Strahlenschutzforschung

Programmreport 2016

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

Schriften

Bundesamt für Strahlenschutz

Redaktion:

Annemarie Schmitt-Hannig

Dr. Angelika Löbke-Reinl

Dr. Josef Peter

Ralph Gödde

Claudia Hachenberger

Angela Trugenberger-Schnabel

BfS-SCHR-62/17

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

urn:nbn:de:0221-2017102314426

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

Salzgitter, Oktober 2017

Strahlenschutzforschung

Programmreport 2016

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

Schriften

INHALT

ZUSAMMENFASSUNG IX

VORBEMERKUNG IX

EINFÜHRUNG IX

ZUSAMMENFASSUNG DER FORSCHUNGSERGEBNISSE 2016 X

ERGEBNISSE (ABSCHLUSSBERICHTE)
RESULTS (FINAL REPORTS)

THEMENBEREICH 01
NATÜRLICHE STRAHLENEXPOSITION

SUBJECT AREA 01
NATURAL RADIATION EXPOSURE

Methodische Untersuchungen zur Qualifizierung der VOC-Kammern zur Bestimmung der Radonexhalationsrate von Bauprodukten, Los 1 ..... ***2***
Systematic investigations on the use of VOC chambers for the determination of the radon exhalation rate of building products, lot 1
3613S10021

4. Mortalitäts-Follow-Up der Kohorte von ca. 64 000 ehemaligen Wismutbeschäftigten zum Stichtag 31.12.2013 ..... ***8***
Fourth follow-up of the mortality of the cohort of approximately 64 000 former Wismut employees at the appointed date 31/12/2013
3613S10022

THEMENBEREICH 02
STRAHLENSCHUTZTECHNIK

SUBJECT AREA 02
RADIATION PROTECTION TECHNIQUES

Konzepte zur Charakterisierung klinischer CT-Systeme unter Einbeziehung von Bildqualität und Dosis ... ***12***
Development and implementation of concepts for characterisation of clinical CT systems considering image quality and dose
3613S20007

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

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

Validierung eines genomischen PCR-Verfahrens zum Nachweis von chromosomalen Translokationen zur Identifizierung prä-leukämischer Zellen bei Kindern - Pilotstudie ***20***
Validation of a genomic PCR approach to detect chromosomal translocations to identify pre-leukaemic cells in children - pilot study
3614S30034

Machbarkeitsstudie zum Aufbau einer Geburtskohorte und zur Überprüfung genetischer Prädisposition bei kindlichen Leukämien - Verbesserung der Teilnahmebereitschaft **27**
Feasibility study for establishing a birth cohort and for testing genetic predisposition to childhood leukaemia
3614S30035

Internationaler Workshop zur Ursachenforschung von Leukämie bei Kindern **33**
International Workshop on the Causes of Childhood Leukemia
3616I02233

THEMENBEREICH 04
MEDIZINISCHE STRAHLENEXPOSITION / RÖNTGENVERORDNUNG

SUBJECT AREA 04
MEDICAL RADIATION EXPOSURES / X-RAY ORDINANCE

Erfassung der Häufigkeit bildgebender Diagnostik im stationären Bereich **40**
Assessment of the frequency of diagnostic imaging in the hospital sector
3613S20020

Evaluation der Brustkrebsmortalität im deutschen Mammographie-Screening-Programm - Machbarkeitsstudie I und II **45**
Evaluation of the breast cancer mortality in the German mammography-screening-program - Feasibility study I and II
3610S40002
3614S40002

Europäische Empfehlungen für Anforderungen an medizinisch-radiologische Geräte (Radiation Protection 162) - Inhaltlicher Abgleich mit dem deutschen untergesetzlichen Regelwerk **51**
European recommendations on criteria for acceptability of medical radiological equipment (RP162) - comparison with German regulatory guidance instruments
361642330

THEMENBEREICH 05
RADIOÖKOLOGIE

SUBJECT AREA 05
RADIOECOLOGY

Fachliche Unterstützung des BfS bei der Erstellung von Referenzbiosphärenmodellen für den radiologischen Langzeitsicherheitsnachweis von Endlagern - Quantitative Modellierung des Radionuklidtransports in der Biosphäre **56**
Supporting the Federal Office for Radiation Protection in the development of reference biosphere models for the radiological long-term safety assessment of nuclear waste repositories - Quantitative Modelling of the radionuclide transport in the biosphere
3614S50010

Erweiterung des Strömungsmodells in ARTM (Atmosphärisches-Radionuklid-Transport-Modell) zur Bearbeitung komplexer Standortbedingungen **61**
Enhancement of the flow model in ARTM (atmospheric radionuclide transport model) for the processing of complex site conditions
3615S52507

THEMENBEREICH 06
NOTFALLSCHUTZ

SUBJECT AREA 06
EMERGENCY MANAGEMENT

Ergänzung der Quelltermdatenbank des Entscheidungshilfesystems RODOS für Freisetzungen aus Brennelement-Lagerbecken in Kernkraftwerken **64**
Complement of the source term data bank of the decision support system RODOS for releases from spent fuel pools in nuclear power stations
3614S60033

Verifizierung des Dosismoduls DARTM (Dosis-Atmosphärisches-Radionuklid-Transportmodell) **67**
Verification of the dose module DARTM (Dose-Atmospheric-Radionuclide-Transport Model)
3615S62542

THEMENBEREICH 07
VORHABEN MIT ALLGEMEINER BEDEUTUNG FÜR DEN STRAHLENSCHUTZ

SUBJECT AREA 07
PROJECTS OF GENERAL IMPORTANCE TO RADIATION PROTECTION

Fortschreibung der Untersuchung und Bewertung der tätigkeitsbezogenen Strahlenexposition in Anlagen nach AtG, standortnahen Zwischenlagern für radioaktive Abfälle und nichtkerntechnischen Einrichtungen nach StrlSchV und RöV **74**
Update and evaluation of task-related exposure in nuclear facilities and other radiation relevant installations under the aspect of optimisation
3612S20001

Untersuchungen zur Strahlenexposition der Augenlinse von beruflich strahlenexponiertem Personal **78**
Studies on the radiation exposure of the eye lens of radiation-exposed workers
3613S40011

Überarbeitung der Strahlenschutzverordnung bezüglich der Regelungen zur Freigabe künstlicher radioaktiver Stoffe zur Umsetzung der neuen Euratom-Grundnormen in deutsches Recht - Konzept zur Umsetzung **84**
Revision of the radiation protection ordinance with respect to clearance of material with artificial contamination for the transposition of the new Euratom Basic Safety Standards into German legislation - concept for implementation
3614R03520

Überarbeitung der Strahlenschutzverordnung bezüglich der Freigrenzen von radioaktiven Stoffen zur Umsetzung der neuen Euratom-Grundnormen in deutsches Recht **88**
Revision of the radiation protection ordinance with respect to the exemption values for radioactive substances for the transposition of the new Euratom Basic Safety Standards into German legislation
3614S70051

Untersuchung und Bewertung des Detrimentbegriffs im Strahlenschutz **92**
Exploration and assessment of the concept of "detriment" in radiation protection
3615S72264

4. Internationales Seminar „Strahlenunfallmedizin in Forschung und Praxis“: Gesundheitsfolgen 30 Jahre nach Tschernobyl, 5 Jahre nach Fukushima **96**
4th International Seminar „Radiation Emergency Medicine in Research and Practice“: Health effect 30 years after Chernobyl, 5 years after Fukushima
3616I02211

THEMENBEREICH 08
NICHTIONISIERENDE STRAHLUNG

SUBJECT AREA 08
NON-IONISING RADIATION

Einfluss hochfrequenter elektromagnetischer Felder auf die Gehirnaktivität, Schlaf und kognitive Leistungsfähigkeit älterer Frauen **100**
Effect of high frequency electromagnetic fields on brain activity, sleep and cognitive performance in elderly women
3614S30012

Kosmetik, Wellness, Gesundheit - optische Strahlenquellen außerhalb der Medizin. Systematische Erfassung und Charakterisierung von Strahlenquellen und ihren Anwendungen im gewerblichen sowie im Heimbereich **106**
Cosmetics, wellness, health - non medical optical radiation sources. Systematic identification and characterisation of optical radiation sources and their applications in the professional and home area
3614S80007

Weiterführende Untersuchungen zur Dosimetrie einer tierexperimentellen Studie an Labornagern mit hochfrequenten elektromagnetischen Feldern **110**
Refined evaluations on the dosimetric assessment of an animal laboratory study on radiofrequency electromagnetic fields
3615S82433

THEMENBEREICH 09
DEUTSCHES MOBILFUNK-FORSCHUNGSPROGRAMM

SUBJECT AREA 09
GERMAN MOBILE TELECOMMUNICATION RESEARCH PROGRAMME

Evaluierung des EMF-Portals und Ableitung von Erkenntnissen und Empfehlungen für dessen weitere Gestaltung **118**
Evaluation of the EMF-Portal and recommendations for its future presentation
FM8857

Einfluss hochfrequenter Felder des Mobilfunks auf das blutbildende System in vitro: Untersuchungen zur Reproduzierbarkeit der Ergebnisse **125**
Influence of high frequency electromagnetic fields of mobile communications on the hematopoietic system in vitro: Studies of the reproducibility of the results
FM8863

Divergierende Risikobewertungen im Bereich Mobilfunk **130**
Divergent risk assessments in the field of mobile communications
FM8865

STATUSBERICHTE
STATUS REPORTS

THEMENBEREICH 01
NATÜRLICHE STRAHLENEXPOSITION

SUBJECT AREA 01
NATURAL RADIATION EXPOSURE

Erstellung einer Bioprobendatenbank der an Lungenkrebs verstorbenen Wismutarbeiter aus dem Wismut Pathologiearchiv **138**
Establishment of a biobank based on the Wismut pathology archive of former Wismut workers who died of lung cancer
3614S10015

Erfassung der biokinetischen und dosimetrischen Unsicherheiten bei der Dosisermittlung nach Inkorporation von Uran und Radon-Folgeprodukten und deren Anwendung bei Bergbau-Arbeitern und Uran-Aufbereitern der WISMUT-Kohorte **140**
Evaluation of the biokinetic and dosimetric uncertainties on the dose assessement following intake of uranium and radon progeny, and their application to miners and millers of the WISMUT-cohort
3615S12230

Ermittlung von potenziellen Strahlenexpositionen durch Ableitungen aus NORM-relevanten Industriezweigen **143**
Determination of potential exposure to radiation due to discharges from NORM relevant industrial sectors
3615S12232

Ermittlung und Quantifizierung der durch die Umsetzung der Euratom-Direktive von Pflichten betroffenen Arbeitsplätze **146**
Identification and quantification of work places affected by the implementation of the Euratom Directive
3616S12340

THEMENBEREICH 02
STRAHLENSCHUTZTECHNIK

SUBJECT AREA 02
RADIATION PROTECTION TECHNIQUES

Schaffung einer operationellen Infrastruktur zur Analyse von Spektren aus Halbleiterdetektoren mit mittlerer Energieauflösung **150**
Supply of an operational infrastructure for analysis of spectrum obtained with semiconductor detector of intermediate resolution
3615S22530

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

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

Genomweite Analyse genetisch bedingter Strahlenempfindlichkeit in Wismut Bergarbeitern: Datenauswertung und Bewertung der Assoziationsanalysen **154**
Genome wide analysis of radiation sensitivity in former uranium miners of SDAG Wismut - Data analysis and assessment of the association analyses
3615S32253

Identifizierung strahlenspezifischer Biomarker in Brusttumorpatienten - zu Grunde liegende molekulare Mechanismen der strahleninduzierten Mammakarzinogenese **158**
Identification of radiation-specific biomarkers in breast cancer patients -molecular mechanisms underlying radiation-induced breast carcinogenesis
3615S32454

Charakterisierung von Exosomen nach In-vitro- und In-vivo-Bestrahlung als Marker der Strahlenexposition **161**
Characterisation of exosomes after in vitro and in vivo irradiation as biomarker for radiation exposure
3616S32260

THEMENBEREICH 04
MEDIZINISCHE STRAHLENEXPOSITION / RÖNTGENVERORDNUNG

SUBJECT AREA 04
MEDICAL RADIATION EXPOSURES / X-RAY ORDINANCE

Verbesserung der Inhalationsdosimetrie am Arbeitsplatz **164**
Improvement of the inhalation dosimetry at work places
3614S40015

Erstellung und Überarbeitung von technischen Normen für den Strahlenschutz und die Qualitätssicherung in der medizinischen Radiologie **167**
Preparation and revision of technical standards for radiation protection and quality assurance in medical radiology
3615S42320

Untersuchung des Brustkrebsrisikos nach Radioiodtherapie eines Schilddrüsenkarzinoms - Machbarkeitsstudie **170**
Assessment of breast cancer risk following radioiodine treatment for thyroid cancer - feasibility study
3615S42421

THEMENBEREICH 05
RADIOÖKOLOGIE

SUBJECT AREA 05
RADIOECOLOGY

Messtechnische und modellbasierte Abschätzung des Eintrags von I-131 in die OSPAR-Regionen auf Grund der nuklearmedizinischen Anwendungen von Radioiod in Deutschland **174**
Measurements and modelling of I-131 fluxes from nuclear medical applications in Germany into the OSPAR region
3614S50015

Experimentelle und theoretische Untersuchungen zu radioaktiven Quellen und Gegenständen im Stahlschrott **177**
Orphan sources and radioactive materials in steel scrap (experimental and theoretical studies)
3615S52320

THEMENBEREICH 06
NOTFALLSCHUTZ

SUBJECT AREA 06
EMERGENCY MANAGEMENT

Entscheidungsregeln bei kerntechnischen Unfällen: Anwendung von Entscheidungskonzepten für dringende Schutzmaßnahmen **182**
Decision rules at nuclear accidents: application of decision concepts for urgent safety measures
3615S62536

Verfahren zur optimierten Standortauswahl für spektrometrierende Sonden und zur Generierung von Messaufträgen für Notfallschutzübungen **185**
Optimisation procedure for the selection of locations of spectroscopic probes and for the generation of measurement tasks for emergency exercises
3615S62540

THEMENBEREICH 07
VORHABEN MIT ALLGEMEINER BEDEUTUNG FÜR DEN STRAHLENSCHUTZ

SUBJECT AREA 07
PROJECTS OF GENERAL IMPORTANCE TO RADIATION PROTECTION

Überarbeitung von technischen Strahlenschutznormen aus dem Bereich des Normenausschuss Materialprüfung (NMP) **190**
Revision of technical radiation protection standards in the range of the Materials Testing Standards Committee (NMP)
3614S70005

Fortschreibung der Untersuchung und Bewertung der tätigkeitsbezogenen Strahlenexposition in Anlagen nach AtG, standortnahen Zwischenlagern für radioaktive Abfälle und nichtkerntechnischen Einrichtungen nach StrlSchV und RöV **193**
Update and evaluation of task-related exposure in nuclear facilities and other radiation relevant installations under the aspect of optimisation
3615S22301

THEMENBEREICH 08
NICHTIONISIERENDE STRAHLUNG

SUBJECT AREA 08
NON-IONISING RADIATION

Synergetische Wirkung hochfrequenter elektromagnetischer Felder in Kombination mit kanzerogenen Substanzen - Kokanzerogenität oder Tumorpromotion? **198**
Synergetic effect of radiofrequency electromagnetic fields in combination with carcinogenic substances-cocarcinogenity or tumor promotion?
3615S82431

Einfluss hochfrequenter elektromagnetischer Felder auf die Gehirnaktivität, Schlaf und kognitive Leistungsfähigkeit älterer Männer **201**
Effect of high frequency electromagnetic fields on brain activity, sleep and cognitive performance in elderly men
3616S82430

Nebenwirkungen bei Anwendungen optischer Strahlung in der Kosmetik - repräsentative Umfrage **204**
Side effects of using optical radiation in cosmetics - representative survey
3616S82432

2016 BEGONNENE FORSCHUNGSVORHABEN, ZU DENEN NOCH KEINE ERGEBNISSE VORLIEGEN

Research projects initiated in 2016 of which results are not available yet

Ermittlung der Unsicherheiten der Strahlenexpositionsabschätzung in der Wismut-Kohorte - Teil I **208**
Determination of uncertainties in radiation exposure assessment in the Wismut Cohort - part I
3616S12223

Qualifizierung der Luftdichtheitsmessung an Gebäuden zur Ableitung eines Prüfwertes im Hinblick auf die Unterschreitung des Referenzwertes der mittleren Radonkonzentration in Innenräumen **209**
Qualification of the air-tightness measurements of buildings by deriving a test value for the exceedance of a reference value for the average indoor radon concentration
3616S12241

Ermittlung und Bewertung der Strahlenexposition an Arbeitsplätzen mit natürlich vorkommenden radioaktiven Materialien (NORM) **210**
Investigation and assessment of radiation exposures at workplaces with naturally occurring radioactive materials (NORM)
3616S12343

Entwicklung eines kombinierten aero-gammaspektrometrischen Mess- und Beprobungssystems 211
Design and development of a combined airborne gammaspectrometric measurement and air-sampling system
3616S22540

Strahlenresistenzmechanismen in Tumorstammzellen 212
Mechanisms of radioresistance in cancer stem cells
3616S32262

Weiterentwicklung des atmosphärischen Ausbreitungsmodells ARTM bezüglich weiterer Anwendungsbereiche, Windfeld- und Grenzschichtmodell, Dokumentation 213
Enhancement of the atmospheric dispersion model ARTM considering additional areas of application, wind field and boundary layer models, and documentation
3616S72575

Modellbasierte Ermittlung des Eintrags von I-131 in die OSPAR-Regionen des Nordostatlantiks auf Grund von nuklearmedizinischen Anwendungen mit Radioiod in Deutschland 214
Model based evaluation of I-131 fluxes from nuclear medical applications with radioactive iodine in Germany into the OSPAR-Regions of the Northeast Atlantic
3616S72570

Exposition und Wirkungen der elektromagnetischen Felder neuartiger Technologien im Zwischenfrequenzbereich - systematische Review 215
Exposure and effects of electromagnetic fields of new technologies operating in the intermediate frequency range - a systematic review
3616S82437

Leukämie im Kindesalter - Einfluss des Immunsystems auf die Entstehung der Erkrankung (experimentelle Studie an einem geeigneten Tiermodell) 216
Childhood leukemia - influence of the immune system on the development of the disease (experimental study in a suitable animal model)
3616S82440

Verzeichnis der Abbildungen und Tabellen 217

Abkürzungen 222

Kontaktadressen 223

ZUSAMMENFASSUNG

Das Bundesamt für Strahlenschutz (BfS) vergibt im Auftrag des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit (BMUB) Forschungsvorhaben auf dem Gebiet des Strahlenschutzes. Die Ergebnisse dieser Vorhaben dienen als Entscheidungshilfen bei der Erarbeitung von Strahlenschutzvorschriften und bei der Erfüllung sonstiger Fachaufgaben im Bereich Strahlenschutz. Die Planung, fachliche und administrative Vorbereitung, Vergabe, Begleitung sowie fachliche Bewertung der Ergebnisse der Untersuchungsvorhaben ist grundsätzlich Aufgabe des Bundesamtes für Strahlenschutz. Der vorliegende Bericht informiert über Ergebnisse (in Form von Abschlussberichten) bzw. Zwischenergebnisse (in Form von Statusberichten) von Strahlenschutzvorhaben des BMUB-Umweltforschungsplans, die im Jahr 2016 erzielt wurden.

Vorbemerkung

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

Einführung

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

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

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

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

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

Da die zivilisatorische Strahlenexposition der Bevölkerung zum überwiegenden Teil durch die **medizinische Strahlenexposition** moderner Diagnosemethoden bestimmt wird, ist diese ein weiterer Schwerpunkt der Projekte im BMUB-Umweltforschungsplan 2016. Hier kommt es vor allem darauf an, dass der gesundheitliche Nutzen einer Anwendung am Menschen gegenüber dem Strahlenrisiko überwiegt. Nutzen und Risiken von Untersuchungsverfahren sind abzuwägen, nach risikoärmeren Alternativverfahren ist zu suchen und die Strahlenexposition ist durch geeignete Verfahren zu reduzieren.

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

Überall, wo mit radioaktiven Stoffen oder ionisierender Strahlung gearbeitet wird, kann es auf Grund menschlichen und/oder technischen Versagens zu Zwischenfällen kommen, bei denen radioaktive Stoffe freigesetzt und/oder Personen Strahlung ausgesetzt werden. Deshalb ist die Ermittlung und Optimierung von 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 ist laufend zu optimieren.

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

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

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

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

Zusammenfassung der Forschungsergebnisse 2016

Im Folgenden wird über Ergebnisse im Jahr 2016 abgeschlossener Forschungsvorhaben berichtet:

THEMENBEREICH 01 - NATÜRLICHE STRAHLENEXPOSITION

Das Forschungsvorhaben **„Methodische Untersuchungen zur Qualifizierung der VOC-Kammern zur Bestimmung der Radonexhalationsrate von Bauprodukten, Los 1“ (3613S10021)** hat bestätigt, dass die Messung der Radonexhalationsrate von Bauprodukten in dynamisch betriebenen Emissionsprüfkammern mit kommerziell erhältlicher Radonmesstechnik möglich ist. Durch den dynamischen Kammerbetrieb werden die beim statischen Betrieb präsenten Probleme des unerwünschten Luftwechsels auf Grund von Leckagen der Prüfkammer sowie der sogenannten "back diffusion" eliminiert. Die Exhalationsrate kann innerhalb weniger Tage bestimmt werden, da die Einstellung einer konstanten Radonaktivitätskonzentration abhängig von der Luftwechselrate innerhalb einiger Stunden erfolgt. Es wurde gezeigt, dass das Prüfverfahren bezüglich der Parameter Luftwechselrate, Produktbeladung, Lufttemperatur sowie Luftfeuchtigkeit in einem weiten Parameterbereich robust ist. Durch Anlehnung an die europäische Vornorm prEN 16516 wurde ein Prüfverfahren entwickelt, das einfach in die bestehende Infrastruktur integrierbar und entsprechend praxisnah ist.

Das Bundesamt für Strahlenschutz führt eine Kohortenstudie an ca. 60 000 ehemaligen Beschäftigten des Uranbergbaubetriebes der Wismut durch. Ziel ist die Abschätzung des Gesundheitsrisikos durch Strahlung, Staub und andere Noxen. Im aktuellen Vorhaben **„4. Mortalitäts-Follow-Up der Kohorte von ca. 64 000 ehemaligen Wismutbeschäftigten zum Stichtag 31.12.2013“ (3613S10022)** sollte in einem vierten Mortalitäts-Follow-Up der Vitalstatus von 32 778 Kohorten-Mitgliedern, die im dritten Follow-Up als noch lebend er-

mittelt worden waren, bestimmt werden und für Verstorbene die Todesursache zum Stichtag 31.12.2013. 4 118 dieser Personen (12,6 %) wurden nun als „verstorben“ gemeldet, 28 573 Personen (87,2 %) konnten als „lebend“ ermittelt werden. Für 87 Personen (0,3 %) konnte kein Vitalstatus festgestellt werden („nicht zu ermitteln“: 2; „ins Ausland verzogen“: 48; „unbekannt verzogen“: 37). Für 98,0 % der verstorbenen Personen konnte die Todesursache ermittelt werden. Zusätzlich sollte für eine Gruppe von 1 350 Personen, sogenannten „Sonderfällen“, für die aus dem vorherigen Follow-Up keine Information zum Vitalstatus vorlag, Vitalstatus und gegebenenfalls Todesursache ermittelt werden. 62 dieser Personen wurden als „lebend“ identifiziert und 248 als „verstorben“. Für 106 der Verstorbenen (42,7 %) konnte die Todesursache bestimmt werden.

