeren Patientinnengruppe realisiert werden kann.

Bei dem Forschungsvorhaben geht es insbesondere um die folgenden vier Einzelziele:

1. Die aktuelle Datenlage zur Frage des Brustkrebsrisikos nach RIT soll ermittelt werden. Dabei sollen die bisherigen Arbeiten des Auftragnehmers, wichtige Untersuchungen anderer Forschungseinrichtungen sowie internationaler und nationaler Gremien und wissenschaftliche Veröffentlichungen in einem Literaturreview zusammengefasst werden.
2. Ein Modell für die länderübergreifende Kooperation entsprechender medizinischer Zentren soll entwickelt werden, um eine genügend große Anzahl von Probandinnen für die Folgestudie zu rekrutieren. Mit dem zu entwickelnden Fragebogen sollen die für Bestimmung des Brustkrebsrisikos relevanten Daten der untersuchten Frauen erfasst werden. Der zeitliche Ablauf und die Reihenfolge der Untersuchungen sollen in einem Untersuchungsprogramm dargestellt werden.
3. Zur Erprobung des praktischen Arbeitsablaufs sollen je 100 Patientinnen und vergleichbare Kontrollen entsprechend dem Studienprotokoll in Weißrussland untersucht werden.
4. Die aus den Untersuchungen gewonnenen Daten sollen in eine bereits bestehende klinische, webbasierte Datenbank eingepflegt werden, in der u. a. radioiodtherapiebedingte Nebenwirkungen wie die Induktion von Zweittumoren (Brustkrebs) erfasst werden sollen.

THEMENBEREICH 07 / VORHABEN MIT ALLGEMEINER BEDEUTUNG FÜR DEN STRAHLENSCHUTZ

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	Beginn	Ende	Fördermittel
3611S70018	01.06.2012	31.05.2014	EUR 253.394,-
Forschungs- / Auftragnehmer			
TÜV SÜD Industrie Service GmbH, München			
Projektleitung	Fachbetreuung BfS		
Dr. R. Schütz	Dr. C. Strobl / SW 1.4		

Zur Bestimmung der Aktivitätsableitungen von kerntechnischen Anlagen werden der Kaminfortluft mit Hilfe von Probeentnahmeeinrichtungen 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, die Verteilung der Aktivität als Funktion des Aerosolpartikeldurchmessers für einzelne Radionuklide und über Abscheideverluste in Abhängigkeit von der Partikelgröße erforderlich. Für den Normalbetrieb von kerntechnischen Anlagen ist dieser Sachverhalt hinlänglich bekannt und untersucht. Dahingegen sind bei Rückbaumaßnahmen deutliche Abweichungen sowohl bei Nuklidvektoren als auch bei der Verteilung der Aerosolpartikeldurchmesser zu erwarten.

Das Ziel des Forschungsvorhabens ist die Durchführung sowohl einer Literaturstudie als auch einer experimentellen Pilotstudie. Diese Pilotstudie soll insbesondere die experimentelle Bestimmung der Größenverteilung und der nuklidbezogenen Aktivitätsverteilungsdichte von Aerosolpartikeln in der Gesamtfortluft sowie in Teilabluftsträngen von im Rückbau befindlichen kerntechnischen Anlagen beinhalten. Darüber hinaus sind die Abscheideverluste rechnerisch zu bestimmen.

Bisher wurden im Rahmen des Projektes Vorbereitungsarbeiten für die Messungen in einer sich im Rückbau befindlichen Anlage durchgeführt. Aussagekräftige Ergebnisse können nur in einer geeigneten Anlage, in der entsprechende Rückbautätigkeiten durchgeführt werden, gewonnen werden, so dass auf dem Auswahlprozess ein Hauptaugenmerk der bisherigen Tätigkeit lag. Entsprechende Verhandlungen mit Betreibern von im Rückbau befindlichen kerntechnischen Anlagen und den zuständigen Ministerien wurden geführt.

Thema			
Fortschreibung der Untersuchung und Bewertung der tätigkeitsbezogenen Strahlenexposition in Anlagen nach AtG, standortnahen Zwischenlagern für radioaktive Abfälle und abgebrannte Brennelemente 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	Beginn	Ende	Fördermittel
3612S20001	01.11.2012	31.09.2015	EUR 375.003,-
Forschungs- / Auftragnehmer			
Gesellschaft für Anlagen- und Reaktorsicherheit (GRS) mbH, Köln			
Projektleitung	Fachbetreuung BfS		
Dr. J. Kaulard	Dr. G. Frasch / AG SG 2.3		

In dem im Nov. 2012 begonnenen Anschlussvorhaben werden die Datenerhebungen über die tätigkeitsbezogenen Strahlenexpositionen in kerntechnischen Anlagen für die Jahre 2011 bis 2013 fortgesetzt. Datenerhebung, -aufbereitung, Analyse und internationale Zusammenarbeit erfolgen entsprechend diesem Vorhaben. Einbezogen sind Leistungskernkraftwerke, Anlagen in der Stilllegung, Anlagen des Kernbrennstoffkreislaufs sowie standortnahe Bereitstellungs- und Zwischenlager.