THEMENBEREICH 02 - STRAHLENSCHUTZTECHNIK

Ziel des Vorhabens **„Konzepte zur Charakterisierung klinischer CT-Systeme unter Einbeziehung von Bildqualität und Dosis“ (3613S20007)** war die Entwicklung eines Verfahrens zur Bewertung der Dosiseffizienz von Computertomographie-Scannern (CT-Scannern). Ausgangspunkt war die Bestimmung der Bildqualität in Abhängigkeit der Patientendosis. Die Patientendosis wurde mit der Standard-Metrik in der CT, dem pitch-unabhängigen Volumen-CT-Dosisindex ($CTDI_{vol}$), bestimmt. Der $CTDI_{vol}$ stellt die applizierte Dosis pro Schicht dar. Zur Bestimmung der Bildqualität wurde von konkreten klinischen Anwendungsbeispielen (medizinische Indikation, „task-based approach“ - anwendungsorientierter Ansatz) ausgegangen. Für die Erkennung einfacher Strukturen vor homogenem Hintergrund wurden zwei Konzepte gewählt, die verschiedene Modelle eines Betrachters mit unterschiedlichem Erkennungsvermögen für feine Strukturen darstellen: Beim Konzept des idealen Betrachters wird angenommen, dass Bildstrukturen unterschiedlicher Granularität gleichermaßen gut aufgelöst werden, woraus maximaler Informationsgewinn resultiert. Beim Konzept des „anthropomorphen Betrachters“ wird das Auflösungsvermögen des Menschen simuliert. Beide Konzepte wurden auf acht CT-Scannern neueren, unterschiedlichen Gerätetyps getestet. Die sechs ausgewählten, verschiedenen klinischen CT-Protokolle stellen verschiedene klinische Fragestellungen dar. Insgesamt wurden 96 Messreihen (8 Scanner * 6 Protokolle * 2 Konzepte) durchgeführt. Ein Dosis-Effizienz-Index wurde vorgeschlagen, der zukünftig die Bewertung der Dosiseffizienz von CT-Scannern anhand von Bildqualitätskriterien ermöglichen soll.

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

Die akute lymphoblastische Leukämie (ALL) bei Kindern ist gekennzeichnet durch das Auftreten prä-leukämischer chromosomaler Translokationen bereits vor der Geburt. Die häufigste dieser Translokationen führt zur Bildung des chimären Transkriptionsfaktors ETV6-RUNX1. Für die Bildung einer Leukämie benötigen ETV6-RUNX1-positive prä-leukämische Zellen weitere sekundäre Mutationen, die spontan oder durch Umwelteinwirkungen entstehen können. Um die Inzidenz dieser prä-leukämischen Translokation festzustellen, wurde im Vorhaben **„Validierung eines genomischen PCR-Verfahrens zum Nachweis von chromosomalen Translokationen zur Identifizierung prä-leukämischer Zellen bei Kindern - Pilotstudie“ (3614S30034)** eine retrospektive, bevölkerungsbasierte Studie an Nabelschnurblutproben von 1000 gesunden Neugeborenen durchgeführt. Mit Hilfe der GIPFEL-Technik, die in einem vom Bundesamt für Strahlenschutz geförderten Projekt entwickelt wurde, konnten bei 5 % der gesunden Neugeborenen ETV6-RUNX1 Translokationen detektiert werden. Obwohl weitere Untersuchungen nötig sind, um dieses Ergebnis zu validieren, deutet es auf ein geringes Leukämie-induzierendes Potential der Translokation und unterstreicht die Bedeutung sekundärer Umwelteinflüsse oder spontan auftretender kooperierender genetischer Läsionen für die Entstehung der ETV6-RUNX1 positiven Leukämie.

Bei der Folgebefragung im Rahmen der LeuBiCo-Studie handelt es sich um die zweite Fortführung der bereits vom Leibniz-Institut für Präventionsforschung und Epidemiologie - BIPS durchgeführten Machbarkeitsstudie zum Aufbau einer Geburtskohorte und zur Überprüfung genetischer Prädisposition bei kindlichen Leukämien. Im Zuge der Weiterführung des Projektes **„Machbarkeitsstudie zum Aufbau einer Geburtskohorte und zur Überprüfung genetischer Prädisposition bei kindlichen Leukämien - Verbesserung der Teilnahmebereitschaft“ (3614S30035)** wurde die Verbesserung der Teilnahmebereitschaft in soziokulturell diversen Bevölkerungsgruppen untersucht. Neben der Erstellung eines Expertenberichts zur Bielefelder BaBi-Studie, Literaturübersichten sowie der Befragung von Geburtskohortenleitern/-innen in Deutschland wurde eine weitere Rekrutierung mit Fokus auf Frauen mit Migrationshintergrund durchgeführt. Für die Studie wurden angepasste Instrumente entwickelt. 57 (werdende) Mütter, davon 26 % mit Migrationshintergrund, nahmen teil. Im

Ergebnis wurden keine wichtigen Unterschiede zwischen Frauen mit oder ohne Migrationshintergrund in den Gründen für oder gegen eine Studienteilnahme ermittelt, altruistische Motive sind entscheidend. Finanzielle Anreize spielen keine wichtige Rolle. Die Entnahme von Bioproben wird akzeptiert, wenn es um Proben der Mutter geht, Nabelschnurblutentnahmen sind als problematisch anzusehen. Die Studie ergab vielfache weitere Empfehlungen für eine diversitätssensitive Rekrutierung und Durchführung einer Geburtskohortenstudie.

Vom 14. bis 16. November 2016 veranstaltete das Bundesamt für Strahlenschutz einen **„Internationalen Workshop zur Ursachenforschung von Leukämie bei Kindern“ (3616I02233)**. Experten aus der ganzen Welt waren geladen, um im Veranstaltungssaal des Salesianum Don Bosco zweieinhalb Tage lang zu den unterschiedlichen Aspekten und Problemstellungen zu diskutieren und gemeinsam einen Überblick über die Standpunkte dieser verschiedenen Bereiche zu geben. Als Programmpunkte waren 22 internationale Vortragende geladen, um verschiedene Fachrichtungen und Forschungsbereiche darzustellen. Zudem konnten Abstracts für Kurzvorträge eingereicht werden, was von insgesamt acht Interessierten wahrgenommen wurde. 68 Personen aus 15 verschiedenen Ländern kamen für den Workshop nach München.

THEMENBEREICH 04 - MEDIZINISCHE STRAHLENEXPOSITION / RÖNTGENVERORDNUNG

Die Röntgenverordnung schreibt die regelmäßige Ermittlung der Strahlenexposition der Bevölkerung vor. Die dafür notwendigen Daten werden für den ambulanten Bereich von den gesetzlichen und privaten Krankenversicherungen zur Verfügung gestellt. Für den stationären Bereich verfügen die Versicherungen jedoch nicht über entsprechendes Material. Das Ziel des Projektes „**Erfassung der Häufigkeit bildgebender Diagnostik im stationären Bereich“ (3613S20020)** war daher die Erfassung der Häufigkeiten bildgebender Diagnostik im stationären Bereich. Dies wurde durch einen Mix aus Primärerhebungen, Sekundärdatenanalysen und Hochrechnungen für das Datenjahr 2012 erreicht. Da die bildgebende Diagnostik, bedingt durch den technischen Fortschritt auf diesem Gebiet, einem stetigen Wandel unterliegt, ist es notwendig, die Häufigkeiten der einzelnen Verfahren regelmäßig zu aktualisieren. Im Vorhaben wurde ein Konzept für einen regelmäßigen Datentransfer entwickelt, der die verschiedenen Datenquellen nutzt.

In zwei Machbarkeitsstudien **„Evaluation der Brustkrebsmortalität im deutschen Mammographie-Screening-Programm - Machbarkeitsstudie I und II“ (3610S40002 und 3614S40002)** wurden die Möglichkeiten einer Evaluation der Brustkrebsmortalität im deutschen Mammographie-Screening-Programm (MSP) - einer Röntgenreihenuntersuchung zur Früherkennung von Brustkrebs bei Frauen zwischen 50 und 69 Jahren - unter den (datenschutz-)rechtlichen Rahmenbedingungen des föderalen Systems der BRD geprüft. Auf Basis der Daten aus epidemiologischen und klinischen Krebsregistern sowie von sechs gesetzlichen Krankenkassen wurden neue Konzepte zu Datenfluss und -haltung entwickelt und erfolgreich getestet. Probleme durch Selektions-bias wurden durch ein Propensity-Score-Matching sowie neu entwickelte Korrekturfaktoren weitgehend bewältigt. Eine Methodik zur validen Ermittlung der Strahlenexposition im MSP wurde entwickelt und kann konzeptionell bundesweit eingesetzt werden. Auf Basis der Ergebnisse der Machbarkeitsstudien scheint es deshalb möglich, mit Hilfe mehrerer, sich gegenseitig ergänzender und eng miteinander verzahnter, nicht randomisierter Beobachtungsstudien die Auswirkungen des deutschen MSP zu analysieren.

Anforderungen an technische Geräte, die bei der medizinischen Anwendung ionisierender Strahlung genutzt werden, sind in zahlreichen nationalen und internationalen Regelwerken spezifiziert. Im Rahmen des Vorhabens **„Europäische Empfehlungen für Anforderungen an medizinisch-radiologische Geräte (Radiation Protection 162) - Inhaltlicher Abgleich mit dem deutschen untergesetzlichen Regelwerk“ (361642330)** wurden die im deutschen untergesetzlichen Regelwerk (DR) spezifizierten Anforderungen mit denen verglichen, die von der Europäischen Kommission in der Leitlinie RP162 spezifiziert wurden. Es wurden zum Vergleich die in den primären sowie auch weiter referenzierten Dokumenten enthaltenen Prüfparameter und Grenzwerte sowie die vorgesehenen Prüfprozeduren herangezogen. Es zeigte sich, dass der im DR enthaltene Umfang an Prüfparametern den der RP162 bei weitem übersteigt. Dennoch gibt es etliche Prüfparameter der RP162, die im DR nicht vorgesehen sind, die im DR schwächere Anforderungen haben oder im DR gänzlich ohne einen Grenzwert geprüft werden. Zudem bestehen im DR nebeneinander zahlreiche Dokumente, in denen unabhängig teilweise gleichlautende Anforderungen, teilweise jedoch auch abweichende Anforderungen bei gleichen Prüfparametern bestehen. Es erscheint vor dem Hintergrund der Ergebnisse des Vergleichs sinnvoll, die aktuelle Ausgestaltung des DR zu überdenken.

THEMENBEREICH 05 - RADIOÖKOLOGIE

Im Rahmen des Vorhabens **„Fachliche Unterstützung des BfS bei der Erstellung von Referenzbiosphärenmodellen für den radiologischen Langzeitsicherheitsnachweis von Endlagern - Quantitative Modellierung des Radionuklidtransports in der Biosphäre“ (3614S50010)** wurde für die Nuklide Am-241, Np-237, Pu-239, Ra-226 und I-129 ein chemisches Transportmodell entwickelt, das fähig ist die Ausbreitung der Radionuklide unter Berücksichtigung ihrer Sorptionsfähigkeiten an Tonen, Sesquioxiden und organischer Substanz zu beschreiben. Neben chemischen Gleichgewichtsreaktionen wird der Stofftransport in gesättigten bzw. teilgesättigten Böden unter Berücksichtigung der hydrologischen Prozesse Verdunstung, Wasserentzug durch Pflanzentranspiration, Grundwasseraufstieg und Beregnung simuliert. So ist es möglich, die pflanzliche Akkumulation über den Transportpfad Bodenlösung zu berechnen. Dem im Ergebnis entwickelten und an den Auftraggeber übergebenen Softwaretool ist zudem ein Tool zur Ermittlung der Sensitivität verschiedener Bodenparameter beigefügt, mit dem festgestellt werden kann, welcher Parameter ausschlaggebend für die Mobilität eines Radionuklids ist.

Die Software ARTM berechnet die Ausbreitung radioaktiver Stoffe aus Ableitungen von kerntechnischen Anlagen in die Luft. ARTM ist seit 2006 einsatzbereit. Es ist Bestandteil des Programmpaketes GO-ARTM. Neben dem Lagrangeschen Ausbreitungsmodell ARTM wird zur Berechnung des Windfeldes in komplexem Gelände bzw. bei Bebauung das diagnostische Windfeldmodell TALdia verwendet, das ebenfalls zum Programmpaket GO-ARTM gehört. Bei komplexen Standortbedingungen, bei denen der Anwendungsbereich von TALdia überschritten wird, kann es zu Programmabbrüchen kommen. Eine Ausbreitungsrechnung mit den verwendeten Eingangsdaten zur Meteorologie bzw. zur Orographie kann dann nicht durchgeführt werden. Im Vorhaben **„Erweiterung des Strömungsmodells in ARTM (Atmosphärisches-Radionuklid-Transport-Modell) zur Bearbeitung komplexer Standortbedingungen“ (3615S52507)** wurden Abbrüche von TALdia auf Grund von komplexem Gelände analysiert. Durch eine Glättung der Geländedatei wurde ermöglicht, die ansonsten nicht möglichen Ausbreitungsrechnungen durchzuführen. Die Abweichungen der Modellergebnisse durch Verwendung der geglätteten Geländedatei statt der ursprünglichen Geländedatei wurden quantifiziert und das Verfahren dokumentiert.

THEMENBEREICH 06 - NOTFALLSCHUTZ

Das Vorhaben **„Ergänzung der Quellтermdatenbank des Entscheidungshilfesystems RODOS für Freisetzungen aus Brennelement-Lagerbecken in Kernkraftwerken“ (3614S60033)** zielte darauf ab, Freisetzungen bei relevanten Unfallabläufen im Brennelement-Lagerbecken (BELB) eines DWR und eines SWR als Input für das Entscheidungshilfesystem RODOS zu ermitteln. Die Freisetzungen werden mit dem Simulationsprogramm MELCOR berechnet. Ferner ist das Rechenprogramm der GRS zur schnellen Prognose von Radionuklidfreisetzungen ergänzt worden, damit die Wahrscheinlichkeiten der verschiedenen möglichen Quellterme aus dem BELB während eines Unfallablaufes prognostiziert werden können.

Das Atmosphärische Radionuklid Transport Modell (ARTM) berechnet Konzentration und Deposition von Radionukliden sowie deren resultierende Gammasubmersion in der Umgebung einer Quelle. Um anhand dieser Verteilungen die Dosis der Referenzperson nach der Strahlenschutzverordnung zu berechnen, wurde im Bundesamt für Strahlenschutz (BfS) das Dosisprogramm DARTM entwickelt. Im Rahmen des Forschungsvorhabens **„Verifizierung des Dosismoduls DARTM (Dosis-Atmosphärisches-Radionuklid-Transportmodell)“ (3615S62542)** wurde das Modell DARTM von einer unabhängigen Stelle verifiziert und Vergleichsrechnungen einerseits mit dem Dosismodel AUSBRDOS der FZ-Jülich und andererseits mit dem GRS-Modell zur AVV durchgeführt. Nach mehreren Iterationsschritten gibt es nur noch geringfügige Abweichungen zwischen diesen Dosismodellen.

THEMENBEREICH 07 - VORHABEN MIT ALLGEMEINER BEDEUTUNG FÜR DEN STRAHLENSCHUTZ

Projekt **„Fortschreibung der Untersuchung und Bewertung der tätigkeitsbezogenen Strahlenexposition in Anlagen nach AtG, standortnahen Zwischenlagern für radioaktive Abfälle und nichtkerntechnischen Einrichtungen nach StrlSchV und RöV“ (3612S20001)**: Ein erheblicher Teil der gesamten beruflichen Strahlenexposition entsteht während der Revisionsarbeiten in kerntechnischen Anlagen. Arbeiten zur Stilllegung und dem Rückbau insbesondere großer Kraftwerksblöcke und die damit verbundene Strahlenex-

position gewinnen zunehmend an Bedeutung für den radiologischen Arbeitsschutz in kerntechnischen Anlagen. Eine optimierte Arbeitsplanung und -durchführung kann zu beträchtlichen Dosiseinsparungen führen. Empfehlungen zur Optimierung des radiologischen Arbeitsschutzes erfordern die Sammlung und vergleichende Analyse von Expositionsdaten sowie von Informationen über Erfahrungen mit durchgeführten Optimierungsmaßnahmen.

Die Messergebnisse und Hochrechnungen der Augenlinsendosis auf Jahreswerte im Projekt **„Untersuchungen zur Strahlenexposition der Augenlinse von beruflich strahlenexponiertem Personal“ (3613S40011)** lassen im kerntechnischen Bereich keine Grenzwertüberschreitungen erwarten. Im medizinischen Bereich dagegen zeigt die Hochrechnung auf eine jährliche Dosis, dass bei einem Drittel der untersuchten Tätigkeiten Dosiswerte größer 20 mSv zu erwarten sind. Den Ergebnissen dieser Untersuchung zufolge haben sehr viele Parameter Einfluss auf die Augenlinsendosis, die sich im Vorfeld nur sehr schwer abschätzen lassen, und somit eine monatliche Überwachung der Augenlinsendosis zu empfehlen ist.

Die Umsetzung der neuen europäischen Grundnormen im Strahlenschutz in deutsches Recht bringt es mit sich, dass neue Freigrenzen (FG) eingeführt werden, die auch für sehr große Massen gültig sind und daher deutlich unterhalb der bisherigen FG nach Anl. III Tab. 1 Sp. 3 StrlSchV liegen. Bisher galt der Grundsatz, dass Freigabewerte (FGW) für die Freigabe nach § 29 StrlSchV FG nach Anl. III Tab. 1 Sp. 3 StrlSchV nicht überschreiten sollten, damit die Restaktivität freigegebener Stoffe automatisch FG einhält und somit keine Genehmigung für den Umgang hiermit erforderlich wird. Dieser Grundsatz ist bei Anwendung der neuen FG nicht mehr aufrecht zu erhalten, da diese gleichzeitig auch FGW für die uneingeschränkte Freigabe darstellen und somit niedriger als die FGW für Optionen der zweckgerichteten Freigabe sind. Im Forschungsvorhaben „**Überarbeitung der Strahlenschutzverordnung bez. der Regelungen zur Freigabe künstlicher radioaktiver Stoffe zur Umsetzung der neuen Euratom-Grundnormen in deutsches Recht - Konzept zur Umsetzung“ (3614R03520)** wurde untersucht, ob bei zweckgerichteter Freigabe von Metallen zum Einschmelzen, von Bauschutt, Gebäuden sowie von Bodenflächen in der Praxis der Fall eintreten kann, dass die Restaktivität der freigegebenen Stoffe bzw. hieraus erzeugter Produkte die neuen FG überschreiten könnte. Dies wurde in einem mehrstufigen Prozess detailliert geprüft. Es ergab sich Konsistenz zwischen der zweckgerichteten Freigabe unter Anwendung der FGW nach Anl. III Tab. 1 StrlSchV und den neuen FG. Die ebenfalls durchgeführte Entwicklung abdeckender Szenarien für die Freigabe von (insbesondere wässrigen) Flüssigkeiten führte zur Bestätigung der Eignung der Werte gem. Anl. VII Tab. 4 Sp. 3 StrlSchV als Freigabewerte.

Die Umsetzung der neuen Euratom-Grundnormen in deutsches Recht bringt die Übernahme der Freigrenzen aus den Grundnormen mit sich. Für die große Zahl von Radionukliden, die in der Strahlenschutzverordnung, nicht aber in den Grundnormen aufgeführt sind, wurden im Projekt **„Überarbeitung der Strahlenschutzverordnung bezüglich der Freigrenzen von radioaktiven Stoffen zur Umsetzung der neuen Euratom-Grundnormen in deutsches Recht“ (3614S70051)** Freigrenzen neu berechnet. Hierbei wurden die gleichen Expositionsszenarien wie bei der Berechnung der Freigrenzen in den Grundnormen verwendet. Ergänzend wurden die fachlichen Randbedingungen für die Berechnung dieser Freigrenzen untersucht und bewertet. Die Konsequenzen der Anwendung neuer Freigrenzen im Hinblick auf die Vollzugspraxis im Strahlenschutz wurden betrachtet, auch in Bezug auf die Handhabung radioaktiver Stoffe in Laboren und auf Funde von radioaktiven Stoffen. Die den bisherigen Werten für die uneingeschränkte Freigabe und den Freigrenzen (Radiation Protection 65) zugrunde liegenden Expositionsszenarien wurden auf Konsistenz und Vollständigkeit geprüft. Dies schließt auch diejenigen Expositionsszenarien ein, die den bisherigen Werten für die zweckgerichtete Freigabe zu Grunde liegen. Weiterhin wurden die Auswirkungen verschieden berücksichtigter Tochternuklide auf die neuen bzw. bisherigen Freigrenzen sowie die Freigabewerte dargestellt.

Projekt **„Untersuchung und Bewertung des Detrimentbegriffs im Strahlenschutz“ (3615S72264)**: Die Internationale Strahlenschutzkommission ICRP definiert in ihren Empfehlungen ICRP 103 ein Maß für das strahleninduzierte Risiko für stochastische Strahlenwirkungen, das so genannte „Detriment“ (Schadensmaß). Hierbei handelt es sich um das Produkt aus den Risikokoeffizienten für einzelne Organe bzw. Krebsarten und der Schadenshöhe und damit um ein mit der Schadenshöhe gewichtetes Risiko pro Dosis. Die Parameter, die in die Schadenshöhe eingehen, sind einer zeitlichen Entwicklung unterworfen, die sowohl durch eine Veränderung der Krebsentwicklung in der Bevölkerung als auch vom Fortschritt in der medizinischen Diagnostik und Therapie bestimmt wird. Berücksichtigt man die Veränderung strahlungsunabhängiger Gesundheitsparameter bei der Berechnung des Detriments, verringert sich dieses zwischen 1980 und 2012 in Deutschland um 20 %. Unter Ausschluss von Hautkrebs betrug der Rückgang 12 %. Die Entwicklung des Detriments in den

USA folgt einem ähnlichen Muster. Dort beträgt der Rückgang im gleichen Zeitraum 31 % und unter Ausschluss von Hautkrebs 12 %.

Am 16. - 17. Juni 2016 fand in Würzburg das **„4. Internationale Seminar ‚Strahlenunfallmedizin in Forschung und Praxis': Gesundheitsfolgen 30 Jahre nach Tschernobyl, 5 Jahre nach Fukushima" (3616I02211)** statt. Wie die drei vorangegangenen Seminare wurde das 4. Internationale Seminar gemeinsam mit dem Burnasyan Federal Medical Biophysical Center der Federal Medical-Biological Agency in Moskau, Russland und der Klinik und Poliklinik für Nuklearmedizin, Universitätsklinikum Würzburg organisiert. Beide Kliniken sind Mitglieder im REMPAN-Netzwerk der Weltgesundheitsorganisation. Das 4. Internationale Seminar befasste sich schwerpunktmäßig mit strahlenbedingten Gesundheitsfolgen, Erfahrungen, Forschungsergebnissen und Schlussfolgerungen der Kernkraftwerksunfälle vor 30 Jahren in Tschernobyl und vor fünf Jahren in Fukushima. Das breite Themenspektrum reichte von Therapiemöglichkeiten bei Strahlenunfällen über neueste Forschungsergebnisse aus Russland und Japan, Schilddrüsenkrebs nach Tschernobyl, Patientennachsorge und Gesundheits-Monitoring bis zur biologischen Dosimetrie. Ca. 70 Teilnehmer aus 16 Ländern besuchten das zweitägige Seminar. Das Seminar vermittelte einen umfassenden Überblick über den aktuellen Stand der Forschung zu gesundheitlichen Folgen 30 Jahre nach Tschernobyl und fünf Jahre nach Fukushima und leistete mit den vorgestellten Erfahrungen aus früheren Strahlenunfällen einen Beitrag zur Fort- und Weiterbildung auf dem Gebiet des Strahlenunfall-Managements und zum wissenschaftlichen Austausch auf internationaler Ebene.

THEMENBEREICH 08 - NICHTIONISIERENDE STRAHLUNG

In der vorliegenden Studie **„Einfluss hochfrequenter elektromagnetischer Felder auf die Gehirnaktivität, Schlaf und kognitive Leistungsfähigkeit älterer Frauen" (3614S30012)** wurde untersucht, ob eine GSM900 MHz- und/oder eine TETRA-Exposition einen Einfluss auf die Gehirnaktivität im Schlaf und im Wachzustand von älteren Frauen hat. Es wurde speziell für die Studie eine Expositionseinrichtung entwickelt. 30 ältere gesunde Frauen im Alter zwischen 60 und 80 Jahren nahmen an der Studie teil und wurden an neun Nacht- und an neun Tagesuntersuchungen getestet. Einem randomisierten, doppelblinden cross-over Design folgend wurden die Frauen jeweils dreimal einer von drei Expositionsbedingungen (GSM900, TETRA und Sham) ausgesetzt. Es konnten einige wenige physiologische Expositionseffekte auf die Hirnaktivität im Schlaf und im Wachzustand beobachtet werden. Es konnten keine nennenswerten Auswirkungen der Exposition auf die Schläfrigkeit und auf kognitive Funktionen festgestellt werden. Insgesamt liefern die leichten physiologischen Veränderungen keine Hinweise dafür, dass eine HF-EMF-Exposition ausgehend von Mobiltelefonen und TETRA-Endgeräten gesundheitsbeeinträchtigende Auswirkungen hat.

Im Projekt **„Kosmetik, Wellness, Gesundheit - optische Strahlenquellen außerhalb der Medizin. Systematische Erfassung und Charakterisierung von Strahlenquellen und ihren Anwendungen im gewerblichen sowie im Heimbereich" (3614S80007)** wurden verfügbare Informationen über Quellen optischer Strahlung, die zu überwiegend kosmetischen Zwecken eingesetzt werden, recherchiert. Insgesamt wurden 226 Geräte unter anderem aus den Bereichen Tageslichttherapie und Lichtduschen, UV-C-Desinfektionslampen, Softlaser, Hautverjüngung/Anti-Aging, Lipolaser/Cellulitebehandlung, Tattooentfernung und Epilation betrachtet und technische Daten, soweit verfügbar, zusammengestellt. Weiterhin wurden postulierte Wirkmechanismen zu den verschiedenen Anwendungen sowie damit verbundene Risiken diskutiert. Für eine systematische Beurteilung des Wirkungs- und Gefährdungspotentials reichten die verfügbaren Informationen nicht aus. Diesbezüglich deckt die Recherche Schwächen im Hinblick auf aussagekräftige Verbraucherinformationen zu optischen Strahlenquellen auf, die in zunehmendem Umfang sowohl professionell als auch in Heimanwendung von Laien zu kosmetischen Zwecken eingesetzt werden.

Die Studie **„Weiterführende Untersuchungen zur Dosimetrie einer tierexperimentellen Studie an Labornagern mit hochfrequenten elektromagnetischen Feldern" (3615S82433)** untersucht die Absorption elektromagnetischer Felder und die daraus resultierende Erhöhung der lokalen Temperatur in Labormäusen, welche hochfrequenter Strahlung ausgesetzt wurden. Das Expositions-Szenario entspricht den Versuchsbedingungen des im Dezember 2014 abgeschlossenen Forschungsvorhabens 3611S30017, welches hier in einer zusätzlichen Detailtiefe charakterisiert wird. Dazu wurden unter anderem neue anatomische Maus-Modelle entwickelt. Die elektromagnetische Absorption in Lunge, Herz und Darm ist im Mittel etwa doppelt so groß wie der Durchschnitt über alle Gewebe. Da diese Gewebe aber gleichzeitig stark durchblutet sind, ist der lokale Temperaturanstieg dort kleiner als z. B. in Knochen oder Haut. Insgesamt erlauben die vorliegenden dosime-

trischen Resultate, die Ergebnisse des Forschungsvorhabens 3611S30017 in neuer Tiefe zu interpretieren, zum Beispiel hinsichtlich einer möglichen Korrelation mit histopathologischen Befunden.

THEMENBEREICH 09 - DEUTSCHES MOBILFUNK FORSCHUNGSPROGRAMM

In Bezug auf die gesundheitlichen Wirkungen nicht-ionisierender Strahlung (elektrische, magnetische und elektromagnetische Felder, EMF) besteht bei Bürgerinnen und Bürgern nach wie vor ein erhebliches Informationsbedürfnis. Ein bedeutender Aspekt hierbei ist, auf welcher wissenschaftlichen Grundlage gesundheitliche Risiken durch EMF bewertet und Grenzwerte festgelegt werden. Um diese Informationen der Öffentlichkeit zugänglich zu machen, wurde im Jahr 2005 das EMF-Portal (www.emf-portal.org) mit finanzieller Unterstützung des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (BMU) und des Bundesamtes für Strahlenschutz (BfS) gegründet. Ziel war es, Forschungsergebnisse und allgemeine Informationen zu den Wirkungen von EMF auf die Gesundheit zu recherchieren und öffentlich zugänglich zu machen. Das BfS unterstützte das EMF-Portal in der Vergangenheit im Rahmen von mehreren Projekten. Um entscheiden zu können, wie das EMF-Portal in Zukunft zur Verfügung gestellt werden soll, wurde im vorliegenden Projekt **„Evaluierung des EMF-Portals und Ableitung von Erkenntnissen und Empfehlungen für dessen weitere Gestaltung“ (FM 8857)** sowohl der Internet-Auftritt als auch die Nutzung des EMF-Portals hinsichtlich der Inhalte und deren Qualität, der Darstellung der Ergebnisse und der Nutzbarbarkeit zur Informationsbeschaffung evaluiert. Die Nutzbarkeit des EMF-Portals wurde darüber hinaus für verschiedene Zielgruppen überprüft und Empfehlungen für die Verbesserung des EMF-Portals abgeleitet. Die Evaluation hinsichtlich der Inhalte und Nutzbarkeit wurde von zwei unabhängigen Auftragnehmern (Seibersdorf Labor GmbH und YOUSE GmbH) durchgeführt.

Die im Forschungsvorhaben **„Einfluss hochfrequenter Felder des Mobilfunks auf das blutbildende System in vitro: Untersuchungen zur Reproduzierbarkeit der Ergebnisse“ (FM 8863)** durchgeführten Untersuchungen zum Einfluss von Mobilfunkstrahlung der Modulationen GSM (900 MHz), UMTS (1 950 MHz) und LTE (2 535 MHz) auf das blutbildende System, im Besonderen auf HL-60-Zellen sowie hämatopoetische Stammzelle zeigten für keinen der betrachteten Endpunkte Effekte, die auf den Einfluss der Strahlung zurückgeführt werden könnten. Die Ergebnisse aus dem bereits abgeschlossenen Forschungsvorhaben FM8851 konnten mit deutlich verbesserter Datenqualität reproduziert werden. Exponiert wurde für einen kurzen (4 h) und einen langen (20 h bzw. 66 h) Zeitraum. Zu den untersuchten Endpunkten gehörten die Differenzierung und die Gentoxizität. Für die Differenzierung wurde die Veränderung der Expression des Oberflächenantigens CD11b gemessen. Außerdem wurde die Frequenz adhärenter Zellen bestimmt. Die Beurteilung der Gentoxizität erfolgte anhand der Detektion von DNA-Schäden in Form von DNA-Strangbrüchen. Insgesamt konnten keine Effekte der Strahlung festgestellt werden.

Das Projekt **„Divergierende Risikobewertungen im Bereich Mobilfunk“ (FM 8865)** hat das Ziel, die unterschiedlichen Risikobewertungen (inkl. Hinweisen auf die Grundlagen, auf denen sie basieren) im Bereich Mobilfunk einander gegenüberzustellen (ohne diese zu bewerten) und der Öffentlichkeit zugänglich zu machen. Es bietet neben der Übersicht über die unterschiedlichen Risikobewertungen auch Erklärungen, wie es zu diesen Unterschieden kommen konnte.

Summary

On behalf of the Ferderal Ministry for the Environment, Nature Conservation, Building and Nuclear Safety (BMUB) the Federal Office for Radiation Protection (BfS) awards research grants for projects in the field of radiation protection. The findings of these projects serve as decision aiding information in the development of radiation protection regulations as well as in the fulfilment of specific tasks in the field of radiation protection. The tasks of the Federal Office for Radiation Protection involve planning, technical and administrative preparation, awarding of contracts, general support as well as the technical evaluation of research and study projects. This report provides information on results, i. e. preliminary (in the form of status reports) and, where applicable, final results of radiation protection projects within the BMUB's Environmental Research Plan for the year 2016.

Preface

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

Introduction

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

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

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

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

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

Since man-made radiation exposure of the public is mainly made up of **medical radiation exposure** from diagnostic procedures, this latter is another focal point of the BMUB Environmental Research Plan (Umweltforschungsplan) 2016. In this context, it is particularly important that the health benefit associated with the use of radiation in man outweighs the radiation risk. It is crucial to balance the benefits and risks of diagnostic procedures, to search for alternative procedures involving lower risks, and to reduce radiation exposure by appropriate procedures.

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

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

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

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

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

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

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

Summary of results from recent research projects

In the following results of research projects concluded in 2016 will be reported:

SUBJECT AREA 01 - NATURAL RADIATION EXPOSURE

The research project **„Systematic investigations on the use of VOC chambers for the determination of the radon exhalation rate of building products, lot 1“ (3613S10021)** has shown that the radon exhalation rate from building materials can be well determined in dynamically operated emission test chambers by use of commercially available measuring devices. Here, in contrast to the static mode of operation, unwanted by-effects, such as an enhanced air exchange caused by leakage of the test chamber or the so-called "back diffusion" are eliminated. The radon exhalation rate can be determined within a few days, since a constant radon activity concentration is established after a few hours dependent on the adjusted air exchange rate in the test chamber. The test method is robust in a broad range against the parameters air exchange rate, product loading, temperature and relative humidity. It is based on the specifications of prEN 16516, which enables its implementation in the already existing infrastructure of laboratories dealing with emissions testing of construction products.

The Federal Office for Radiation Protection is conducting a cohort study on about 60 000 former employees of Wismut uranium mining facilities in order to estimate health risks after exposure to radiation, dust and other noxa. The current project **„Fourth follow-up of the mortality of the cohort of approximately 64 000 former Wismut employees to the appointed date 31th December 2013“ (3613S10022)** is a fourth mortality follow-up to determine the vital status of 32 778 cohort members, who had been identified as „alive“ in the third mortality follow-up, and to determine the causes of death by December 31st, 2013 for the deceased. 4,118 persons (12.6 %) were reported as „deceased“, 28 573 persons (87,2 %) were identified as being still „alive“. For 87 persons (0.3 %) the vital status could not be obtained („no information available“: 2; „moved abroad“: 48; „moved out, address unknown“: 37). For 98.0 % of the deceased persons the cause of death was determined. In addition, for a group of 1 350 persons with no information on vital status available from the previous follow-up vital status and cause of death should have been determined. 62 of these persons were determined as „alive“ and 248 as „deceased“. For 106 deceased persons (47.7 %) cause of death has been ascertained.

SUBJECT AREA 02 - RADIATION PROTECTION TECHNIQUES

The aim of the project **„Development and implementation of concepts for characterisation of clinical CT systems considering image quality and dose“ (3613S20007)** was to propose a way to benchmark CT units. This requires being able to link patient dose with image quality. Patient dose was assessed using the standardised CT specific metrics: the $CTDI_{vol}$. According to the state of the knowledge, a task-based approach was proposed to assess image quality. Thus, the detection of simple structures in homogeneous background was chosen using two concepts: one trying to extract as much as possible information (use of ideal model observers) and one trying to mimic the performances of human observers (use of anthropomorphic model observers). These two concepts were applied on eight CT units using six protocols resulting in 96 conditions. Finally a DEI (Dose Efficiency Index) was proposed enabling a benchmark of the CT under study; benchmark based on the image quality criteria proposed.

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

Pediatric acute lymphoblastic leukemia (ALL) is characterised by preleukemic recurrent chromosomal translocations that emerge in utero. The most frequent translocation results in the formation of the chimeric transcription factor ETV6-RUNX1. For the development of overt leukemia secondary cooperating oncogenic hits are necessary that may arise spontaneously or may be caused by environmental factors. To analyse the actual frequency of ETV6-RUNX1 preleukemic cells in newborns a population-based retrospective screening of 1,000 cord blood samples from healthy Danish newborns was carried out in the project **„Validation of a genomic PCR approach to detect chromosomal translocations to identify pre-leukemic cells in children - Pilotstudy“ (3614S30034)**. Using the GIPFEL technique that was developed in a project funded by the Federal Office for Radiation Protection, ETV6-RUNX1 translocations were identified in 5 % of newborns. Although further validation of this result is clearly necessary this would hint at a comparably low penetrance and leukemia inducing potential of the chimeric transcription factor ETV6-RUNX1 and further strengthen the importance of secondary environmentally caused or spontaneously occurring cooperating oncogenic lesions for ETV6-RUNX1 positive childhood leukemia to emerge.

This study presents the second follow-up survey of the LeuBiCo (Leukemia birth cohort) feasibility study - **„Feasibility study for establishing a birth cohort and for testing genetic predisposition to childhood leukemia“ (3614S30035).** The aim of the follow-up study was the investigation of the improvement of the willingness to participate of socioculturally diverse population groups. The project comprised an expert report on the BaBi-Study (Bielefeld), literature reviews, a survey among birth cohort investigators in Germany and the recruitment of pregnant women, with a focus on families with a migrant background. Of the 57 newly recruitment women, 26 % had a migrant background. Overall there were no major differences between women with and without migrant background with regard to reasons to participate (or not) in a birth cohort study. Altruistic motives are important, financial incentives play a minor role. Biosampling is acceptable if samples are taken from mothers, whereas cord blood sampling is considered problematic. The study resulted in numerous further recommendations for a diversity-sensitive recruitment and conduct of a birth cohort study.

The Federal Office for Radiation Protection hosted the **„International Workshop on the Causes of Childhood Leukemia“ (3616I02233)** from November 14 till 16. Experts from all over the world were invited to Munich, to discuss recent developments and current problems related to the topic. Together they created an overview over the different issues concerning Childhood Leukemia. The program was formed by 22 international speakers who presented their point of view and current research status. Additionally, interested guests could participate with short talks. Eight attendees took this opportunity. In total, 68 guests from 15 different countries came to Munich to attend the workshop.

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

The X-ray ordinance prescribes the regular determination of the radiation exposure of the population. The data required for this are provided by the statutory and private health insurances for the outpatient sector. However, the insurances do not have adequate material for the inpatient sector. The aim of the project **„Assessment of the frequency of diagnostic imaging in the hospital sector“ (3613S20020)** was therefore an assessment of the frequency of diagnostic imaging in the inpatient sector. This was achieved by means of a mix of primary surveys, secondary data analyses and extrapolations for 2012. Since diagnostic imaging is constantly

changing due to technical progress, it is necessary to update the assessment regularly. Therefore a concept for a regular data transfer has been developed.

Options for the evaluation of breast cancer mortality in the German mammography screening program (MSP) were assessed in two feasibility studies **„Evaluation of the breast cancer mortality in the German mammography-screening-program- Feasibility study I and II“ (3610S40002 and 3614S40002)**. Based on data from epidemiological and clinical cancer registries and six statutory health insurances, new concepts for data flow and storage were developed and successfully tested. Problems arising from selection bias were adjusted for in analyses using propensity score matching or employing newly generated correction factors. A method to assess radiation exposure within the MSP was implemented and may be used country-wide. Based on the results of the feasibility study it appears therefore possible to analyse the effects of the German MSP using complementary, closely interlinked non-randomised observation studies.

Criteria of acceptability of medical radiological equipment are specified within numerous standards, guidelines and regulations on national as well as on international level. Within the scope of the project **„European recommendations on criteria for acceptability of medical radiological equipment (RP162) - comparison with German regulatory guidance instruments“ (361642330)** criteria of acceptability that are specified within German regulatory guidance instruments (DR) are compared with those that are published form the EC in the regulation "Radiation Protection 162" (RP162). The comparison has been conducted on the basis of inspection parameters, suspension level as well as test procedures that are specified in primary as well as referenced documents. It showed up that the DR contains by far more inspection parameters than specified in the RP162. However, several of the criteria included in the RP162 are not included in the set of parameters from the DR. Further, there are parameter within the RP162 inspection catalog that hold, if any, weaker suspension level in the DR. Independently it became obvious that in the DR for particular inspection parameters deviation acceptability criteria are specified within different documents. From the results of this study one may conclude that it is appropriate to check and possibly revise some of the documents, inspection criteria and suspension level currently specified in the DR.

SUBJECT AREA 05 - RADIOECOLOGY

Within the scope of the project **„Supporting the Federal Office for Radiation Protection in the development of reference biosphere models for the radiological long-term safety assessment of nuclear waste repositories - Quantitative Modelling of the radionuclide transport in the biosphere“ (3614S50010)**, a chemical transport model was developed for the nuclides Am-241, Np-237, Pu-239, Ra-226 and I-129, capable to describe the propagation of these radionuclides considering the sorption capacities of clays, sesquioxides and organic matter. Attention has been paid to chemical equilibrium reactions in conjunction with transport in saturated or partly saturated soils. Water balance processes, such as evaporation, water removal by plant transpiration, groundwater rise and irrigation have been taken into account. Thus it is possible to calculate the accumulation of radionuclides in plants via the transport path soil solution. The software tool was developed and handed over to the client. Besides the transport model, it also includes a tool for determining the sensitivity of different soil parameters, allowing identifying the parameter, which is most decisive for the mobility of a radionuclide.

The ARTM software simulates the dispersion of radioactive releases into the atmosphere. ARTM is ready for use since 2006. It is part of the program package GO-ARTM. Besides the Lagrangian dispersion model ARTM the diagnostic wind field model TALdia is used for calculating the wind field in orographically structured terrain or when buildings are influencing the wind flow. TALdia also belongs to the program package GO-ARTM. In complex locations, where the field of application of TALdia is exceeded, the program may abort. A dispersion calculation with the given boundary conditions of terrain and meteorology is not possible then. Within the research project **„Enhancement of the flow model in ARTM (atmospheric radionuclide transport model) for the processing of complex site conditions“ (3615S52507)** the aborts associated with complex terrain were analysed. By smoothing the terrain data the dispersion modelling was enabled for locations, which could not be simulated with the original terrain data. The deviations between the modelling results achieved with the original terrain data and the smoothed terrain data were quantified. The smoothing procedure was documented.

SUBJECT AREA 06 - EMERGENCY MANAGEMENT

The project **„Complement of the source term data bank of the decision support system RODOS for releases from spent fuel pools in nuclear power stations“ (3614S60033)** aimed to assess radionuclide releases for relevant accidents in the spent fuel pool for PWRs and BWRs. They shall be used as input for the decision support system RODOS. The releases are calculated with the simulation code MELCOR. In addition the GRS code for fast predictions of radionuclide releases has been amended in order to predict the probabilities for the various possible source terms during an accident in the spent fuel pool.

The Atmospheric Radionuclide Transport Model (ARTM) calculates concentration and deposition of radionuclides and their resulting gamma submersion in the vicinity of a source. To calculate the dose for the reference person by the Radiation Protection Ordinance bases on these distributions, the program DARTM was developed by the Federal Office for Radiation Protection (BfS). Within this project **„Verification of the dose module DARTM (Dose Atmospheric Radionuclide Transport model)“ (3615S62542)** the model DARTM was verified by an independent body. Therefore, on the one hand comparative calculations with the dose model AUSBRDOS of the FZ Jülich and on the other hand with the GRS dose model were performed. After several iterations, there are only minor deviations between these dose models.

SUBJECT AREA 07 - PROJECTS OF GENERAL IMPORTANCE TO RADIATION PROTECTION

Project „**Update and evaluation of task-related exposure in nuclear facilities and other radiation relevant installations under the aspect of optimisation“ (3612S20001)**: A significant part of the total occupational radiation exposure is caused by revision work in nuclear facilities. Decommissioning and dismantling, especially of nuclear power plants, and the resulting exposure induce increasing importance in occupational radiation protection. Optimised operation scheduling can yield to reduced exposure. Recommendations for optimising radiological protection require sampling and analysing the exposure data resp. the information about optimisation actions.

In nuclear facilities measurement results and extrapolation to yearly radiation exposure of the eye lens in the project **„Studies on the radiation exposure of the eye lens of radiation-exposed workers“ (3613S40011)** show that the values are mostly below the annual dose limit of 20 mSv. In the medical environment 1/3 of the investigated occupational practices are expected to exceed the yearly dose value of 20 mSv. The results of this study show that various parameters influence the eye lens dose. Therefore a monthly monitoring of the eye lens dose is recommended.

The transformation of the new EU Basic Safety Standards in radiation protection into German legislation entails introduction of new exemption values (EV) that are also valid for very large quantities and are therefore considerably smaller than the current EV according to App. III Tab. 1 Col. 3 Radiation Protection Ordinance (StrlSchV). Until now, the principle was that clearance levels (CL) for clearance according to § 29 StrlSchV should not exceed EV according to App. III Tab. 1 Col. 3 StrlSchV, in order to ensure that the residual activity of cleared material will automatically comply with EV and thus no authorisation is required for dealing with it. This principle can no longer be maintained when the new EV are applied, since these are at the same time also CL for unconditional clearance and are therefore lower than the CL for clearance options for specific purposes. In the research project **„Revision of the radiation protection ordinance with respect to clearance of material with artificial contamination for the transposition of the new Euratom Basic Safety Standards into German legislation - concept for implementation“ (3614R03520)** it was investigated whether clearance for a specific purpose of metal scrap for melting, building rubble, buildings and ground surfaces on the basis of CL according to App. III Tab. 1 StrlSchV could entail the case that the cleared substances or products generated therefrom could exceed the new EV. This was examined in detail in a multi-stage process. Consistency was found between clearance for a specific purpose using CL according to App. III Tab. 1 StrlSchV and the new EV. Modelling of clearance of (especially aqueous) liquids confirmed that the values according to App. VII Tab. 4 Col. 3 StrlSchV are suitable as CL.

The implementation of the new Euratom Basic Safety Standards (BSS) into German legislation entails taking over the exemption values of BSS. There is a large number of radionuclides that are listed in the German Radiation Protection Ordinance (Strahlenschutzverordnung), but are not included in the BSS. In the project **„Revision of the radiation protection ordinance with respect to the exemption values for radioactive substances for the transposition of the new Euratom Basic Safety Standards into German legislation“**

(3614S70051) the exemption values were recalculated for these radionuclides on the basis of exactly the same scenarios as used for calculating exemption values of the BSS. In addition, the technical conditions and prerequisites of the radiological model used for calculating the exemption values were examined and evaluated. The implications of the use of the new exemption values with respect to the practical application of radiation protection legislation have been analysed. This includes the use of radioactive materials in laboratories as well as finding of and acquisition of the actual power over radioactive substances. The exposure scenarios for the current clearance levels for unconditional clearance and the exposure scenarios for the exemption values (Radiation Protection 65) were examined for consistency and completeness. This also includes those exposure scenarios for the current clearance levels for clearance options for a specific purpose. Finally, the effects of differences in procedures for including daughter nuclides on the new and the current clearance levels/exemption values were discussed.

Project **„Exploration and assessment of the concept of "detriment" in radiation protection“ (3615S72264)**: The radiation detriment in ICRP 103 is defined as the product of the organ-specific risk coefficient and the "damage" that may be associated with a cancer type or hereditary effect, respectively. Parameters that are considered as quantities associated with the severity of damage are subject to a development over time. When changes in parameters which are not associated with radiation are taken into account, the total detriment declines in the period from 1980 to 2012 in Germany by 20 %. With skin cancer excluded, the decline was 12 %. The temporal course of the total detriment in the USA within the same period is of the same pattern. The decline was 31 % with skin cancer and 12 % if skin cancer was excluded.

On June 16 - 17, 2016, the **„4th International Seminar ‚Radiation Medicine in Research and Practice‘: Health effect 30 years after Chernobyl, 5 years after Fukushima“ (3616I02211)** was held in Würzburg. As the previous three seminars the current seminar was jointly organised by the Burnasyan Federal Medical Biophysical Center of the Federal Medical-Biological Agency of Russia, Moscow, and the Department of Nuclear Medicine, University Hospital Würzburg. Both hospitals are members of the REMPAN network of the World Health Organization. The 4th International Seminar focused on radiation induced health effects, lessons learned, research results and conclusions after the nuclear power plant accidents 30 years ago in Chernobyl and five years ago in Fukushima. The wide spectrum of topics included treatment options in case of radiation accidents, newest research results from Russia and Japan, thyroid cancer post-Chernobyl, patient follow-up, health monitoring and biodosimetry. About 70 participants from 16 countries attended the two-day seminar. The seminar gave a comprehensive overview on current research issues concerning health effects 30 years after Chernobyl and 5 years after Fukushima, contributed to further education in radiation accident management and international scientific exchange based on presented lessons learned from previous radiation accidents.

SUBJECT AREA 08 - NON-IONISING RADIATION

In the present study **„Effect of high frequency electromagnetic fields on brain activity, sleep and cognitive performance in elderly women“ (3614S30012)** possible effects of GSM900 MHz and/or TETRA exposure on brain activity during sleep and waking in elderly women were investigated. A special exposure set-up was developed. Thirty elderly healthy female volunteers aged between 60 and 80 years participated in the present study and were tested on nine days and nine nights. Female volunteers were exposed three times to three exposure conditions (GSM900, TETRA and sham) following a double blind randomised cross-over study design. Some physiological exposure effects on brain activity during sleep and waking in different directions were observed. No important exposure effects on sleepiness and cognitive functioning could be observed. Overall the slight physiological changes are not indicative of any health effects related to RF EMF exposure from mobile phones and TETRA handsets.

In the project **„Cosmetics, wellness, health - non medical optical radiation sources. Systematic identification and characterisation of optical radiation sources and their applications in the professional and home area“ (3614S80007)** information on different sources of optical radiation used for cosmetic purposes, e. g. laser, IPL (Intense pulsed light) or LED was compiled from producer information and technical manuals as far as possible. Available technical data of a total of 226 devices used e.g. for light therapy, UV-C-disinfection, skin rejuvenation/anti-aging, cellulite light therapy, tattoo removal and epilation were collected. The report gives an impression of the variety of sources used for cosmetic applications. Postulated effects and risks are discussed. A systematic evaluation was not possible because of sparse information on

necessary technical details given by the producer. The study shows deficits of information on sources of optical radiation which are increasingly used by professionals as well as by consumers at home.