Thema			
Ermittlung der Zuverlässigkeit von Dosiskoeffizienten für Radiopharmaka			
Subject			
<i>Assessment of the reliability of dose coefficients for radiopharmaceuticals</i>			
Kennzeichen	Beginn	Ende	Fördermittel
3612S20013	01.10.2012	30.09.2014	EUR 206.251,-
Forschungs- / Auftragnehmer			
Helmholtz Zentrum München			
Projektleitung	Fachbetreuung BfS		
Dr. W. Li	Dr. A.Giussani / AG-SG 2.2		

Die interne Dosis durch inkorporierte radioaktive Stoffe kann nicht gemessen, sondern nur mittels biokinetischer und dosimetrischer Modelle ermittelt werden. Damit unterliegt sie deutlich größeren Unsicherheiten als die externe Dosis. Zur Ermittlung der Dosis für Radiopharmaka werden Dosiskoeffizienten verwendet, mit denen aus der zugeführten Aktivität von Radiopharmaka die daraus resultierenden Dosen der Körperorgane berechnet werden. Die überwiegend verwendeten Dosiskoeffizienten werden von der internationalen Strahlenschutzkommission ICRP oder vom amerikanischen MIRD-Komitee (Medical Internal Radiation Dose) empfohlen. In der Nuklearmedizin werden die Dosiskoeffizienten u. a. verwendet, um alternative diagnostische Verfahren miteinander zu vergleichen und die Methodik auszuwählen, die bei vergleichbarer diagnostischer Qualität die niedrigste Patientenexposition verursacht. Um solche Vergleiche korrekt durchführen und interpretieren zu können, sind Angaben über die Unsicherheit der Dosiskoeffizienten notwendig. Bisher liegen keine systematischen Studien zur Unsicherheit bei nuklearmedizinischen Dosisabschätzungen vor. Ziel des Vorhabens ist es, die Zuverlässigkeit von Dosiskoeffizienten für Radiopharmaka zu ermitteln sowie die biokinetischen und dosimetrischen Parameter zu identifizieren, die am meisten zur Unsicherheit der Dosiskoeffizienten beitragen. Zur Erreichung dieses Ziels werden Methoden für die Unsicherheits- und Sensitivitätsanalyse biokinetischer und dosimetrischer Modelle entwickelt und auf spezifische Radiopharmaka angewendet.

Thema Übersicht über vorhandene Tiermodelle, die für die Leukämieforschung angewandt werden können			
Subject <i>Overview about available murine models applicable for leukemia research</i>			
Kennzeichen 3612S70029	Beginn 01.11.2012	Ende 31.10.2013	Fördermittel EUR 61.242,-
Forschungs- / Auftragnehmer Heinrich-Heine-Universität, Düsseldorf			
Projektleitung Prof. Dr. med. A. Borkhardt	Fachbetreuung BfS Dr. S. Hornhardt / AG-SG 1.1		

Verschiedene Studien haben einen Zusammenhang zwischen der Nähe des Wohnortes zu einem Atomkraftwerk und der Entstehung einer Leukämie bei Kindern jünger als fünf Jahren gefunden. Konsistent sind auch die 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 der Strahlenwirkungen nicht erklären. Deshalb ist eine eingehende Erforschung der Ursachen der Leukämie im Kindesalter und speziell der prädisponierenden genetischen Faktoren, zugrunde liegender Mechanismen und der Wirkung von Umweltfaktoren unbedingt notwendig. Eine Möglichkeit besteht darin, Untersuchungen an angemessenen Tier- bzw. Mausmodellen vorzunehmen. Ziel des Projektes ist daher die Erstellung eines aktuellen Berichts, der nach Literaturrecherche den aktuellen Kenntnisstand zu verfügbaren Tiermodellen der kindlichen Leukämie wiedergibt. Der Schwerpunkt des Berichtes wird auf der Diskussion von gentechnisch modifizierbaren Mausmodellen, welche für die Erforschung der „akuten lymphatischen Leukämie“ (ALL) angewandt werden können, liegen. Es wird eine Literaturrecherche unter Verwendung von online-Datenbanken und wissenschaftlichen Journalen, welche die aktuelle primäre Literatur sowie Übersichtsartikel beinhalten, durchgeführt.

Kontaktadressen

Fragen nach näheren Informationen über die in diesem Programmreport genannten Projekten können an folgende Stellen gerichtet werden:

Bundesamt für Strahlenschutz
Verwaltungsmäßige Bearbeitung der Ressortforschung AG 3
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 2
Postfach 10 01 49
38201 Salzgitter
Tel.: (030) 18333-2111 oder -2119
Fax: (01888) 10 333-2111 oder -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

| Verantwortung für Mensch und Umwelt |

Kontakt:

Bundesamt für Strahlenschutz

Postfach 10 01 49

38201 Salzgitter

Telefon: + 49 03018 333 0

Telefax: + 49 03018 333 1885

Internet: www.bfs.de

E-Mail: ePost@bfs.de

Gedruckt auf Recyclingpapier aus 100 % Altpapier.



Bundesamt für Strahlenschutz