The study **„Refined evaluations on the dosimetric assessment of an animal laboratory study on radio-frequency electromagnetic fields“ (3615S82433)** investigates the absorption of electromagnetic fields and the corresponding local temperature increase in laboratory mice exposed to high-frequency radiation. The exposure scenario matches the experimental conditions of the BfS research project 3611S30017, which was completed in December 2014, and is characterised here in a more detailed manner. Amongst other things, new anatomical mouse models have been developed for this purpose. The electromagnetic absorption in the lungs, heart and intestines on average is about twice as large as the average over all tissues. Since these tissues are, however, strongly perfused, the local temperature rise is smaller than for example in bones or skin. Overall, the presented dosimetric results allow a more precise interpretation of the findings of the 3611S30017 research project, for example regarding a possible correlation with histopathological data.

SUBJECT AREA 09 - GERMAN MOBILE TELECOMMUNICATION RESEARCH PROGRAMME

The public still raises questions about health effects of non-ionising radiation (electric, magnetic and electromagnetic fields, EMF). A key question is the scientific basis for the assessment of health risks of exposure to EMF and for the definition of limit values. In 2005, the EMF-Portal (www.emf-portal.org) was launched with the aim to inform the public about potential EMF-related exposure effects. Financial support was provided by the Federal Ministry for the Environment, Nature Conservation and Nuclear Safety (BMU) and the Federal Office for Radiation Protection (BfS). The primary function of the EMF-Portal is to collect scientific data and general information on health-related effects of EMF and make this information publicly available. In the past years, the BfS has funded the EMF-Portal during several projects. The aim of the current project **„Evaluation of the EMF-Portal and recommendations for its future presentation“ (FM 8857)** was to evaluate the EMF-Portal with regard to content, quality of the information, presentation of the data and usability. This evaluation should provide a basis for the development of this web-based information system in the future. In addition, the usability of the EMF-Portal was tested by several target groups which allowed identifying recommendations for the improvement of the EMF-Portal. The analysis and evaluation of the content and usability was carried out by two independent contractors (Seibersdorf Labor GmbH and YOUSE GmbH).

In the research project **„Influence of high frequency electromagnetic fields of mobile communications on the hematopoietic system in vitro: Studies of the reproducibility of the results“ (FM 8863)**, the investigations on the influence of mobile phone radiation with the modulations of GSM (900 MHz), UMTS (1 950 MHz), and LTE (2 535 MHz) on the hematopoietic system, specifically on HL 60 cells and hematopoietic stem cells, did not show any effects that could be attributed to the influence of the radiation. The results of the previous research project FM8851 could thus be reproduced with significantly improved quality of the data set. Cells were exposed for a short (4 h) and a long (20 h, 66 h) period. Investigated endpoints were differentiation and genotoxicity. For the analysis of differentiation, the expression of the surface antigen CD11b was quantified. Additionally, the frequency of adherent cells was determined. For the analysis of genotoxicity, DNA damage in the form of strand breaks was analysed with the comet assay. Overall, no effects of the radiation were detected.

The project **„Divergent risk assessments in the field of mobile communications“ (FM 8865)** provides an overview of major risk assessments of potential health impacts of electromagnetic radiation from mobile communication systems without evaluating the assessments in terms of their scientific validity. Furthermore, the project presents data about the risk assessment processes applied by the selected institutions, and gives reasons for the differences between the assessments.

ERGEBNISSE (ABSCHLUSSBERICHTE)

der vom BfS begleiteten Strahlenschutz-Forschungsvorhaben des BMUB 2016

RESULTS (FINAL REPORTS)

of BfS supported BMUB radiation protection research projects in 2016

Themenbereich 01
Natürliche Strahlenexposition

Subject area 01
Natural radiation exposure

Thema

Methodische Untersuchungen zur Qualifizierung der VOC-Kammern zur Bestimmung der Radonexhalationsrate von Bauprodukten, Los 1

Subject

Systematic investigations on the use of VOC chambers for the determination of the radon exhalation rate of building products, lot 1

Kennzeichen	**Beginn**	**Ende**	**Fördermittel**
3613S10021	01.12.2013	31.05.2016	EUR 102.943,-

Forschungs- / Auftragnehmer
Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung (BAM), Berlin

Projektleitung	**Fachbetreuung BfS**	**verantwortlich für den Text**
Dr. O. Jann	Dr. B. Hoffmann / SW 1.1	Dr. M. Richter

1. ZIELSETZUNG

Materialemissionen flüchtiger organischer Verbindungen (VOC[1)]) werden mit Hilfe von Emissionsprüfkammern und -zellen unter praxisnahen, normierten und bereits validierten Prüfbedingungen bestimmt. Ziel dieses Forschungsvorhabens war die Durchführung systematischer Untersuchungen um festzustellen, ob diese Methode auch für die Bestimmung der Radonexhalationsrate aus Bauprodukten unter Verwendung kalibrierter, kommerziell erhältlicher Radonmessgeräte herangezogen werden kann.

2. EINZELZIELSETZUNG

Das Forschungsprojekt kann in sechs Einzelziele eingeteilt werden. Zu Beginn des Projekts wurde eine Bestandsaufnahme infrage kommender Radonmessgeräte vorgenommen sowie deren Eignung getestet. Insgesamt acht verschiedene Testmaterialien wurden beschafft, von denen unterschiedlich starke Radonexhalationen zu erwarten waren. Diese wurden auf relevante Materialcharakteristika (spezifische Aktivität der Radionuklide Ra-226, Th-232 und K-40, Kornstruktur, Porosität, Feuchtegehalt) hin untersucht. Für die Entwicklung eines praktikablen Versuchsaufbaus sowie einer geeigneten Probennahmestrategie wurden Tests durchgeführt, um die Einflüsse relevanter Prüfparameter wie Temperatur, relativer Luftfeuchtigkeit, Produktbeladung und Luftwechselrate in der Prüfkammer auf die Radonexhalation festzustellen. Auf Grundlage dieser Untersuchungen erfolgte eine Abschätzung der Bandbreiten dieser Prüfparameter, auf die dann eine Robustheitsuntersuchung folgte. Um letztendlich eine Aussage über die Güte des entwickelten Verfahrens treffen zu können, wurde eine Abschätzung der Verfahrensunsicherheit vorgenommen.

3. METHODIK

Methodisch war das Forschungsprojekt in vier Arbeitspakete (AP) aufgeteilt.

Aufarbeitung des relevanten Standes von Wissenschaft und Technik (AP 1)

Ziel dieses Arbeitspaketes bestand in der Aufarbeitung des relevanten Standes von Wissenschaft und Technik bezüglich der Bestimmung der Radonexhalationsraten sowie der Ermittlung der VOC-Abgabe mittels der standardisierten Techniken und Protokolle. Es wurde ein Vorschlag erarbeitet, wie die Radonexhalation als Kriterium im Sinne der Bauproduktenverordnung zu betrachten sei und geregelt werden kann und ob sich daraus die Notwendigkeit für ein Prüfverfahren ergibt.

Festlegung und Umsetzung messtechnischer Voraussetzungen (AP 2)

In diesem Arbeitspaket wurden die technischen Anforderungen an die Kammern bezüglich Volumen, Material sowie die Einstellungen der relevanten Prüfparameter wie Luftwechselrate, Temperatur und relativer Luftfeuchtigkeit definiert. Ausgangspunkt waren die Anforderungen für VOC-Emissionsprüfungen. Ferner erfolgte in Absprache mit dem BfS die Auswahl von Messgeräten zur Bestimmung der Radonkonzentration. Es wur-

[1)] volatile organic compounds

den Eignungskriterien definiert sowie entsprechende Tests durchgeführt. Am Ende wurden die am besten geeigneten Geräte für die weiteren Arbeiten identifiziert.

Durchführung von Messungen zur Bestimmung eines Prüfprotokolls (AP 3)

In diesem Arbeitspaket wurden insgesamt acht Baumaterialien für die Tests ausgewählt, beschafft und bezüglich relevanter Materialkenngrößen charakterisiert sowie Exhalationsmessungen an den zur Verfügung stehenden VOC-Prüfkammern unter Variation der Prüfparameter durchgeführt. Aus den Ergebnissen wurde ein erster Entwurf für ein Prüfprotokoll abgeleitet.

Robustheitsuntersuchungen (AP 4)

Ausgehend von den Ergebnissen des Arbeitspakets 3 wurden Untersuchungen zur Robustheit der entwickelten Prüfmethode durchgeführt.

4. DURCHFÜHRUNG

4.1 EIGNUNGSTEST VERSCHIEDENER KOMMERZIELL ERHÄLTLICHER RADONMESSGERÄTE

Folgende Messgeräte wurden getestet (Tabelle 1):

Tabelle 1: Übersicht der untersuchten Messtechnik

	AlphaGUARD PQ 2000Pro	**Durchfluss-Szintillations-Kammer**	**RTM 1688 [1]**	**Radon Scout**
Hersteller	Saphymo	Eigenbau des BfS	Sarad	Sarad
Bezeichnung	AG	DSK	RTM	RSC
Detektortyp	Ionisationskammer	Lucas-Zelle im Durchflussbetrieb	elektrostatische Abscheidung auf Silizium-Halbleiterdetektor	elektrostatische Abscheidung auf Silizium-Halbleiterdetektor
Messprinzip	„3D-Alpha-Spektroskopie“ und Strommessung	Gesamt-Alpha-Impulszählung	Alpha-Spektrometrie	Gesamt-Alpha-Impulszählung
Sensitivität	1 Impuls/min bei 20 Bq m^{-3}	1 Impuls/min bei 30 Bq m^{-3}	1 Impuls/min bei 143 Bq m^{-3}	1 Impuls/min bei 556 Bq m^{-3}

[1] Das RTM stand nicht für die gesamte Projektdauer zur Verfügung

Neben dem Rn-222 exhalieren aus Bauprodukten auch andere kurzlebige Radon-Isotope, die von den Detektortypen Ionisations- und Durchflussszintillationskammer nicht nuklidspezifisch detektiert werden und auf Grund derer eine Diskriminierung herbeigeführt werden muss. Das relevanteste Isotop ist das Rn-220 (Thoron).

Zur Diskriminierung wurde eine Zerfallsstrecke in Form eines langen PVC-Schlauchs mit einem Innendurchmesser von 4 mm vor die Messtechnik geschaltet. Die Länge wurde bei den Gerätetests so bemessen, dass die angesaugte Luft ca. sechs Halbwertszeiten des Thorons zum Passieren des Schlauchs benötigt.

Als wesentliche Eignungskriterien wurden definiert:

- Vergleichbarkeit der Messgeräte untereinander
- Bestimmungsgrenze der Messgeräte muss ausreichend klein sein, um eine Rn-222-Aktivitätskonzentration von ca. 20 Bq m^{-3} zu erfassen
- Reproduzierbarkeit der Messungen bei vergleichbaren Randbedingungen
- Abhängigkeit des Standorts der Messgeräte - Dichtheit des Messsystems bestehend aus Messgerät, Pumpe und Schlauchverbindungen.

Bei der Baustoffprüfung sollen auch geringe Radonaktivitätskonzentrationen sicher bestimmt werden können. Es ist daher entscheidend, das Signal der Radonmesstechnik beim Vermessen einer radonfreien Gasatmosphäre - den Gerätenulleffekt - zu kennen. Die Bestimmung des Gerätenulleffekts erfolgte bei der Kalibrierung der Messgeräte zu Beginn des Projekts und wurde in dessen Verlauf zweimal wiederholt.

4.2 AUSWAHL, BESCHAFFUNG UND CHARAKTERISIERUNG VON BAUPRODUKTEN

Acht verschiedene Bauprodukte wurden in Absprache mit dem BfS ausgewählt und entweder direkt vom Hersteller bzw. vom lokalen Baustoffhandel bezogen oder selbst hergestellt. In Tabelle 2 sind die verwendeten Bauprodukte aufgelistet.

Tabelle 2: Übersicht über die im Projekt verwendeten Baumaterialien mit den durchschnittlichen Massen, Dichten und Abmaßen

Anzahl	Kürzel	Material	Nennmaße L × B × T in mm	Dichte in kg/m³	Bezugsquelle
25	Be1	Beton 1 (CEM IIIb mit Hüttensand + Basaltsplit)	100 × 100 × 100	2475	BAM-7.4
25	Be2	Beton (CEM I mit Flugasche + Basaltsplit)	100 × 100 × 100	2405	BAM-7.4
15	Gi	Gipswandbauplatte	666 × 500 × 80	830	Hersteller
40	Gr	Granitfliese	250 × 200 × 20	2627	Hersteller
80	Ka	Kalksandstein	240 × 115 × 71	1875	lokaler Baustoffhandel
80	Le08	Lehmstein 1	240 × 115 × 71	668	Hersteller
80	Le18	Lehmstein 2	240 × 115 × 71	1777	Hersteller
80	LB	Leichtbeton	100 × 100 × 100	1673	BAM-7.4

Sämtliche Materialien wurden zwecks Zuordenbarkeit nummeriert und - sofern möglich - hinsichtlich ihrer Materialcharakteristika Dichte, Nuklidkonzentration, Kornstruktur, Porosität und Feuchtegehalt untersucht. Für den Vergleich der bei den Testmessungen in den Prüfkammern bestimmten Radonexhalationsraten muss das verwendete Material homogen sein. Die Homogenität wurde durch Einzelmaterialprüfung in kleinen Prüfkammern (24 L) überprüft und die Proben bezüglich der Ähnlichkeit (Standardabweichung) ihrer Exhalationseigenschaften gruppiert.

4.3 ENTWICKLUNG EINES VERSUCHSAUFBAUS SAMT PROBENNAHMESTRATEGIE

Die aktive Probennahme mittels Pumpe über Schlauchverbindungen ist die bevorzugte Variante, da die Messgeräte nicht mit in die Kammer eingebracht werden müssen und dann über den gesamten Prüfzeitraum nicht mehr zur Verfügung ständen. Bei dieser „externen“ Probennahme muss daher ein etwaiges Ansaugen von Umgebungsluft über die Schlauchanschlüsse vermieden werden. Folglich wurde die Probennahme sowohl im „saugenden“ und „drückenden“ Betrieb verglichen. Im „saugenden“ Betrieb befindet sich die Pumpe hinter dem Messgerät und saugt die Prüfkammerluft aus der Kammer heraus durch die Zerfallsstrecke und die Messzelle. Im „drückenden“ Betrieb wird die Probennahmepumpe mit einem kurzen Schlauch an die Emissionsprüfkammer angeschlossen und die Probenluft dann durch die Zerfallsstrecke in das Messgerät gedrückt.

4.4 SENSIBILITÄTSANALYSE ZUR BANDBREITENABSCHÄTZUNG

Bei der Entwicklung des Prüfverfahrens wurden die Vorgaben der VOC-Prüfkammernormen ISO 16000-9 und prEN 16516 zu Grunde gelegt. In verschiedenen Messreihen wurden die Einflüsse der relevanten Prüfparameter Temperatur und rel. Luftfeuchtigkeit, Luftwechselrate, Kammerbeladung und -volumen auf die Radonexhalation untersucht. Zur Feststellung der Signifikanz potentieller Einflüsse wurden die Messreihen an vier verschiedenen Baustoffen durchgeführt (Be1, Be2, Gr, Le18). Auf Grundlage dieser Untersuchung wurde eine Abschätzung vorgenommen, über welchen Parameterbereich die Einflüsse klein bleiben. Diese wurden dann in der anschließenden Robustheitsuntersuchung verifiziert.

4.5 ROBUSTHEITSUNTERSUCHUNG

Zur Überprüfung der Robustheit des Prüfverfahrens wurden Radonexhalationsmessungen zweier Bauproduktproben bei variablen Prüfparametereinstellungen durchgeführt. Wie schon bei den Sensibilitätstests wurden die Einflüsse der relevanten Prüfparameter Beladung, Luftwechselrate und Prüfkammervolumen auf die Bestimmung der Radonexhalation untersucht.

4.6 ABSCHÄTZUNG DER VERFAHRENSUNSICHERHEIT

Die Abschätzung der Verfahrensunsicherheit erfolgte nach den Grundsätzen des ISO/IEC Guide 98-3 (GUM).

5. ERGEBNISSE

5.1 EIGNUNGSTEST VERSCHIEDENER KOMMERZIELL ERHÄLTLICHER RADONMESSGERÄTE

Der Eignungstest ergab, dass prinzipiell die Verwendung aller ausgewählten Messgeräte möglich ist. In Abhängigkeit von der Geräteempfindlichkeit unterscheidet sich jedoch die benötigte Messdauer, um die meist geringe bauproduktbedingte Radonkonzentration mit ausreichender Genauigkeit zu bestimmen. Um die Messdauer bei den folgenden Untersuchungen möglichst kurz zu halten, wurden die beiden AlphaGUARD-Messgeräte (Ionisationskammer) sowie die Durchflussszintillationskammer (Lucas-Zelle) für die weiteren Untersuchungen im Forschungsvorhaben ausgewählt (Abbildung 1).

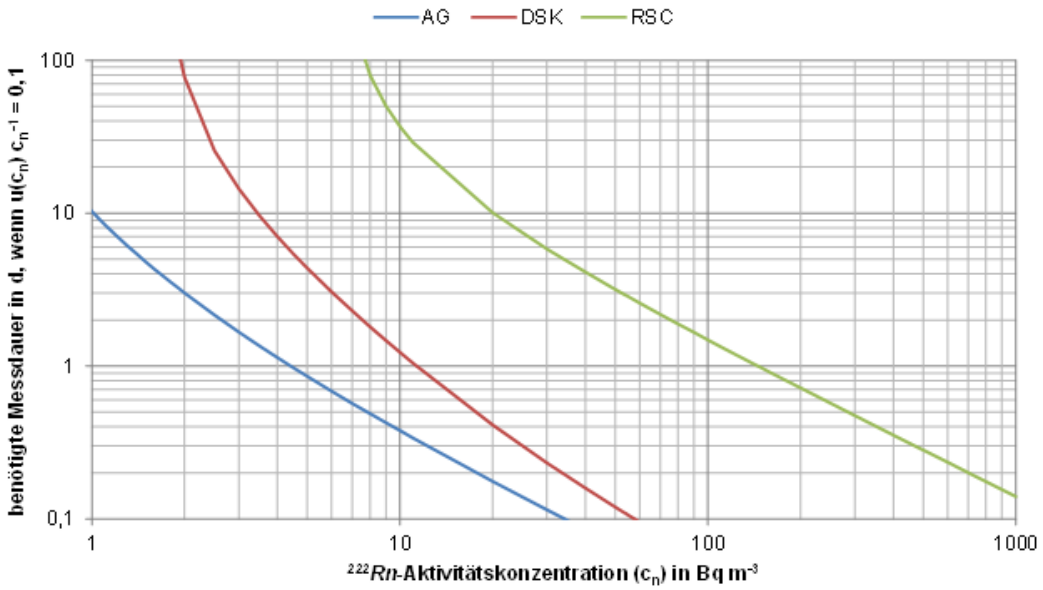


Abbildung 1: Benötigte Messdauer, um eine kombinierte Standardunsicherheit der Netto-Rn-222-Aktivitätskonzentration (c_n) von 10 % zu erzielen

Durch Vorschalten einer Zerfallsstrecke vor den AlphaGUARD und die Durchflussszintillationskammer konnte deren Selektivität für Radon deutlich verbessert werden.

5.2 ENTWICKLUNG EINES VERSUCHSAUFBAUS SAMT PROBENNAHMESTRATEGIE

Bei der Untersuchung auf Dichtheit bei der externen Probennahme stellte sich heraus, dass die Resultate der Messungen der Prüfkammerluft im drückenden Modus stets vergleichbar mit den Ergebnissen waren, bei denen die Messgeräte in der Prüfkammer standen. Ein anderes Bild zeigte die Messung im saugenden Betrieb, bei der niedrigere Radonaktivitätskonzentrationen festgestellt wurden.

In Abbildung 2 ist der resultierende Versuchsaufbau dargestellt.

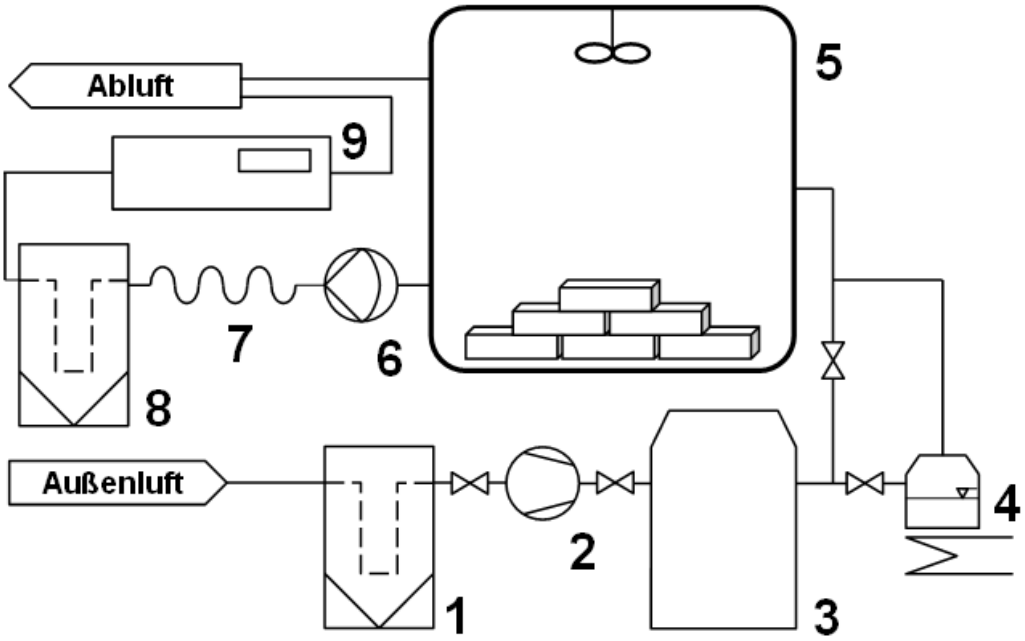


Abbildung 2: Versuchsaufbau und Probennahmestrategie (1 Mechanische Filtration, 2 Kompressor, 3 Reinstluftaufbereitung (mehrstufige Vorfilter, Adsorptionstrockner, Aktivkohleadsorber, Nachfilter), 4 Luftbefeuchtung, 5 Emissionsprüfkammer, 6 Membranpumpe, 7 Zerfallsstrecke, 8 Radonfolgeproduktfilter, 9 Radonmessgerät)

Es stellte sich heraus, dass die Hintergrundkonzentration in den Kammern meist gering, jedoch zeitlich variabel ist. Diese Variabilität war deutlich größer als die Streuung der Messwerte der Gerätenulleffektbestimmung, woraus geschlossen werden konnte, dass sie nicht vorrangig messgerätbedingt ist. Die einzelnen Konzentrationsganglinien (Kammerzuluft und Probenluft) zeigten deutliche Schwankungen, die jedoch untereinander sehr symmetrisch sind. Wurde die Differenz aus der Bruttokonzentration der Exhalationsmessung (Probenluft) und der Blindwertmessung (Zuluft) unter Berücksichtigung der jeweiligen Gerätenulleffekte bestimmt, ergab sich ein horizontaler Konzentrationsverlauf mit geringerer Schwankungsbreite, der nur durch das Bauprodukt bedingt war.

5.3 BANDBREITENABSCHÄTZUNG UND ROBUSTHEITSUNTERSUCHUNG

Aus den Ergebnissen der Sensibilitätsanalyse zur Ermittlung möglicher Prüfparameterbandbreiten sowie deren Überprüfung bei der Robustheitsuntersuchung, lassen sich für ein potentielles Prüfprotokoll folgende Vorschläge ableiten:

5.3.1 Prüfkammerbeladung

Für den Produktbeladungsbereich 0,3 bis 2,0 $m^2\ m^{-3}$ konnte bei den Robustheitsuntersuchungen kein signifikanter Einfluss auf die Messung festgestellt werden. Daher kann die Festlegung aus der prEN 16516 uneingeschränkt übernommen werden:

- 1,0 $m^2\ m^{-3}$ für Wände;
- 0,4 $m^2\ m^{-3}$ für Boden oder Decke.

Der Produktbeladungsfaktor darf nicht weniger als 50 % oder mehr als 200 % des festgelegten Beladungsfaktors betragen.

Weitere Beladungsfaktoren können festgelegt werden, wenn sie in Bezug auf die Radonexhalation sinnvoll sind.

5.3.2 Luftwechselrate

Die Luftwechselrate wurde bei den Robustheitsuntersuchungen im Bereich von 0,3 bis 1,0 h^{-1} und somit in einem kleineren Bereich als in der prEN 16516 angegeben untersucht. Hierbei zeigte sich besonders beim

geringer exhalierenden Lehmstein eine Zunahme der Messunsicherheit mit zunehmendem Luftwechsel, was mit der Verringerung der zu messenden Radonaktivitätskonzentration verbunden war. Als Empfehlung für den Luftwechsel kann somit gegeben werden:

Die Luftwechselrate sollte nicht weniger als 0,3 h^{-1} und nicht mehr als 1,0 h^{-1} betragen, um die Messunsicherheit für die meisten gängigen Baumaterialien gering zu halten. Sollte von dieser Empfehlung abgewichen werden, so ist, besonders bei gering exhalierenden Baumaterialien, die Prüfdauer entsprechend zu verlängern, um den Anstieg der Verfahrensunsicherheit zu kompensieren.

5.3.3 Temperatur und relative Luftfeuchtigkeit (RH)

Alle Messungen in einem Temperaturintervall von (23 ± 5) °C waren konstant. Damit wäre bezüglich der Temperatur ein größerer Parameterbereich als bei der Emissionsprüfung nach prEN 16516 theoretisch möglich. Um jedoch in möglichst weiten Teilen den Prüfbedingungen der prEN 16516 zu folgen, ist es sinnvoll, deren Parameterbereich von (23 ± 1) °C zu übernehmen. Bezüglich der Luftfeuchtigkeit war zu erkennen, dass die Radonexhalation in einem Intervall von (50 ± 5) % RH konstant war. Im Falle der relativen Luftfeuchtigkeit zeigte sich bei höheren Werten allerdings eine Abnahme des Messwerts, weshalb eine Erweiterung des Bereichs zunächst nicht empfohlen werden kann.

5.3.4 Prüfkammervolumen

Der Einfluss des Prüfkammervolumens auf die Messung konnte während der Robustheitsbetrachtung nicht zufriedenstallend geklärt werden. Wird jedoch eine erweiterte Messunsicherheit (k = 2) zugrunde gelegt, ist kein signifikanter Einfluss zu erkennen.

5.4 MESSUNG DER RADONKONZENTRATION

Theoretische Betrachtungen zeigten, dass bei der Verwendung von Messgeräten mit einer Empfindlichkeit von max. 35 (Bq/m³) / (Imp/min) bei einer Radonkonzentration von 5 Bq/m³ eine Prüfdauer von ca. 4,5 Tagen benötigt wird, um die Netto-Rn-222-Aktivitätskonzentration mit einer Standardunsicherheit von 10 % zu bestimmen. Unter Berücksichtigung des zusätzlichen Beitrags der parallelen Blindwertbestimmung zur Standardunsicherheit der Exhalationsrate erscheint eine Prüfdauer von mindestens sieben Tagen als notwendig.

6. UMSETZUNG DER ERGEBNISSE

Die Euratom-Grundnormendirektive im Strahlenschutz fordert langfristige Strategien zur Bewältigung der Exposition durch Radon aus jedweden Quellen. Auch die Bauproduktenverordnung, deren Anforderungen an die Bauprodukte in Deutschland in die Musterbauordnung aufgenommen wurden, fordert, dass die Nutzer eines Gebäudes nicht durch gefährliche Gase, Teilchen und Strahlen beeinflusst werden, worunter im Allgemeinen auch Radon gezählt wird.

Durch die zunehmende Dichtheit von modernen und modernisierten Gebäudehüllen und die damit zusammenhängende Abnahme der Luftwechselrate werden selbst moderate Radonexhalationsraten üblicher Bauprodukte zu relevanten, der externen Exposition durch Bauprodukte vergleichbaren Beiträgen zur Gesamtdosis der Bewohner führen. Des Weiteren bedarf die Verwendung industrieller Rückstände, die z. T. erhöhte natürliche Radioaktivität aufweisen, in der Baustoffindustrie einer kontinuierlichen Beobachtung.

Eine regulatorisch/normative Berücksichtigung des Expositionspfades der Inhalation von Radon aus Bauprodukten scheiterte bislang am Fehlen einer standardisierten und robusten Messmethode. Die technischen Voraussetzungen für eine standardisierte Messmethode sind nun durch dieses Forschungsvorhaben gegeben und die Robustheit wurde bestätigt. Durch die breite Anwendung von VOC-Prüfkammern in Deutschland steht bei Bedarf eine genügend große Messkapazität auch für hohe Probenzahlen zur Verfügung.

In einer zweiten Phase soll die so entwickelte und geprüfte Methode in Form einer Messanleitung ausformuliert und der nationalen und europäischen Standardisierung im Rahmen der Bauproduktenprüfung zugeführt werden. Eine Notifizierung der Methode ist angestrebt, so dass sie bei einer europäischen Harmonisierung der Prüfnormen Berücksichtigung findet.

Thema

4. Mortalitäts-Follow-Up der Kohorte von ca. 64 000 ehemaligen Wismutbeschäftigten zum Stichtag 31.12.2013

Subject

Fourth follow-up of the mortality of the cohort of approximately 64 000 former Wismut employees at the appointed date 31/12/2013

Kennzeichen	**Beginn**	**Ende**	**Fördermittel**
3613S10022	01.08.2013	31.05.2016	EUR 315.118,-

Forschungs- / Auftragnehmer
Mediveritas GmbH, München

Projektleitung	**Fachbetreuung BfS**	**verantwortlich für den Text**
Dr. M. Toelg	Dr. M. Schnelzer, AG-SG 1.3	Dr. M. Toelg, E. Török, Dr. M. Schnelzer

1. ZIELSETZUNG

Das Bundesamt für Strahlenschutz (BfS) führt eine Kohortenstudie an ca. 60 000 ehemaligen Beschäftigten des Uranbergbaubetriebes der Wismut durch. Ziel ist die Abschätzung des Gesundheitsrisikos durch Strahlung unter Berücksichtigung der Confounder Staub und anderer Noxen. Im Rahmen des Ressortforschungsplans wurden bereits drei Mortalitäts-Follow-Ups zu den Stichtagen 31.12.1998, 31.12.2003 und 31.12.2008 durchgeführt. Im vorliegenden Vorhaben sollte in einem vierten Mortalitäts-Follow-Up der Vitalstatus von 34 128 Kohorten-Mitgliedern der Wismut-Kohortenstudie zum Stichtag 31.12.2013 ermittelt und für verstorbene Personen die Todesursache eruiert werden. Der Follow-Up-Zeitraum der Kohortenstudie wurde also um weitere 5 Jahre verlängert. Damit sind Risikoanalysen zur strahleninduzierten Mortalität über einen im Vergleich zu anderen Bergarbeiterstudien sehr langen Zeitraum (1946-2013) möglich.

2. EINZELZIELSETZUNG

Das Follow-Up wurde ohne Personenkontakte durchgeführt. Die notwendigen Informationen wurden über offizielle Stellen (Einwohnermeldeämter, Gesundheitsämter, Kreisarchive, Zentralarchive, Standesämter) erhoben.

2.1 ERHEBUNG DES VITALSTATUS

Der Vitalstatus (d. h. die Information, ob Kohortenmitglieder noch leben oder verstorben sind) sollte für 32 778 Personen ermittelt werden, die im dritten Follow-Up als lebend identifiziert worden waren (Hauptkollektiv). Zusätzlich sollte der Vitalstatus für 1 350 sogenannte „Sonderfälle“ ermittelt werden, für die kein Vitalstatus zum 31.12.2008 vorlag.

2.2 ERHEBUNG DER TODESURSACHE FÜR VERSTORBENE

Für alle verstorbenen Personen der Kohorte sollten Todeszeitpunkt und Todesursache ermittelt und die Todesursache nach ICD 10 verschlüsselt werden.

3. METHODIK

Um den Vitalstatus zu ermitteln, wurden mit Hilfe der jeweils letzten zur Verfügung stehenden Adressen der Kohortenmitglieder die zuständigen Einwohnermeldeämter angeschrieben. Meldeten Einwohnermeldeämter Personen als „noch wie angegeben gemeldet“, wurde diese Information in die Datenbank eingegeben und das Follow-Up war für die betreffenden Personen abgeschlossen. War eine Person als „verzogen“ gemeldet, wurde die neue Adresse in die Datenbank aufgenommen und das nun zuständige Einwohnermeldeamt angeschrieben. Der beschriebene Vorgang wiederholte sich so lange, bis eine aktuelle Adresse ermittelt oder die gesuchte Person als „verstorben“ gemeldet war. Für die „Sonderfälle“ ließ sich der Vitalstatus über die Einwohnermeldeämter allein nicht ermitteln, es wurden daher weitere Behörden (Kreisarchive/Stadtarchive, Standesämter) angeschrieben.

Bei von den Einwohnermeldeämtern als „verstorben“ gemeldeten Personen wurden, basierend auf den Angaben zu Sterbedatum und Sterbeort, die entsprechenden Gesundheitsämter mit der Bitte um Zusendung von anonymisierten Kopien der Totenscheine angeschrieben. Konnten die Gesundheitsämter die gewünschten Informationen nicht liefern, wurden ggf. weitere Behörden (statistische Landesämter und Zentralarchive) um Mithilfe gebeten. Lag der Totenschein vor, wurde die Todesursache nach ICD 10 verschlüsselt und mit der Übertragung des Codes in die Datenbank war das Follow-Up für den Verstorbenen abgeschlossen.

4. DURCHFÜHRUNG

Vom Bundesamt für Strahlenschutz wurde am 30.07.2013 eine Access-Datenbank mit den Adressen von 34 128 zu bearbeitenden Personen an den Auftragnehmer übergeben, darunter 1 350 „Sonderfälle“, für die kein Vitalstatus aus dem dritten Follow-Up vorlag.

Nach Überführung der Daten in die Projektdatenbank und einer Aktualisierung der Anschreiben konnte im Oktober 2013 mit dem Versand der Formblattanfragen an die Einwohnermeldeämter und Standesämter begonnen werden (zunächst nur „Sonderfälle“), ab Januar 2014 folgten dann die Anfragen an die Einwohnermeldeämter für die 32 778 Personen des Hauptkollektivs. Die von den Ämtern erhaltenen Daten wurden kontinuierlich in die Projektdatenbank eingegeben und ab April 2014 wurden auch die Gesundheitsämter wegen der Totenscheinkopien kontaktiert. Die eingegangenen anonymisierten Totenscheinkopien wurden kontinuierlich an das statistische Landesamt in Bad Ems verschickt, wo die Todesursachen nach ICD10 verschlüsselt wurden. Im April 2016 waren alle Datenerhebungsarbeiten beendet.

5. ERGEBNISSE

5.1 VITALSTATUS

Für 32 691 Personen (99,7 %) der 32 778 Personen des Hauptkollektivs konnte der Vitalstatus ermittelt werden (siehe Tabelle 1). 4 118 dieser Personen (12,6 %) wurden als „verstorben“ gemeldet, 28 573 Personen (87,2 %) wurden als „lebend“ ermittelt. Für 87 Personen des Hauptkollektivs (0,3 %) konnte kein Vitalstatus ermittelt werden („nicht zu ermitteln“: 2; „ins Ausland verzogen“: 48; „unbekannt verzogen“: 37). Für 310 Personen (23,0 %) aus der Gruppe der „Sonderfälle“ konnte der Vitalstatus ermittelt werden: 62 Personen waren noch am Leben und 248 verstorben.

5.2 TODESURSACHEN

Insgesamt 4 140 Totenscheine sind dem Bundesamt für Strahlenschutz bis April 2016 zugegangen (für 98,0 % der Verstorbenen aus dem Hauptkollektiv und 42,7 % der Verstorbenen aus der Gruppe der „Sonderfälle“). Für 84 Personen aus dem Hauptkollektiv (2 % der Verstorbenen) und 142 „Sonderfälle“ (57,3 % der Verstorbenen) konnten die zuständigen Ämter keine Totenscheinkopien zur Verfügung stellen.

Alle auf den 4 140 Totenscheinen dokumentierten Todesursachen wurden nach ICD-10 verschlüsselt.

Tabelle 1: Zusammenfassende Darstellung des WISMUT-FOLLOW-UP 4

	Gesamtkollektiv			**Hauptkollektiv**			**Sonderfälle**	
	N	**%**		**N**	**%**		**N**	**%**
noch so gemeldet, lebt	28 635	83,9		28 573	87,2		62	4,6
verstorben (Todesursache unbekannt)	226	0,7		84	0,3		142	10,5
verstorben (Todesursache bekannt)	4140	12,1		4034	12,3		106	7,9
nicht zu ermitteln	501	1,5		2	0,0		499	37,0
ins Ausland verzogen	53	0,2		48	0,1		5	0,4
unbekannt verzogen	573	1,7		37	0,1		536	39,7
Summe	**34 128**	**100,0**		**32 778**	**100,0**		**1350**	**100,0**

6. UMSETZUNG DER ERGEBNISSE

Die Wismut-Kohortenstudie dient der Untersuchung der gesundheitlichen Auswirkungen des Uranbergbaus, insbesondere dem strahlenbedingten Gesundheitsrisiko. Die Daten aus dem neuen Follow-Up ermöglichen Risikoanalysen über einen längeren Beobachtungszeitraum als andere Bergarbeiter-Studien. Somit werden Aussagen über das Risiko lange Zeit nach Exposition möglich. Mit zunehmender Anzahl an Personenjahren und Todesfällen erhöht sich auch die Aussagekraft der Studie, was besonders für Aussagen im Niedrigdosis-Bereich und dem Zusammenhang mit anderen Krankheiten als Lungenkrebs von großer Bedeutung ist. Dies trägt dazu bei, für den Strahlenschutz wesentliche Kenntnislücken zu schließen.

Themenbereich 02
Strahlenschutztechnik

Subject area 02
Radiation protection techniques

Thema

Konzepte zur Charakterisierung klinischer CT-Systeme unter Einbeziehung von Bildqualität und Dosis

Subject

Development and implementation of concepts for characterisation of clinical CT systems considering image quality and dose

Kennzeichen	Beginn	Ende	Fördermittel
3613S20007	01.08.2014	31.07.2016	EUR 248.805,-

Forschungs- / Auftragnehmer
Centre Hospitalier Universitaire Vaudois, Institut de radiophysique, Lausanne, Schweiz

Projektleitung	Fachbetreuung BfS	verantwortlich für den Text
Prof. Dr. F. R. Verdun	Dr. A. Schegerer / AG-SG 2.3	Prof. Dr. F. R. Verdun

1. ZIELSETZUNG

Ziel des Vorhabens ist die Entwicklung eines objektiven Verfahrens zur Bewertung der Dosiseffizienz von CT-Scannern in Abhängigkeit klinischer CT-Protokolle. Scanner, die die neuesten iterativen Bildrekonstruktionsmethoden einsetzen, wurden bei der Bewertung eingeschlossen.

2. EINZELZIELSETZUNG

Das Vorhaben bestand aus 4 Arbeitspaketen. Die Arbeitspakete (AP) 1 (Aufarbeitung des Standes von Wissenschaft und Technik) und 2 (Weiterentwicklung von Konzepten zur Charakterisierung von CT-Systemen) konnten im April 2015 abgeschlossen werden, AP 3 (Anwendung der Konzepte) im Juni 2016. Um die Ergebnisse von AP 4 (In Richtung einer standardisierten Herangehensweise) zu validieren, musste das Vorhaben um 3 Monate verlängert werden.

2.1 AUFARBEITUNG DES STANDES VON WISSENSCHAFT UND TECHNIK

Das erste AP des Vorhabens bestand aus einer Literaturrecherche bezüglich verschiedener Methoden, die bisher zur Beurteilung von Bildqualität in der CT entwickelt worden waren. Der Schwerpunkt lag hierbei auf mathematisch-physikalischen Modellansätzen für verschiedene Betrachter. Eine umfassende Literaturübersicht wurde aufbereitet und in einem wissenschaftlichen Journal publiziert (Phys. Med. 2015 Dec;31(8): 823-43).

2.2 WEITERENTWICKLUNG VON KONZEPTEN ZUR CHARAKTERISIERUNG VON CT

Die endgültige Zusammenstellung der Protokolle für die Bewertung der Dosiseffizienz von CT-Scannern wurde nach Absprache mit Radiologen aus dem Klinikum in Lausanne (CHUV) und dem BfS festgelegt. Die gewählten Protokolle sind allgemein genug, um sie bei allen für das Vorhaben ausgewählten Scannertypen einsetzen zu können. An den CT-Scannern zur Verfügung stehende Techniken, wie Techniken zur Röhrenstrommodulation oder iterative Bildrekonstruktionsalgorithmen wurden in die Messungen einbezogen. Auf der Basis von AP 1 wurden zwei Konzepte zur Bewertung der Bildqualität vorgeschlagen, die die beiden Hauptmerkmale von Bildqualität berücksichtigen: die räumliche Auflösung und die Erkennbarkeit weicher Strukturen (Niedrigkontraste). Die Niedrig-Kontrast-Nachweisbarkeit hängt stark vom Bildrauschen ab. Bei gegebener Dosis ist die Dosiseffizienz umso schlechter, je kleiner die Größe der Bildpunkte ist. Gleichzeitig nimmt aber das räumliche Auflösungsvermögen zu. Es wurde daher vorgeschlagen, beide Bildparameter in beiden Konzepten zu bewerten. Wie zu Beginn des Projektes festgelegt, wird in beiden Konzepten die Bildqualität an konkreten klinischen Anwendungen bewertet.

2.3 ANWENDUNG DES KONZEPTS

Insgesamt wurden 96 Messreihen durchgeführt (6 Protokolle, 8 CT, 2 Konzepte).

2.4 IN RICHTUNG EINER STANDARDISIERTEN HERANGEHENSWEISE

Im Moment gibt es keine standardisierte Methode zur Bestimmung der Dosiseffizienz von CT-Scannern. Auf Grund der ortsveränderlichen Eigenschaften von Bildqualität, insbesondere beim Einsatz iterativer Rekonstruktionstechniken, können konventionelle Methoden zur Bestimmung der Bildqualität (Bestimmung des Rauschleistungsspektrums und der Modulationsübertragungsfunktion) nur noch sehr eingeschränkt eingesetzt werden, da diese von ortsunabhängigen Bildqualitätsmetriken ausgehen. Die in diesem Vorhaben verwendeten Methoden können jedoch gerade auch bei CT-Bildern, die mit iterativen Algorithmen rekonstruiert wurden, eingesetzt werden. Für die Bewertung des räumlichen Auflösungsvermögens der Scanner dienten Hochkontrast-Objekte unterschiedlicher Größe.

Bei einer schrittweisen Erhöhung der Dosis wurde dann untersucht, mit welcher Dosis eine vorgegebene Bildqualität, d. h. ein bestimmtes Niedrigkontrastauflösungsvermögen erzielt wurde. Die Hauptschwierigkeit beim Vergleich unterschiedlicher Hersteller folgt aus der Tatsache, dass das Automatic Exposure Control (AEC)-Verhalten vom Gerätehersteller abhängt (Benutzung der Standardabweichung des Rauschniveaus oder des Referenzbildes). In dieser Studie wurde ein zylindrisches Phantom und ein Unterleibsphantom verwendet.

Die Fläche unter der Kurve, die die Detektierbarkeit von Niedrigkontraststrukturen in Abhängigkeit der Dosis wiedergibt, wird als Dosis-Effizienz-Index (DEI) vorgeschlagen. Beim Vergleich von Systemen mit gleich funktionierender AEC konnte der Bildqualitätsverlust bei Vergrößerung des verwendeten Prüfkörpers in Abhängigkeit der Dosis untersucht werden.

3. METHODIK

Das erste Konzept (Konzept 1) stellte den sog. idealen Betrachter dar, der Bildstrukturen unterschiedlicher Granularität gleichermaßen gut auflösen kann (maximaler Informationsgewinn). Es wurde verzichtet, das sogenannte Hotelling-Betrachtermodell einzusetzen, da es zur Auswertung zu viele Bilder erfordert (man benötigt mindestens 512x512 Bilder um die benötigte Kovarianz-Matrix zu berechnen). Stattdessen, und dem derzeitigen Wissensstand entsprechend, wurde das Verhalten der Niedrig-Kontrast-Nachweisbarkeit mit einem kanalisierten Hotelling-Betrachtermodell (CHO) (einer Näherung des Hotelling-Betrachtermodells) mit Laguerre-Gauss-Kanälen bewertet. Ein Pre-Whitening (PW)-Betrachtermodell im Fourierraum wurde für die Bewertung der Hoch-Kontrast-Nachweisbarkeit angewendet.

Beim zweiten Konzept (Konzept 2) wird die Effizienz des Scanners auf Basis eines anthropomorphen Betrachters bewertet. Dabei wird das menschliche Auflösungsvermögen imitiert. Im Rahmen des Vorhabens wurde vorgeschlagen, das Auflösungsvermögen des Scanners bezüglich weicherer Kontraststrukturen mittels einem kanalisierten Hotelling-Betrachtermodells (CHO) mit Gabor-Kanälen und das Hochkontrastauflösungsvermögen des Scanners im Fourierraum mittels der Funktion „Non-Pre-Whitening-With-The-Eye-Function“ (NPWE) zu bewerten. Die NPWE-Funktion unterscheidet sich von der konventionellen NPW-Funktion allein durch den Austausch der Modulationsübertragungsfunktion durch die der sog. „Task-based“ Modulationsübertragungsfunktion, was die Verwendung einer Metrik erlaubt, die auch bei iterativ rekonstruierten Bildern eingesetzt werden kann. Das Konzept 1 entspricht weitgehend der konventionellen Vorgehensweise bei der Bildqualitätsbeurteilung (Benutzung des Rauschleistungsspektrums und einer modifizierten Modulationsübertragungsfunktion).

Die Wahl des Phantoms war von besonderer Bedeutung. Für die Niedrig-Kontrast-Nachweisbarkeit in Unterleibsregionen wurde ein anthropomorpher Prüfkörper eingesetzt, der Kugeln beinhaltet, um den Partialvolumeneffekt in die Bewertung einzubeziehen. Bei Kopfprotokollen wurde der von MITA (Medical Imaging & Technology Alliance) und COCIR (the European Coordination Commitee of Radiological, Electromedical and Healthcare IT Industry) vorgeschlagene Prüfkörper benutzt. Es ist anzunehmen, dass die Prüfkörper von MITA (Kopf und Körper) zukünftig bei Geräteherstellern eingesetzt werden, um beispielsweise das Dosisreduktionspotential neuer CT-Techniken mit objektiven Bildqualitätsmetriken zu dokumentieren. Dabei werden ähnliche Konzepte wie in diesem Vorhaben verwendet.

4. DURCHFÜHRUNG

96 Messreihen wurden durchgeführt (6 Protokolle, 8 CT, 2 Konzepte). Tabellen 1 und 2 fassen die-CT Scanner und CT-Protokolle, die im Rahmen dieses Vorhabens in den Messungen eingesetzt wurden, zusammen.

Tabelle 1: Liste der in dieser Studie einbezogenen CT-Scanner

Hersteller	**GE HealthCare**		**Phillips**		**Siemens**		**Toshiba**	
CT	VCT	Revolution	Brilliance	Ingenuity Core	Emotion	Force	Activion	Aquillion
Baujahr	2008	2014	2006	2011	2003	2012	2007	2012
Zeilen	64	256	64	128	64	192	16	80
Algorithmus	FBP	ASIR-V	FBP	IDose	FBP	Admire	FBP	AIDR 3D
Spannung/ Modus	120 kV – Helical mode							
Schichtdicke	2,5 mm		2,5 mm		3 mm		3 mm	

Die Ergebnisse wurden hinsichtlich der eingesetzten Scannertypen anonymisiert. Jedem Hersteller wurde ein Großbuchstabe (A, B, C und D) zugeordnet, und der Kleinbuchstabe „a“ bzw. „b“ wurde „neueren“ bzw. „älteren“ CT-Scannern zugewiesen.

Tabelle 2: Zusammenfassung der CT-Protokolle, die für die Charakterisierung der CT-Scanner angewendet wurden

Kopf HR (High-Resolution): Traumatologie							
FOV/Dosis	FOV = 25 cm $CTDI_{vol}$ = 15 mGy						
Kernel	Bone Plus		D	H70h	Hr64h	FC80	FC30
Pitch	0,984	0,969	1	1		0,825	

Unterleib HR: Untersuchung auf Nierensteine					
FOV/Dosis	FOV = 25 cm $CTDI_{vol}$ = 15 mGy				
Kernel	Standard	B	B31s	Bf40s	FC18
Pitch	1,375	1,295	1,4		1,475

Brust HR: Brusterkrankung						
FOV/Dosis	FOV = 25 cm $CTDI_{vol}$ = 15 mGy					
Kernel	Lung	D	YC	B70s	Bl64s	FC30
Pitch	1,375	1,295		1,4		1,475

Unterleib LCD (Low-Contrast-Detectability): Erkennung fokaler Leberläsion						
FOV/Dosis	FOV = 32 cm $CTDI_{vol}$ = 5-10-15 mGy					
Kernel	Soft		B	B31s	Bf40s	FC18
Pitch	0,984	0,969	1	1		0,825
FOV/Dosis	FOV = 32 – 36 – 42 cm $CTDI_{vol}$: automatic tube current modulation					
Kernel	Soft		B	B31s	Bf40s	FC18
Pitch	1,375		1,295	1,4		1,475

Kopf LCD: Pathologien von Weichgewebe							
FOV/Dosis	FOV =25 cm $CTDI_{vol}$ = 55 mGy						
Kernel	Standard		UB	H31s	Hf40s	FC03	FC68
Pitch	0,984	0,969	1	1		0,825	

Pädiatrische Kopf LCD: Pathologien von Weichgewebe							
FOV/Dosis	FOV = 16 cm $CTDI_{vol}$ = 1 mGy						
Kernel	Standard		UB	H31s	Hf40s	FC03	FC68
Pitch	0,984	0,969	1		1		0,825

5. ERGEBNISSE

Alle Ergebnisse sind im Abschlussbericht präsentiert. Dieses Dokument gibt nur einige ausgesuchte Ergebnisse wieder, die die Bedeutung der vorgeschlagenen Konzepte veranschaulichen sollen.

5.1 NIEDRIG-KONTRAST-STRUKTUREN

Abbildung 1 zeigt die Bewertung der Scanner, die mit Konzept 1 beurteilt wurden (CHO mit Laguerre-Gauss, Erkennung von Niedrig-Kontrast-Strukturen in der Unterleibsregion). Diese Abbildung zeigt, dass sich CT Scanner bei niedrigen Dosisniveaus unterschiedlich verhalten. Außerdem sind Ergebnisse bei den neueren CT-Scannern (blau) besser als die Ergebnisse, die an älteren Scannern (rot) gewonnen wurden.

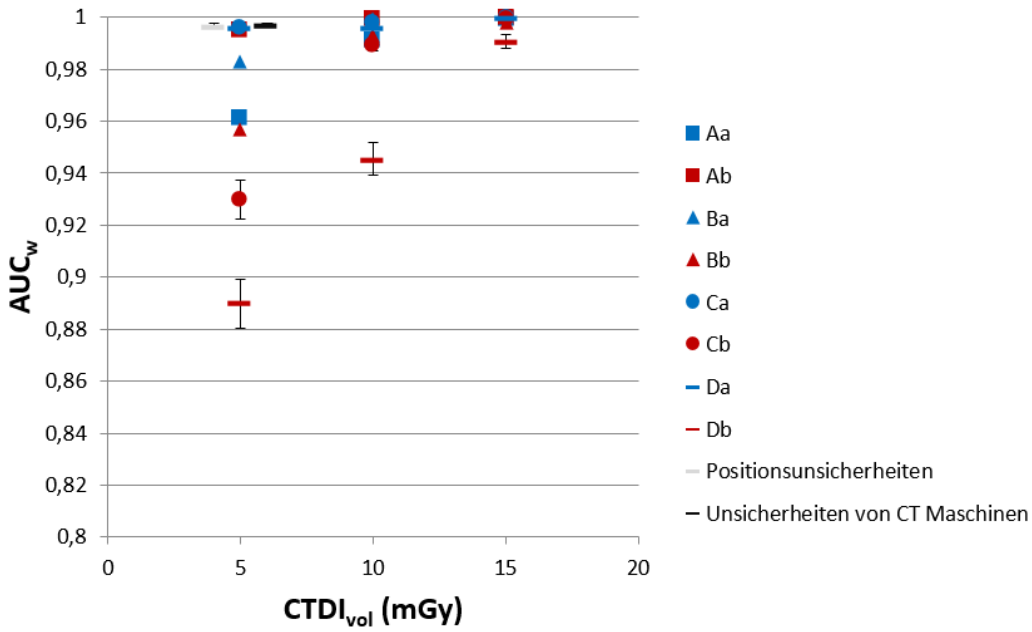


Abbildung 1: AUCw, d. h. die Erkennbarkeit einer Kugel; äquivalent zu drei $CTDI_{vol}$ Werten unter Verwendung des kleinen QRM-Unterleibsphantoms mit festem Röhrenstrom.
Die vertikale Achse ist die gewichtete AUC (AUCw - Mittelung der Ergebnisse für Läsionen von 5,6 und 8 mm Durchmesser) für jede der acht CTs. Die Fehlerbalken repräsentieren die 95 % Vertrauensintervalle. Rot kennzeichnet die älteren Scannersysteme jedes Herstellers und Blau die neueren.

5.2 HOCH-KONTRAST-STRUKTUREN

Basierend auf Konzept 2 (NPWE), stellt Abbildung 2 die Bewertung der Scanner für die Hoch-Kontrast-Nachweisbarkeit in der Unterleibsregion dar. Diese Abbildung zeigt, dass ein Hersteller (C) bessere Ergebnisse aufweist als andere mit neueren Scannern. Man kann auch feststellen, dass einige neuere Systeme (Bb) nicht signifikant bessere Ergebnisse als ältere Systeme (Ba) liefern.

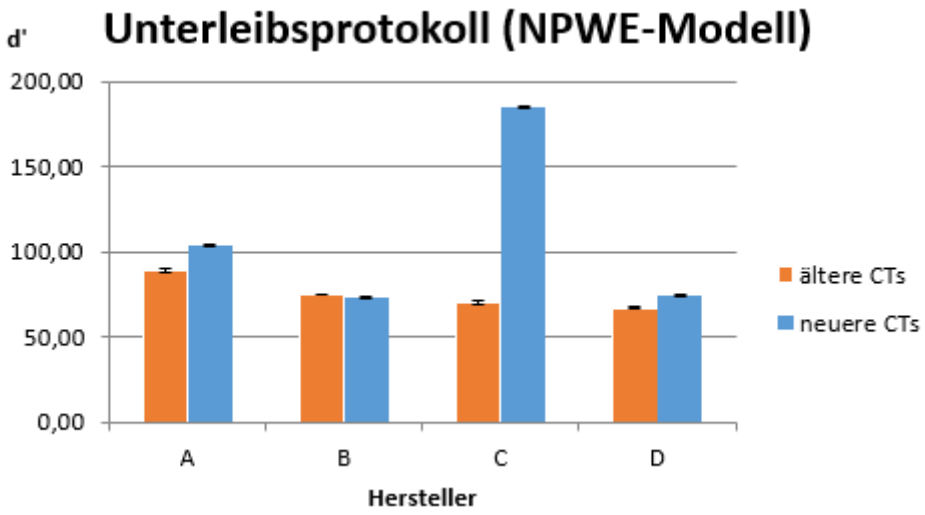


Abbildung 2: Nachweisbarkeitsindex, berechnet mit dem NPWE-Modell für einen nominalen Kontrast von 1080 HU

Die Ergebnisse von AP 3 erlauben die folgenden Schlussfolgerungen:

- Die vorgeschlagene Methode wurde für jedes Protokoll und jeden Scanner fünfmal wiederholt, um die Variabilität der Methode zu untersuchen. Eine Standardabweichung von 1-2 % wurde bestimmt.
- Die Anwendung zweier Konzepte, einem idealen und einem anthropomorphen Betrachtermodell, verändert das Ranking der Scanner nicht, führt aber zu einer Verschiebung der Ergebnisse. Wie erwartet sind die Ergebnisse, die durch einen idealen Betrachter erhalten wurden, die besten.
- Die Bewertung der Bildqualität auf der Basis zweier Kriterien ist von entscheidender Bedeutung. Nicht nur die Niedrig-Kontrast-Nachweisbarkeit ist zu beurteilen, sondern auch die räumliche Auflösung des Scanners.
- Die Nutzung des MITA-Phantoms mit iterativer Rekonstruktion ist von begrenzter Relevanz für die CT-Bewertung (da es für diesen Zweck nicht entworfen wurde). Auf Grund des „Regularisationsprozesses“ bei iterativen Bildrekonstruktionen kann die Korrelation lokaler 3D-Pixel eingeführt werden. Daher ist es wichtig Strukturen wie Kugeln anstatt von Stäben zu bewerten.

Teile dieser Arbeit wurden in Bamberg auf der vierten internationalen Konferenz über Bildgebung in der CT (18.-22. Juli, 2016) präsentiert. Sie werden in Kürze in der Zeitschrift „Medical Physics“ veröffentlicht werden.

5.3 VORSCHLAG EINES DOSIS-EFFIZIENZ-INDEX (DEI)

Die Fläche unter der Kurve, die die Detektierbarkeit eines Scanners bei unterschiedlichen Dosen wiedergibt, wie in Abbildung 3 dargestellt, stellt die Dosis-Effizienz von CT-Scannern dar und erlaubt daher die Einführung eines Dosis-Effizienz-Indikators (DEI). Beim Vergleich von Systemen mit demselben AEC-Prinzip kann der Verlust von Bildqualität bei einer Vergrößerung des Prüfkörpers in Abhängigkeit der Dosis untersucht werden (siehe Abbildung 4).

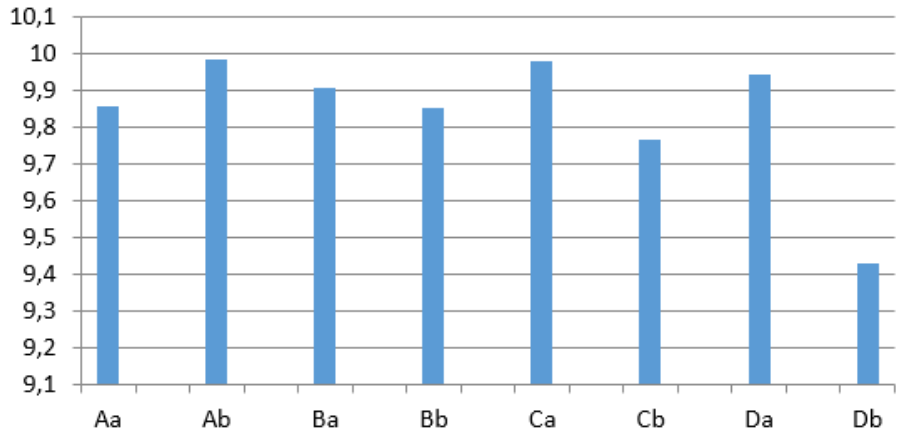


Abbildung 3: Die Fläche unter den Kurven in Abb. 1 stellt die Dosis-Effizienz des Scanners dar

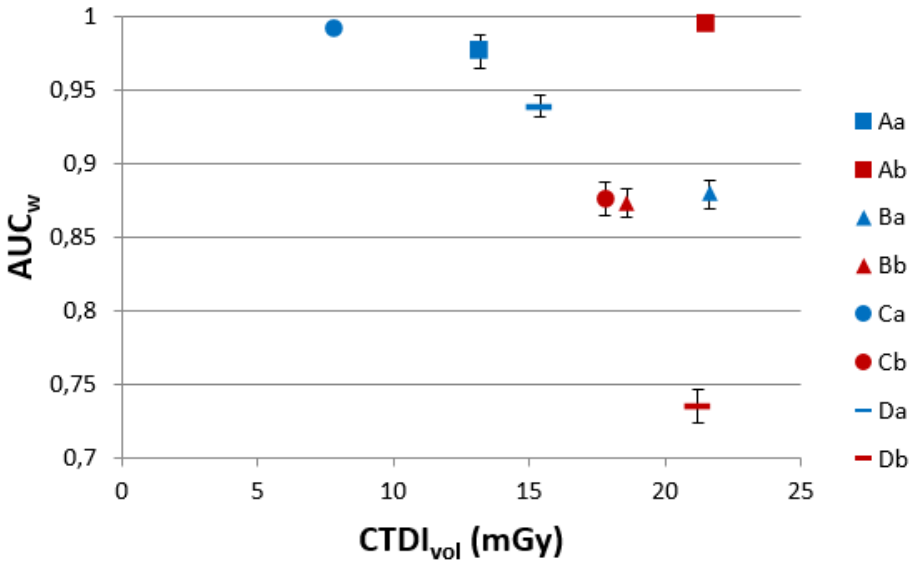


Abbildung 4: AUCw bei der Verwendung eines großen Phantoms bei unterschiedlichen $CTDI_{vol}$ Niveaus bei automatischer Röhrenstrommodulation für die acht unterschiedlichen CT-Scanner

6. UMSETZUNG DER ERGEBNISSE

Im Vorhaben wurden Methoden entwickelt, mit deren Hilfe die Dosiseffizienz von CT-Scannern nach dem heutigem Kenntnisstand von Wissenschaft und Technik, auch bei Einschluss neuer Techniken wie die Dosismodulation oder rekonstruktive Rekonstruktionsalgorithmen, bestimmt werden kann. Das Vorhaben dient dazu, die Grundlagen für Entscheidungen und Maßnahmen zur Reduzierung der medizinischen Strahlenexposition der Bevölkerung insbesondere in der CT, die ca. 60 % zur kollektiven effektiven Dosis aus künstlichen Strahlenquellen beiträgt, zu verbessern. Die Ergebnisse werden bei der aktuellen Überarbeitung der Richtlinie für Sachverständigenprüfungen nach der Röntgenverordnung berücksichtigt werden.

Themenbereich 03
Strahlenbiologie - Wirkung von ionisierender und nichtionisierender Strahlung, Strahlenempfindlichkeit

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

Thema

Validierung eines genomischen PCR-Verfahrens zum Nachweis von chromosomalen Translokationen zur Identifizierung prä-leukämischer Zellen bei Kindern - Pilotstudie

Subject

Validation of a genomic PCR approach to detect chromosomal translocations to identify pre-leukaemic cells in children - pilot study

Kennzeichen	**Beginn**	**Ende**	**Fördermittel**
3614S30034	01.12.2014	31.05.2015	EUR 75.277,-

Forschungs- / Auftragnehmer
Universitätsklinikum Heinrich-Heine-Universität, Düsseldorf

Projektleitung	**Fachbetreuung BfS**	**verantwortlich für den Text**
Prof. Dr. A. Borkhardt Dr. U. Fischer	Dr. S. Hornhardt / AG-SG 1.2	Prof. Dr. A. Borkhardt Dr. U. Fischer

1. ZIELSETZUNG

Die akute lymphoblastische Leukämie (ALL) bei Kindern ist gekennzeichnet durch das Auftreten wiederkehrender chromosomaler Translokationen. Die häufigste dieser Translokationen, die in 25 % der von B-Lymphozyten gebildeten ALLs im Kindesalter anzutreffen ist, führt zur Fusion der Gene ETV6 und RUNX1 zu dem chimären Transkriptionsfaktor ETV6-RUNX1. Diese Translokation scheint der erste Anstoß zu sein, damit sich eine normale hämatopoietische Vorläufer- oder Stammzelle in eine prä-leukämische Zelle umwandelt. Man geht davon aus, dass prä-leukämische Vorläufer-Zellen bereits in utero gebildet werden und über lange Zeit persistieren können, bevor sie durch eine sekundäre Mutation zum Ausbruch einer akuten Leukämie führen können. Diese sekundären Mutationen entstehen möglicherweise spontan oder durch Umwelteinwirkungen. In einer retrospektiven Studie konnte gezeigt werden, dass ETV6-RUNX1 positive, präleukämische Klone bereits in neonatalen Blutproben von Kindern vorhanden waren. Die Inzidenz dieser Zellen legte nahe, dass das Vorhandensein Leukämie-spezifischer Translokationen 100-fach höher sein könnte als die allgemeine Inzidenzrate für ALL (≈1 in 2000). Dies würde bedeuten, dass ETV6-RUNX1 positive Klone natürlicherweise ausgelöscht werden bzw. durch weitere Faktoren zur Entwicklung von Leukämie führen können. Allerdings bestätigten neuere Untersuchungen diese Daten bisher nicht. Um die tatsächliche Inzidenz der prä-leukämischen ETV6-RUNX1-Translokation festzustellen, sollte eine retrospektive, bevölkerungsbasierte Studie an Nabelschnurblutproben von 1000 gesunden Neugeborenen durchgeführt werden.

2. EINZELZIELSETZUNG

Ein geeignetes Screeningverfahren zur verlässlichen und sensitiven Detektion von chromosomalen Translokationen in klinischen Proben lange vor Ausbruch einer akuten Leukämie ist in dem vom Bundesamt für Strahlenschutz (BfS) geförderten Projekt 3611S70019 „Nachweis von chromosomalen Translokationen durch genomische PCR zur Identifizierung prä-leukämischer Zellen bei Kindern - Pilotstudie zur Entwicklung und Validierung geeigneter Sonden“ mit der GIPFEL-Methode (genomische inverse PCR für die Erfassung von ligierten Bruchpunkten GIPFEL (englisch: genomic inverse PCR for evaluation of ligated breakpoints)) entwickelt worden. Ziel des aktuellen Projektes war es, die Durchführbarkeit eines Screenings auf Basis der GIPFEL-Methode an Nabelschnurblutproben von Kindern zu erproben und eine Labor-übergreifende Standardisierung der Methode zu etablieren. Ein populationsbasiertes Screening sollte im Hinblick auf die abzuschätzende Inzidenz präleukämischer Klone mit der Translokation ETV6-RUNX1 implementiert werden.

2.1 AUFARBEITUNG DES RELEVANTEN STANDES VON WISSENSCHAFT UND TECHNIK

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

2.2 ETABLIERUNG DER GIPFEL-METHODIK AN NABELSCHNURBLUTPROBEN UND LABOR-ÜBERGREIFENDE STANDARDISIERUNG DER METHODIK

Die GIPFEL-Methode wurde an DNA-Proben etabliert, die aus Zellen des Knochenmarks von an Leukämie erkrankten Kindern bzw. aus Zellen des peripheren Blutes gesunder Spender isoliert wurden. Diese Methode sollte auf kryokonserviertes Nabelschnurblut als Ausgangsmaterial übertragen werden. Der Nachweis der ETV6-RUNX1-Translokation sollte an gesicherten ETV6-RUNX1-positiven Leukämieproben sowie an Negativproben (zum Ausschluss falsch-negativer und falsch-positiver Ergebnisse) etabliert und optimiert werden. Die Sensitivität des Nachweises sollte experimentell abgeschätzt werden. Die Methodik sollte in einer Weise standardisiert werden, die eine Übertragung auf andere Labore ermöglicht. Dies sollte an einem Test-Set in dem kooperierenden unabhängigen Labor überprüft werden.

2.3 SCREENING VON NABELSCHNURBLUTBANKPROBEN

Die GIPFEL-Methode zum Screening von humanen Nabelschnurblutproben von gesunden sowie im späteren Leben an Leukämie erkrankten Kindern sollte an einer Kohorte aus $\geq$ 1000 Proben validiert werden. Die Validierung sollte in enger Zusammenarbeit mit einem kooperierenden unabhängigen Labor erfolgen.

3. METHODIK

Zur verlässlichen und hochsensitiven Detektion von niedrig frequenten chromosomalen Translokationen in klinischen Proben wurde die GIPFEL-Methode entwickelt. Der Schlüsselschritt der Methode ist die Detektion eines für jede Translokation charakteristischen Ligationsproduktes, das nach Restriktionsspaltung und Religation von genomischer DNA entsteht und dessen Sequenz exakt und unabhängig von der genauen Lage des Bruchpunktes vorhergesagt werden kann. Damit werden kurze Amplikons möglich, die sich über SYBR-Green[1)]-basierte Methoden sehr genau quantifizieren lassen. Positive Ergebnisse können mittels Sanger-Sequenzierung validiert werden. Mittels dieser Methode kann sehr spezifisch eine präleukämische Zelle unter 10000 normalen Zellen nachgewiesen werden, dies entspricht einer Sensitivität von 10^{-4}. Diese Methode wurde eingesetzt, um die in vorherigen Studien beschriebenen Inzidenzen der ETV6-RUNX1-Translokation in Nabelschnurblutproben von 1000 gesunden Neugeborenen zu bestätigen oder zu widerlegen.

4. DURCHFÜHRUNG

4.1 ETABLIERUNG DER GIPFEL-METHODIK AN NABELSCHNURBLUTPROBEN UND LABOR-ÜBERGREIFENDE STANDARDISIERUNG DER METHODIK

In Abhängigkeit von der weiteren Verwendung werden Nabelschnurblutproben als vitale Zellen oder als nicht vitale Zellen kryokonserviert. Der Einfluss der Konservierungsmethode auf die Durchführbarkeit der GIPFEL-Methode wurde mit Hilfe der REH-Zelllinie, die positiv für die Translokation ETV6-RUNX1 ist, getestet. Gleiche Anzahlen dieser Zellen wurden nach üblichen Protokollen vital oder nicht-vital eingefroren. Die genomische DNA wurde extrahiert und die ETV6-RUNX1-Translokation mittels GIPFEL geprüft. Durch ein „Verdünnen“ von Translokationszellen mit nicht ETV6-RUNX1-positiven Zellen (HEK293-Zellen) wurde außerdem ein Einfluss der Konservierungsmethode auf die Sensitivität von GIPFEL überprüft. Zur Vorbereitung von populationsbasierten Untersuchungen wurde die GIPFEL-Methode Labor-übergreifend standardisiert. Dazu wurde das Protokoll an verschiedenen, vergleichbaren Geräten getestet und die Parameter so formuliert, dass sie auf andere Plattformen übertragbar sind. Zur Austestung der Labor-übergreifenden Ausführung des Protokolls wurde eine Mitarbeiterin des kooperierenden Labors von Prof. Dr. Kjeld Schmiegelow (Klinik für Kinder- und Jugendmedizin, Julian Marie Center, Rigshospitalet, Universitätskrankenhaus und Universität von Kopenhagen, Dänemark) im Labor des Projektleiters in der GIPFEL-Methode geschult. Ein Test-Set von Proben wurde dann im Labor des Projektleiters und im unabhängigen Labor von Prof. Schmiegelow von verschiedenen Mitarbeitern „blind“ prozessiert und die Ergebnisse verglichen. Mit dieser standardisierten GIPFEL-Technik wurden zunächst in einer Testphase 300 kryokonservierte Nabelschnurblutproben aus der Dänischen Geburtenkohorte analysiert.

[1)] ein asymmetrischer Cyanin-Farbstoff zum Nachweis doppelsträngiger DNA

4.2 SCREENING VON NABELSCHNURBLUTBANKPROBEN

Nach Auswertung der Ergebnisse aus der Testphase wurde die GIPFEL-Technik zum Screening von weiteren 700 Nabelschnurblutproben neugeborener Kinder eingesetzt und eine Abschätzung der Inzidenz der präleukämischen Translokation ETV6-RUNX1 vorgenommen.

5. ERGEBNISSE

5.1 ETABLIERUNG DER GIPFEL-METHODIK AN NABELSCHNURBLUTPROBEN UND LABOR-ÜBERGREIFENDE STANDARDISIERUNG DER METHODIK

Die GIPFEL-Methode ließ sich auf Nabelschnurblut als Ausgangsmaterial übertragen. Die Methode der Konservierung des biologischen Materials hatte keinen Einfluss auf die Sensitivität der Methode. Die erreichte Sensitivität des Nachweises von 10^{-4} war vergleichbar mit der bisher an Leukämieproben und -zelllinien erzielten. Es wurden keine falsch-positiven Signale detektiert, daher war auch die Spezifität vergleichbar. Die Ergebnisse der GIPFEL-Methode konnten außerdem unabhängig von der Laborplattform verlässlich reproduziert werden.

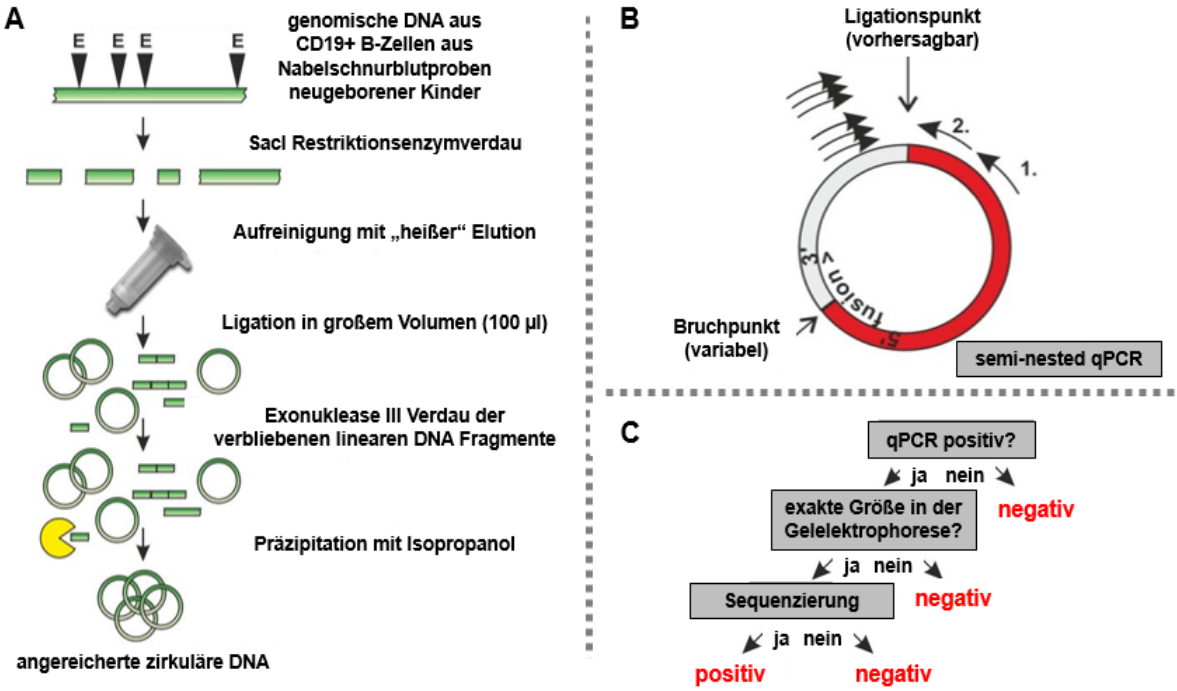


Abbildung 1: Standardisierte Methode des GIPFEL-Screenings von Nabelschnurblutproben (modifiziert nach Füller et al. PLOS ONE 2014)

A: Anreicherung zirkulärer DNA. CD19+ B-Zellen wurden mittels anti-CD19-Antikörper-bindenden magnetischen Beads aus Nabelschnurblut aufgereinigt. Aus diesen Zellen wurde genomische DNA extrahiert und mit dem Restriktionsenzym SacI (E) geschnitten. Nach Aufreinigung der fragmentierten DNA über Säulen wurde die Ligation in einem großen Volumen durchgeführt, um intramolekulare Zirkularisation zu begünstigen. Durch Exonuklease III-Verdau wurden verbliebene lineare Fragmente degradiert. Nach erneuter Aufreinigung erhielt man angereicherte zirkuläre DNA, die für den Einsatz in der folgenden semi-nested PCR bereit war. **B:** PCR-Strategie zur Detektion Translokations-spezifischer DNA-Zirkel. Primerpaare wurden so designed, dass die Bruchpunktregionen von ETV6 und RUNX1 abgedeckt und alle theoretisch möglichen GIPFEL-Ligationspunkte detektiert werden konnten. Zunächst wurde eine semi-nested real-time PCR mit drei gepoolten äußeren Primern komplementär zur 5'-Region der Fusion im ETV6-Gen und Multiplex-Primergruppen in der 3'-Region im RUNX1-Gen durchgeführt. Bei Vorliegen eines positiven Ergebnisses in dieser ersten PCR wurde das PCR-Produkt aus dieser Reaktion als Template für eine zweite real-time PCR mit drei gepoolten inneren ETV6-spezifischen Primern und einzelnen RUNX1-spezifischen Primern genutzt. Eine weitere Standard-PCR identifizierte den spezifischen ETV6-Primer. **C:** Beurteilung des GIPFEL-Ergebnisses. Ein positives Ergebnis in der GIPFEL-Analyse lag vor, wenn in der real-time PCR ein spezifisches Produkt detektiert wurde, dieses Produkt in einer Gelelektrophorese die exakt berechnete Größe aufwies und der Ligationspunkt mittels Sanger-Sequenzierung bestätigt werden konnte.

5.2 SCREENING VON NABELSCHNURBLUTBANKPROBEN

Die GIPFEL-Technik wurde zum Screening von weiteren 700 Nabelschnurblutproben neugeborener Kinder eingesetzt. Repräsentative Beispiele für ein negatives und ein positives GIPFEL-Ergebnis sind in Abbildung 2 und 3 gezeigt. Die GIPFEL-Ergebnisse wurden als qualitatives Ergebnis, d. h. positives real-time PCR-Ergebnis, PCR Bande erwarteter Länge und Identifizierung des Ligationspunktes mittels Sanger-Sequenzierung dokumentiert. Die Lage des jeweiligen individual- und patientenspezifischen DNA-Fusionsbruchpunktes wurde bestimmt.

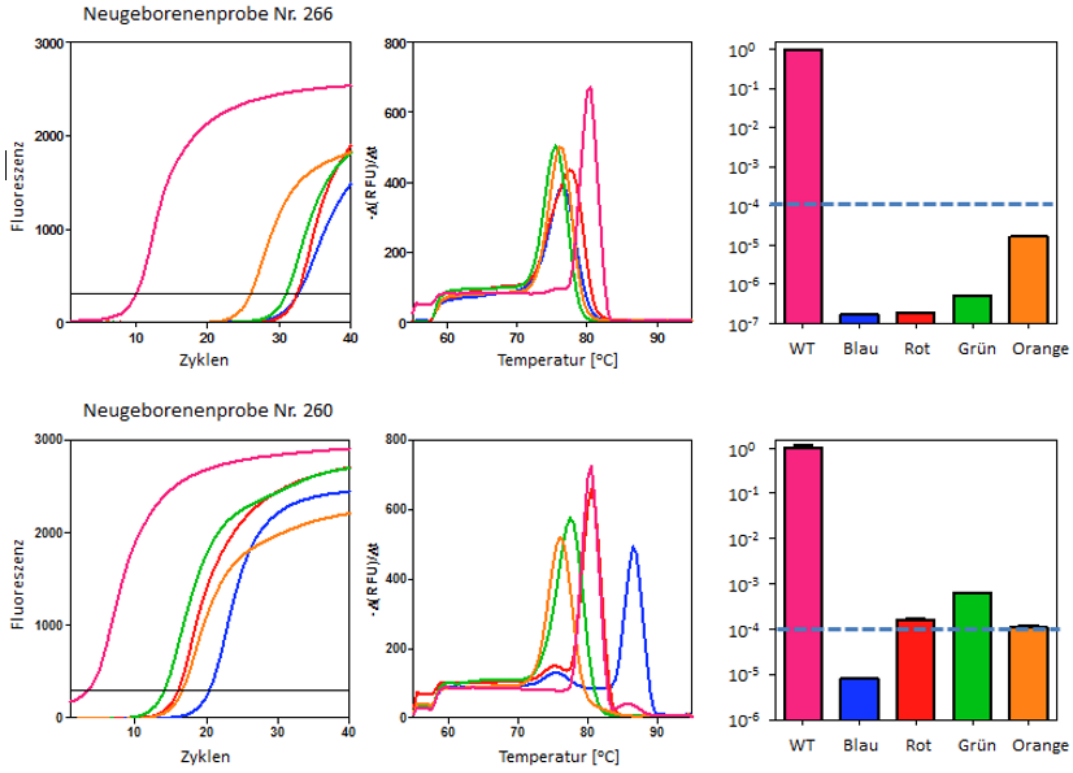


Abbildung 2: Repräsentative Beispiele von Ergebnissen der ersten real-time PCR im Verlauf des GIPFEL-Screenings von Nabelschnurblutproben

Oben: Negativ getestete Probe-Nr. 266. Oben links: Amplifizierung der positiven Kontrolle (RUNX1, nicht translozierte, „WT“, Wildtyp, in magenta) überschritt bereits nach 10 PCR-Zyklen den Schwellenwert (Threshold, schwarze Linie). Im Schmelzprofil (oben Mitte) ergab sich eine Temperatur von 80°C und in der Analyse der vorhandenen Kopien/Zellzahl (oben rechts) zeigte sich, dass der Wildtyp wie zu erwarten in jeder untersuchten Zellen vorkommt. Die Signale für die Multiplex-Primergruppen „Blau“, „Rot“, „Grün“ und „Orange“ überschritten den Schwellenwert erst nach 25 PCR-Zyklen, die Schmelzprofile ließen durch die relativ niedrigeren Temperaturen auf unspezifische Produkte schließen. Die Frequenz der detektierten Signale lag bei $\leq 10^{-5}$. Gelelektrophorese und Sanger-Sequenzierung zeigten keine spezifischen Fragmente bzw. Sequenzen.
Unten: Positiv getestete Probe-Nr. 260. Unten links: Amplifizierung der positiven Kontrolle (magenta) überschritt nach drei PCR-Zyklen den Schwellenwert. Im Schmelzprofil (Mitte) ergab sich eine Temperatur von 80°C und in der Analyse der vorhandenen Kopien/Zellzahl (rechts) zeigte sich, dass der Wildtyp in jeder untersuchten Zelle vorkommt. Die Signale für die Multiplex-Primergruppen „Rot“, „Grün“ und „Orange“ überschritten den Schwellenwert relativ früh nach 12-15 PCR-Zyklen, „Blau“ erst nach 20 Zyklen. Die Schmelzprofile ließen durch die relativ niedrigen Temperaturen bei „Grün“ und „Orange“ bzw. die hohen Temperaturen bei „Blau“ auf unspezifische Produkte schließen. Rot zeigte ein passendes Schmelzverhalten und lag in der Frequenz der detektierten Signale bei etwa $\leq 10^{-4}$. Gelelektrophorese und Sanger-Sequenzierung zeigten spezifische Fragmente bzw. Sequenzen für Rot (Abbildung 3).

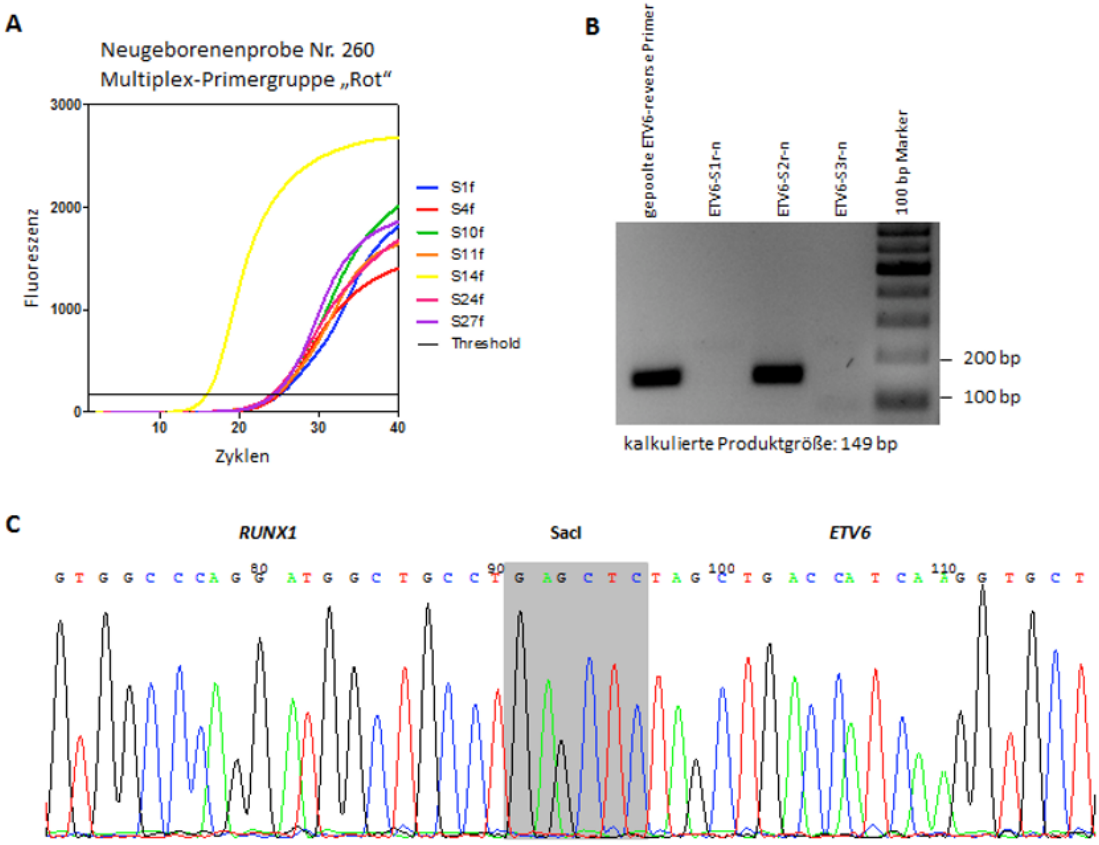


Abbildung 3: Repräsentatives Beispiel der zweiten real-time PCR, der Gelelektrophorese und der Sanger-Sequenzierung einer positiv getesteten Probe beim GIPFEL-Screening von Nabelschnurblutproben

A: Nach Erhalt eines positiven Signals in der real-time PCR der Probe Nr. 260 mit der Multiplex-Primergruppe „Rot“ wurde die PCR mit den Primern der Gruppe „Rot“ in sieben einzelnen real-time PCRs wiederholt. Hier ergab sich ein positives Signal für den RUNX1-Primer S14f (gelbe Kurve). Der Schwellenwert wurde bei der Amplifikation mit diesem Primer deutlich früher überschritten als bei anderen verwendeten Primer-Kombinationen. **B:** In der Gelelektrophorese zeigte das PCR-Produkt die berechnete Größe von 149 bp. Für die Analyse wurde eine weitere PCR durchgeführt um den bisher noch gepoolten ETV6-spezifischen Primer zu identifizieren. In dieser Analyse zeigten nur die gepoolten Primer, sowie der Primer ETV6-2r ein spezifisches Produkt (Basenpaarmarker, M, in rechter Probenspur). C: In der Sanger Sequenzierung konnte der Ligationspunkt (SacI-Schnittstelle) identifiziert werden. Die SacI Schnittstelle ist flankiert von Sequenzen, die spezifisch den Genen RUNX1 bzw. ETV6 zugeordnet werden können.

In 50 von 1000 der mit GIPFEL analysierten Nabelschnurblutproben von Neugeborenen konnten ETV6-RUNX1-Translokationen detektiert werden. Bei zwei der Neugeborenen (Proben-Nr. 505 und 531) traten zwei verschiedene ETV6-RUNX1-Translokationen in einer Probe auf. Alle positiv getesteten Proben sind in Tabelle 1 zusammengefasst. Auf Basis der erhaltenen Daten kann die tatsächliche Inzidenz ETV6-RUNX1-positiver präleukämischer Zellen in gesunden Neugeborenen auf ≥ 5 % geschätzt werden. In einer früheren Studie konnten anhand der GIPFEL-Technik allerdings nur 64 % der untersuchten ETV6-RUNX1-Translokationen in leukämischen Blasten von Patienten (n=60) erfolgreich nachgewiesen werden, d. h. 36 % der vorhandenen Bruchpunkte wurden nicht detektiert. Ursache dafür können z. B. komplexe Translokationen sein, die mehrere Gene betreffen, oder Translokationen, die außerhalb der bekannten, zumeist betroffenen Bruchpunktregionen liegen. In dieser früheren Studie wurde außerdem Zellmaterial verwendet, das zu > 80 % aus Translokation-tragenden Zellen bestand. Bei Nabelschnurblutproben nimmt man an, dass die Zahl Translokation-tragender Zellen bei $\leq 10^{-4}$, dem Sensitivitätsschwellenwert der GIPFEL-Methode, liegt. Da die GIPFEL-Methode im Wesentlichen durch die Menge der Translokation-tragenden DNA limitiert ist, könnte die Detektionsrate bei Nabelschnurblutproben daher noch deutlich unter 64 % liegen und die Inzidenz der ETV6-RUNX1-Translokationen daher erheblich höher sein als 5 %. Die Analyse des Krebsregisters zeigte, dass die ermittelte Fre-

quenz von ETV6-RUNX1-Translokationen bei gesunden Neugeborenen deutlich über der Leukämiefrequenz von ca. 0,5-1 in 10 000 liegt. Das Leukämie-induzierende Potential des Transkriptionsfaktors ETV6-RUNX1 wäre auf Basis dieser erhaltenen Daten als gering zu beurteilen. Bei einer Frequenz der ETV6-RUNX1-Translokation von $\geq$ 5 % in der Bevölkerung und von 25 % in der B-Zell-ALL, wäre das Risiko eines ETV6-RUNX1-Translokation-tragenden Kindes an ALL zu erkranken nur $\leq$ 5x höher als das eines Kindes ohne Translokation.

Tabelle 1: **Ergebnis des Nabelschnurblutproben-Screenings von 1000 neugeborenen Kindern in Bezug auf Zellen mit ETV6-RUNX1-Translokation.**
Angegeben sind die positiv getesteten Probennummern, die verwendeten Multiplex-Primergruppen der ersten real-time PCR, die in den folgenden PCRs identifizierten spezifischen Primer für das die Translokation tragende DNA-Fragment und die jeweiligen Introns der Gene ETV6 bzw. RUNX1, in denen die detektierte Translokation liegt. In Fettdruck hervorgehoben sind Proben in denen zwei ETV6-RUNX1-Translokationen gefunden wurden. Der Farbcode (z. B. „grün“, „orange“) umschreibt verschiedene Multiplex-Primergruppen, die in der 3'-Region im RUNX1-Gen hybridisieren.

Index-Nr. der positiv getesteten Neugeborenen	Multiplex-Primer-gruppe	Vorwärtsprimer	RUNX1 Intron	Reverser Primer	ETV6 Intron
5	grün	RUNX1-S6f	1	ETV6-S1r-n	5
59	orange	RUNX1-S13f	1	ETV6-S2r-n	5
99	grün	RUNX1-S2f	2	ETV6-S2r-n	5
260	rot	RUNX1-S14f	1	ETV6-S2r-n	5
285	rot	RUNX1-S11f	1	ETV6-S1r-n	5
286	grün	RUNX1-S8f	1	ETV6-S1r-n	5
382	rot	RUNX1-S11f	1	ETV6-S3r-n	5/6
424	blau	RUNX1-S23f	1	ETV6-S1r-n	5
439	blau	RUNX1-S23f	1	ETV6-S1r-n	5
440	grün	RUNX1-S18f	1	ETV6-S2r-n	5
441	blau	RUNX1-S22f	1	ETV6-S2r-n	5
447	blau	RUNX1-S28f	1	ETV6-S3r-n	5/6
463	rot	RUNX1-S10f	1	ETV6-S2r-n	5
472	orange	RUNX1-S21f	1	ETV6-S3r-n	5/6
479	orange	RUNX1-S13f	1	ETV6-S2r-n	5
493	grün	RUNX1-S18f	1	ETV6-S2r-n	5
496	orange	RUNX1-S5f	1	ETV6-S1r-n	5
505	**rot**	**RUNX1-S11f**	**1**	**ETV6-S3r-n**	**5/6**
505	**orange**	**RUNX1-S13f**	**1**	**ETV6-S1r-n**	**5**
506	blau	RUNX1-S28f	1	ETV6-S1r-n	5
521	rot	RUNX1-S4f	1	ETV6-S2r-n	5
522	rot	RUNX1-S10f	1	ETV6-S2r-n	5
527	orange	RUNX1-S21f	1	ETV6-S1r-n	5
531	**grün**	**RUNX1-S29f**	**1**	**ETV6-S2r-n**	**5**
531	**orange**	**RUNX1-S13f**	**1**	**ETV6-S2r-n**	**5**
548	orange	RUNX1-S21f	1	ETV6-S2r-n	5
563	rot	RUNX1-S11f	1	ETV6-S2r-n	5
578	rot	RUNX1-S24f	1	ETV6-S3r-n	5/6
590	blau	RUNX1-S26f	1	ETV6-S1r-n	5
599	rot	RUNX1-S10f	1	ETV6-S3r-n	5/6
619	orange	RUNX1-S5f	1	ETV6-S3r-n	5/6
622	blau	RUNX1-S26f	1	ETV6-S2r-n	5
630	blau	RUNX1-S12f	1	ETV6-S2r-n	5

Index-Nr. der positiv getesteten Neugeborenen	Multiplex-Primer-gruppe	Vorwärtsprimer	RUNX1 Intron	Reverser Primer	ETV6 Intron
651	rot	RUNX1-S4f	1	ETV6-S2r-n	5
670	blau	RUNX1-S12f	1	ETV6-S3r-n	5/6
673	grün	RUNX1-S8f	1	ETV6-S2r-n	5
674	blau	RUNX1-S28f	1	ETV6-S3r-n	5/6
726	blau	RUNX1-S22f	1	ETV6-S1r-n	5
729	blau	RUNX1-S23f	1	ETV6-S3r-n	5/6
731	rot	RUNX1-S4f	1	ETV6-S3r-n	5/6
732	rot	RUNX1-S10f	1	ETV6-S2r-n	5
770	orange	RUNX1-S13f	1	ETV6-S3r-n	5/6
775	rot	RUNX1-S14f	1	ETV6-S2r-n	5
784	blau	RUNX1-S28f	1	ETV6-S2r-n	5
791	grün	RUNX1-S6f	1	ETV6-S2r-n	5
795	rot	RUNX1-S24f	1	ETV6-S3r-n	5/6
817	orange	RUNX1-S25f	1	ETV6-S1r-n	5
823	orange	RUNX1-S13f	1	ETV6-S1r-n	5
890	blau	RUNX1-S23f	1	ETV6-S3r-n	5/6
908	blau	RUNX1-S15f	1	ETV6-S3r-n	5/6
912	rot	RUNX1-S24f	1	ETV6-S2r-n	5
926	orange	RUNX1-S5f	1	ETV6-S3r-n	5/6

6. UMSETZUNG DER ERGEBNISSE

Eine wesentliche Frage zum Verständnis der Leukämieentstehung ist, wie häufig der prä-leukämische Klon, der anscheinend schon im Mutterleib entsteht, bei Neugeborenen vorkommt. Aus bevölkerungsbasierten Studien liegen unterschiedliche Daten zur Frequenz der Vorschädigungen vor, aus denen zwei Hypothesen zur Häufigkeit des prä-leukämischen Klons abgeleitet wurden. In der ersten Studie wurde gezeigt, dass prä-leukämische Klone in neonatalen Blutproben von Kindern relativ häufig vorhanden waren, aber etwa 99 % dieser Kinder nie an einer ALL erkrankten. Dies würde bedeuten, dass Translokationen tragende Klone natürlicherweise ausgelöscht werden beziehungsweise erst durch weitere Faktoren zur Entwicklung von Leukämie führen oder eben unauffällig bleiben. Die zweite Studie konnte die Daten nicht bestätigen. Es wurde eine ca. um Faktor 100 geringere Häufigkeit gefunden. Daraus wurde abgeleitet, dass sich aus jedem prä-leukämischen Klon eine Leukämie entwickelt. Damit würde sich die Häufigkeit des prä-leukämischen Klons mit der Erkrankungsrate decken. Die Daten aus dem vorliegenden Projekt zeigen eine eher niedrige Frequenz des prä-leukämischen Klons, aber keine Übereinstimmung mit der Erkrankungsrate. Diese Erkenntnisse werden sich auf neue Forschungsansätze auswirken wie z. B. die Wirkung von Umwelteinflüssen und der Einfluss des Immunsystems auf die Krankheitsentwicklung.

Thema

Machbarkeitsstudie zum Aufbau einer Geburtskohorte und zur Überprüfung genetischer Prädisposition bei kindlichen Leukämien - Verbesserung der Teilnahmebereitschaft

Subject

Feasibility study for establishing a birth cohort and for testing genetic predisposition to childhood leukaemia

Kennzeichen	**Beginn**	**Ende**	**Fördermittel**
3614S30035	01.07.2015	30.09.2016	EUR 187.684,-

Forschungs- / Auftragnehmer
Leibniz-Institut für Präventionsforschung und Epidemiologie - BIPS GmbH
Unterauftragnehmer / Kooperation:
Universität Bielefeld

Projektleitung	**Fachbetreuung BfS**	**verantwortlich für den Text**
Prof. Dr. H. Zeeb	Dr. A. Dehos / AG-SG	S. A. Ernst

1. ZIELSETZUNG

In der ersten Machbarkeitsstudie zu dieser Fragestellung wurde die grundsätzliche Durchführbarkeit einer Geburtskohorte in Deutschland festgestellt.

Wesentliche Ziele dieser Folgestudie waren:

- Erforschung der Akzeptanz, der Einstellungen und des Informed Consent Process in Bezug auf die Teilnahmebereitschaft an Geburtskohorten in verschiedenen Bevölkerungsgruppen (d. h. sozial benachteiligte Gruppen, Familien mit Migrationshintergrund), insbesondere in Bezug auf die Entnahme von biologischen Proben
- Untersuchung von Maßnahmen, welche die Teilnahmebereitschaft in den genannten Bevölkerungsgruppen erhöhen
- Planung und Durchführung einer Basiserhebung mit Einbindung von sozial benachteiligten Eltern-Kind-Paaren und Eltern-Kind-Paaren mit Migrationshintergrund.

2. EINZELZIELSETZUNG

Es wurden 5 Einzelziele definiert:

- Erhebung der möglichen Gründe für die (Nicht-) Teilnahme an einer Geburtskohorte mit Gewinnung von Nabelschnurblut
- Planung der Instrumente für eine gezielte Ansprache verschiedener ethnischer und sozialer Gruppierungen
- Übersetzung der Befragungsinstrumente in relevante Fremdsprachen
- Datenerhebung
- Datenanalyse und Erarbeitung von Empfehlungen für die gezielte Rekrutierung von Frauen aus verschiedenen ethnischen und sozialen Gruppen im Rahmen einer deutschen Geburtskohorte.

3. METHODIK

Zunächst wurde der relevante aktuelle Stand von Wissenschaft und Technik aufgearbeitet sowie mögliche Gründe und Anreize für eine (Nicht-) Teilnahme an Geburtskohortenstudien erhoben.

- Systematische Literaturrecherche zu Anreizen und Gründen für eine (Nicht-) Teilnahme an Geburtskohortenstudien und zur Bereitschaft zur Abgabe von biologischen Proben (z. B. Nabelschnurblut) zu Forschungszwecken insbesondere in Bezug auf die Teilnahmebereitschaft in verschiedenen Bevölkerungsgruppen. Die Studienauswahl wurde limitiert auf deutsch- oder englischsprachige Publikationen und auf einen Publikationszeitraum, der die letzten zehn Jahre umfasst.

- Entwicklung eines Kurzfragebogens für Studienleiterinnen und Studienleiter anderer Geburtskohortenstudien in Deutschland zu spezifischen Erfahrungen in der Rekrutierung, insbesondere in Bezug auf die genannten Subgruppen
- Durchführung von Fokusgruppendiskussionen sowie Einzelinterviews mit
    - an der Rekrutierung beteiligten Personen (d. h. Projektmitarbeiterinnen der BaBi[1)]-Studie in Bielefeld sowie der vorangegangenen beiden Machbarkeitsstudien)
    - potenziellen Studienteilnehmerinnen der BaBi-Studie in Bielefeld (Zielpopulation)
    - Leistungsanbietern im Gesundheitswesen (z. B. Ärztinnen und Ärzte, Hebammen, Pflegepersonal)
- Auswertung der Kurzfragebögen für Nichtteilnehmerinnen aus LeuBiCo[2)] I und II (Non-Responder).

Durch die Kooperationspartner an der Uni Bielefeld wurde auf Basis der Erfahrungen aus der BaBi-Studie ein Expertenbericht zur Entwicklung der zielgruppensensiblen Studienunterlagen erstellt. Inhalte des Berichtes umfassen u. a. das Rekrutierungsvorgehen in der BaBi-Studie sowie die Entwicklung von zielgruppenspezifischen Studienmaterialien für Familien mit Migrationshintergrund.

Außerdem wurde ein Ergänzungsantrag zum bestehenden Ethikantrag bei der Ethikkommission der Ärztekammer in Bremen gestellt sowie ein Datenschutzkonzept entwickelt.

Sämtliche Studienmaterialien zur Information und Ansprache potentieller Studienteilnehmerinnen unterschiedlicher kultureller Herkunft sowie die entwickelten Fragebögen (Baseline und Follow-Up) wurden in folgende Sprachen übersetzt: Arabisch, Englisch, Französisch und Türkisch. Hierzu wurde ein Bremer Übersetzungsbüro beauftragt.

4. DURCHFÜHRUNG

Für die Ansprache der werdenden Eltern/Mütter wurden zwei unterschiedliche Wege der Rekrutierung genutzt. Zum einen erfolgte die Rekrutierung über verschiedene Praxispartnerinnen und Praxispartner (niedergelassene Gynäkologinnen und Gynäkologen, Hebammen sowie Familienbegleiterinnen von Pro Kind), welche für die Studie gewonnen werden konnten (April 2016). Bei der Auswahl neuer Kooperationspartner lag der Fokus vor allem auf Schlüsselpersonen mit Zugang zu Familien mit niedrigem sozioökonomischem Status oder Migrationshintergrund.

Zum anderen wurden werdende Mütter/ Eltern im Setting Klinik sowie im Rahmen von speziellen Angeboten für Schwangere (z. B. Wassergymnastik für Schwangere, Yoga für Schwangere) in die Studie mit einbezogen. Erfahrungen aus der Bielefelder BaBi-Studie haben gezeigt, dass durch die Rekrutierung in Geburtskliniken mit Hilfe von türkischsprachigen Mitarbeiterinnen ein deutlicher Gewinn an Teilnehmerinnen mit Migrationshintergrund erreicht werden konnte. So sprachen geschulte mehrsprachige Projektmitarbeiterinnen (Community Researcher) mit unterschiedlichem kulturellen Hintergrund ab Juni 2016 Schwangere in der Geburtsklinik direkt vor Ort an und luden sie ein an der Studie teilzunehmen.

Die erste Ansprache der werdenden Mütter diente einer ersten Vorstellung der Studie und dazu, die Frauen um Einwilligung zu einer Kontaktaufnahme durch das BIPS zu bitten. Die Frauen, die einer Kontaktaufnahme nicht zustimmten bzw. eine Teilnahme verweigerten, wurden gebeten, anonym einen Kurzfragebogen für Nichtteilnehmerinnen (Non-Responder) auszufüllen. Bei Zustimmung zur Kontaktaufnahme wurde vom BIPS ein Weblink oder ein schriftlicher Fragebogen zugesendet.

Eine vollständige Studienteilnahme umfasste zwei (Online-) Befragungen zu zwei Zeitpunkten. Die Mütter wurden pränatal innerhalb des letzten Trimenon der Schwangerschaft sowie postnatal ca. 8 Wochen nach der Geburt befragt. Um einen weitestgehend einheitlichen postnatalen Befragungszeitpunkt zu erhalten, wurde im Zuge der Einwilligungserklärung nach der aktuellen Schwangerschaftswoche gefragt.

[1)] Gesundheit von Babys und Kindern in Bielefeld
[2)] Befragung von werdenden Eltern zu Lebensgewohnheiten und Gesundheit

5. ERGEBNISSE

5.1 CHARAKTERISTIK DER STUDIENPOPULATION

Die teilnehmenden Frauen waren durchschnittlich 31 Jahre alt und jünger als ihre Partner (34 Jahre). Über einen Migrationshintergrund, das heißt eine ausländische Staatsangehörigkeit und/oder Geburtsort in einem anderen Land als Deutschland, verfügen 26,3 % der Teilnehmerinnen sowie 22,8 % ihrer Partner. Dabei war eine große Heterogenität bezüglich der Herkunftsländer sowie Staatsangehörigkeit bei den Teilnehmenden zu beobachten. 12,3 % der Frauen und 24,6 % ihrer Partner waren übergewichtig und 19,3 % der Frauen und 10,5 % ihrer Partner waren adipös. Von den teilnehmenden Frauen gaben 51 % an, in Zweipersonenhaushalten zu leben und 53 % gaben an, bereits Kinder zu haben. Das monatliche Nettoeinkommen, das den Teilnehmerinnen zur Verfügung steht, lag bei der Mehrheit der Teilnehmerinnen bei oder über 2750 €. Der Anteil der Teilnehmerinnen mit höherer Schulbildung und Hochschulbildung lag deutlich höher als der Anteil mit niedriger und mittlerer Schulbildung und beruflicher Ausbildung.

5.2 REKRUTIERUNGSSTRATEGIE UND TEILNAHMEBEREITSCHAFT

Von den insgesamt 12 verschiedenen Praxispartner/-innen, die sich an der Ansprache und Erstrekrutierung beteiligten, waren drei niedergelassene Gynäkologinnen und Gynäkologen und neun Hebammen/Familienbegleiterinnen. Im Rahmen der aktiven direkten Ansprache durch Studienpersonal kamen fünf Study Nurses/ Community Researcher mit unterschiedlichem kulturellem Hintergrund zum Einsatz.

Insgesamt nahmen n=57 Teilnehmerinnen an der Baseline-Befragung teil. Zwölf der Teilnehmerinnen füllten auch den Fragebogen zum Zeitpunkt nach der Geburt aus. Innerhalb der Befragung vor der Geburt nutzten zwei Teilnehmerinnen die arabischsprachige Version des Fragebogens und eine Teilnehmerin füllte den Fragebogen in Englisch aus. Die Mehrheit der Probandinnen nutzte die Online-basierte Version der Befragung (n=46).

Über die Praxispartner/-innen der Studie (niedergelassene Gynäkologinnen/Gynäkologen, Hebammen, Familienbegleiterinnen) konnten n=21 Schwangere in die Studie einbezogen werden. Davon hatten 5 Teilnehmerinnen einen Migrationshintergrund.

Durch die aktive direkte Ansprache durch Studienpersonal mit unterschiedlichem kulturellen Hintergrund vor Ort konnten n=33 Schwangere für die Studie rekrutiert werden. Die Mehrzahl der Frauen (n=28) wurden hierbei in der Geburtsklinik in Einzelgesprächen nach einem Termin, zum Beispiel zur Planung der Geburt (Oberarzt- und Hebammensprechstunde) angesprochen; die übrigen hatten sich nach einer Vorstellung in Kursen für Schwangere zur Studienteilnahme bereit erklärt. Über einen Migrationshintergrund verfügten n=10 Teilnehmerinnen.

5.3 GRÜNDE FÜR UND GEGEN EINE STUDIENTEILNAHME AUS SICHT DER STUDIENTEILNEHMERINNEN (**n**=57)

Die Angaben zu den Gründen für und gegen eine Teilnahme an Geburtskohortenstudien aus Sicht der Studienteilnehmerinnen wurden zum ersten Befragungszeitpunkt erhoben. Sämtliche Studienteilnehmerinnen füllten diesen Fragenblock aus.

Insgesamt kann festgestellt werden, dass sich keine wesentlichen Unterschiede hinsichtlich der Gründe für und gegen eine Studienteilnahme an einer Geburtskohortenstudie zwischen Frauen mit und ohne Migrationshintergrund feststellen lassen. Der am häufigsten angegebene Grund für eine Studienteilnahme, sowohl bei Frauen mit als auch ohne Migrationshintergrund, ist durch Altruismus motiviert, wie beispielsweise der Wunsch, die Gesundheitsforschung mit eigenem Wissen und für zukünftige Generationen voran zu bringen. Weitere wichtige Gründe sind das persönliche Interesse am Forschungsthema sowie die Empfehlung zur Studienteilnahme durch die Hebamme oder die niedergelassene Gynäkologin bzw. den niedergelassenen Gynäkologen. Eine monetäre Aufwandsentschädigung als Grund für die Studienteilnahme wurde lediglich einmal durch eine Frau mit Migrationshintergrund genannt. Die genannten Gründe auf die Frage: „Was sind Ihrer Meinung nach Gründe, warum andere werdende Mütter oder Eltern an einer solchen Studie teilnehmen?“ unterscheiden sich nicht wesentlich zwischen den genannten Gruppen. Frauen ohne Migrationshintergrund gaben als Motivation eine monetäre Aufwandsentschädigung nicht für sich selbst, aber in Bezug auf andere Frauen an.

Ein ähnliches Bild zeigte sich bezüglich der angegeben Gründe gegen eine Studienteilnahme anderer Frauen. Generelles Desinteresse an einer solchen Studie oder der Gesundheitsforschung generell bzw. keine Lust

zu einer Studienteilnahme war der häufigste Grund, gefolgt von einem zu hohen zeitlichen Aufwand sowie Befürchtungen hinsichtlich des Datenschutzes.

Bei allen Frauen spielten Familienmitglieder beim Entscheidungsprozess für oder gegen eine Studienteilnahme eine eher untergeordnete Rolle.

5.4 GELEGENHEITEN FÜR DIE GEZIELTE ANSPRACHE AUS SICHT DER STUDIENTEILNEHMERINNEN

Zum Abschluss des Fragenblockes zu Gründen für und gegen eine Teilnahme an einer Geburtskohortenstudie wurden die Frauen gebeten anzugeben, wo sich ihrer Meinung nach die beste Gelegenheit bietet, über eine solche Studie informiert zu werden. Die betreuende Gynäkologin bzw. der betreuende Gynäkologe (n=43/57) oder die Hebamme (n=33/57) sowie die Ansprache in Geburtsvorbereitungskurs (n=29/57) und Geburtsklinik (n=27/57) wurden am häufigsten genannt.

5.5 ENTNAHME VON BIOLOGISCHEN PROBEN

Insgesamt ist die (hypothetisch erfragte) Bereitschaft für Proben, welche ausschließlich die Mutter betreffen (Blutprobe der Mutter, Speichelprobe der Mutter, Urinprobe der Mutter), höher im Vergleich zur Bereitschaft, Proben des ungeborenen Kindes zur Verfügung zu stellen. Die geringste Bereitschaft wurde hinsichtlich der Entnahme von Nabelschnurblutproben zu Forschungszwecken angegeben. Teilnehmerinnen mit Migrationshintergrund zeigten generell eine geringere hypothetische Bereitschaft hinsichtlich aller abgefragten biologischen Proben im Vergleich zu Frauen ohne Migrationshintergrund.

5.6 EMPFEHLUNGEN FÜR DIE GEZIELTE REKRUTIERUNG VON FRAUEN AUS VERSCHIEDENEN ETHNISCHEN UND SOZIALEN GRUPPEN IM RAHMEN EINER DEUTSCHEN GEBURTSKOHORTE

Folgende Aspekte wurden bei der Erstellung von Empfehlungen berücksichtigt:

- Empfehlungen für die gezielte Rekrutierung der verschiedenen ethnischen und sozialen Gruppen, einschließlich Aussagen zur Auswahl geeigneter Instrumente
- Überlegungen zu geeigneten „Belohnungsinstrumenten“ für verschiedene Beteiligtengruppen
- zeitlicher und finanzieller Aufwand für die gezielte Rekrutierung schwierig zu erreichender Frauen.

5.6.1 Empfehlungen für die gezielte Rekrutierung der verschiedenen ethnischen und sozialen Gruppen, einschließlich Aussagen zur Auswahl geeigneter Instrumente

Rekrutierungsstrategie/Ansatz:

- Niederschwellige Rekrutierung: Die üblichen Rekrutierungsstrategien durch indirekte Wege waren nicht zielführend für den Einschluss von Migrantinnen. Bei einer direkten Ansprache können Fragen und Missverständnisse geklärt werden.
- Klinikrekrutierung mit Studienpersonal mit unterschiedlichem kulturellen Hintergrund vor Ort: eine zwar ressourcenintensive, aber erfolgreiche Rekrutierungsstrategie für Frauen/Familien mit Migrationshintergrund.
- Setting Klinik als besonders wichtiger Ort zur Rekrutierung/Ansprache von diversen Bevölkerungsgruppen (fast „alle“ kommen zur Geburt). Zu wichtigen Terminen werden von den Frauen/Familien mit Sprachbarrieren in den meisten Fällen eigene Dolmetscher (z. B. andere Familienangehörige) mitgebracht. Diese könnten auch für eine Ansprache durch das Studienpersonal hilfreich sein.
- Setting Klinik: Wiederholte Ansprache der werdenden Mütter („Klinikkooperation“); Arzt/Ärztin leitet potentielle Teilnehmerinnen an Projektmitarbeiterinnen weiter. Hierdurch wird ein „Vertrauensvorschuss“ im Vergleich zur direkten Rekrutierung ohne Vorankündigung erwirkt.
- Ansprache durch Familienbegleiterinnen/Hebammen hinsichtlich der Rekrutierung von Frauen/Familien in schwierigen Lebenslagen. Bei Ansprache durch ihnen vertraute Personen sind die Frauen eher bereit, an der Studie teilzunehmen. Es ist jedoch fraglich, ob dies eine langfristige Studienbindung sichert.

Studienmaterialien:

- Übersetzung sämtlicher Studienmaterialien in geeignete Fremdsprachen, um mögliche Sprachbarrieren zu überwinden

- Auf einfache Sprache achten und durch grafische Darstellungen ergänzen
- Falls zutreffend: Bilder auf z. B. Studienflyer/-informationen in Bezug auf die entsprechenden Adressaten auswählen, d. h. kulturspezifische Traditionen und Weltansichten müssen berücksichtigt werden.

Rekrutierungsteam/Ansprache:

- Frühzeitige Einbindung/Einsatz von Personen mit unterschiedlichem kulturellem Hintergrund in das Studienteam (multikulturelles Studienteam) bietet die Möglichkeit, Hemmungen, Sprachbarrieren und Misstrauen zu überwinden (z. B. Erklären der Studieninhalte in jeweiliger Muttersprache). Gleichzeitig wird den verschiedenen Migrantengruppen Wertschätzung entgegen gebracht durch die Schaffung eines Zuganges über Personen mit gleichem kulturellem Hintergrund.
- Schlüsselpersonen aus der jeweiligen Community mit Zugang zu relevanten Kulturvereinen und weiteren Vereinen (Schneeballprinzip, Wichtigkeit der Studie/Forschung) mit in die Studie/Rekrutierung einbinden, um den Bekanntheitsgrad der Studie in den entsprechenden Bevölkerungsgruppen zu erhöhen.
- (Multikulturelles) Studienteam: gute Schulung hinsichtlich interkultureller Kompetenzen für die Erstrekrutierung diverser Bevölkerungsgruppen und regelmäßige Wiederholung der Schulungsinhalte/Reflexion der Rekrutierung und ggf. Anpassung der Rekrutierungsstrategie (ABER: hoher Aufwand bei der Erstrekrutierung kann zu höherem selektiven Drop-out führen).
- Inhaltlich: Wichtig ist das Alleinstellungsmerkmal „Migrantin“ herauszustellen. Personen mit Migrationshintergrund können in besonderer Weise zur Verbesserung der Gesundheit/Lebensbedingungen von Migrantinnen beitragen.

Entnahme von biologischen Proben zu Forschungszwecken:

- Als Ort für die Entnahme von biologischen Proben ist das Krankenhaussetting als sicheres, vertrauenswürdiges Umfeld zu empfehlen. Der Zeitpunkt der Entnahme sollte nicht direkt mit der Geburt in Verbindung stehen.

5.6.2 Überlegungen zu geeigneten „Belohnungsinstrumenten“ für verschiedene Beteiligtengruppen

- Nicht monetäre Incentives (z. B. kleine Schokoladentäfelchen mit Studienlogo) sind empfehlenswert: geringer finanzieller Aufwand, es wird Wertschätzung gegenüber der potentiellen Studienteilnehmerin ausgedrückt. In der BaBi-Studie haben Verlosungen und Gutscheine eine positive Resonanz gezeigt und sind für weitere Geburtskohorten zu empfehlen.
- Monetäre Incentives sind vermutlich nur bei bestimmten Bevölkerungsgruppen wirksam (z. B. Frauen/Familien in schwierigen Lebenslagen). Für Längsschnittstudien ist eine langfristige Motivation der Studienteilnehmerinnen notwendig. Wenn finanzielle Anreize gegeben werden, sollten diese für den gesamten Zeitraum geplant werden, da sonst höhere Drop Outs zu erwarten sind. Dies verursacht jedoch hohe Kosten.
- Die Newsletter, wie sie in der BaBi-Studie versendet wurden, sind für einen besonders motivierten Teilnehmerstamm interessant, motivieren aber nicht direkt zur Teilnahme.

5.6.3 Zeitlicher und finanzieller Aufwand für die gezielte Rekrutierung schwierig zu erreichender Frauen

- Ressourcen für eine kultursensible Rekrutierung (z. B. multikulturelles Studienteam vor Ort) sollten bei der Mittelbedarfsplanung frühzeitig eingeplant und gezielt eingesetzt werden.
- Die Einstellung von Mitarbeiterinnen mit unterschiedlichem kulturellen Hintergrund sollte zu Beginn der Studie (also in der Vorbereitungsphase) erfolgen.
- Die Mitarbeit in einer Geburtskohorte benötigt von den Mitarbeitern eine hohe Flexibilität und Bereitschaft zum Reisen im Rekrutierungssetting.
- Es gibt Spielräume in der Häufigkeit der Kontakte, der Arten von Befragungen usw., mit denen der finanzielle und zeitliche Aufwand zu einem Teil gesteuert werden kann.

5.7 FAZIT

Insgesamt ist festzustellen, dass die Anzahl von publizierten und gesicherten Ergebnissen hinsichtlich der Erreichung von durch Diversität charakterisierten Bevölkerungsgruppen in Geburtskohortenstudien im internationalen Kontext wie auch national begrenzt ist. Dennoch ist aus Sicht der befragten Expertinnen und Experten davon auszugehen, dass der Einsatz von speziellen Rekrutierungsansätzen (zum Beispiel Übersetzungen, multikulturelles Studienteam, niedrigschwellige Rekrutierung) erfolgsversprechend für die Einbeziehung

dieser Bevölkerungsgruppen ist und Anwendung finden sollte, zumal der Anteil von Migrantinnen unter den Gebärenden groß ist (besonders in Städten) und weiter zunimmt. Es ist zu bedenken, dass gezielt höhere Ressourcen für eine kultursensibel ausgerichtete Rekrutierung nötig sind. Hinsichtlich einer Entnahme biologischer Proben im Rahmen eines solchen Forschungsvorhabens ist auf die weit verbreitete Ablehnung eines solchen Studienteils zu achten. Die Nabelschnurblutentnahme ist als besonders problematisch anzusehen. Die Ergebnisse unserer Studie weisen darauf hin, dass Teilnehmerinnen mit Migrationshintergrund möglicherweise eine noch geringere Bereitschaft zur Entnahme von biologischen Proben aufweisen.

Es bleibt festzuhalten, dass in die Studie eingeschlossene Frauen/Familien mit Migrationshintergrund häufig Akademikerinnen sind bzw. davon auszugehen ist, dass es sich hier um relativ gut integrierte Frauen/Familien handelt. Weitere sozial benachteiligte Bevölkerungsgruppen zu erreichen, ist als besonders schwierig einzuschätzen. Darauf weisen die Ergebnisse der Rekrutierung über Familienbegleiterinnen ebenso hin wie die entsprechenden Angaben in den Kurzfragebögen für Nichtteilnehmerinnen.

6. UMSETZUNG DER ERGEBNISSE

Die Etablierung einer Geburtskohorte ist ein wesentlicher Bestandteil des geplanten Forschungsprogramms zur Erforschung der Ursachen für Leukämie im Kindesalter. Die beiden vorausgegangenen Machbarkeitsstudien zeigten, dass eine Geburtskohorte mit Sammlung und Asservierung von Nabelschnurblut in Deutschland durchführbar ist und dass für die notwendigen Folgebefragungen webbasierte Erhebungen in hohem Maß eingesetzt werden können. Die vorliegende dritte Studie befasste sich mit der Frage, wie Frauen bzw. Familien mit niedrigem Sozialstatus und/oder mit Migrationshintergrund für die Teilnahme an einer Geburtskohorte gewonnen werden können. Ganz allgemein ist es für eine Geburtskohorte erforderlich, einen möglichst repräsentativen Querschnitt der Bevölkerung abzubilden. Hinzu kommt für den speziellen Fall der Erforschung der Ursachen für Leukämie im Kindesalter, dass die Inzidenzraten für unterschiedliche ethnische Gruppen verschieden sind und dass umweltbedingte Risikofaktoren in verschiedenen sozialen Gruppierungen unterschiedlich ausgeprägt sein können.

Eine deutschlandweite umweltepidemiologische Geburtskohorte wird nach wie vor für dringend erforderlich gehalten. Die Erforschung der Ursachen für Leukämie im Kindesalter hat zurzeit wegen des Stromnetzausbaus besondere Relevanz, da niederfrequente Magnetfelder einen Risikofaktor für die Erkrankung darstellen könnten. Die Ergebnisse dieser Machbarkeitsstudie stellen einen weiteren wichtigen Baustein für die Planung einer solchen Kohorte dar, nicht zuletzt auch unter finanziellen Aspekten.

Thema

Internationaler Workshop zur Ursachenforschung von Leukämie bei Kindern

Subject

International Workshop on the Causes of Childhood Leukemia

Kennzeichen	**Beginn**	**Ende**	**Fördermittel**
3616I02233	28.06.2016	31.12.2016	EUR 46.720,-

Forschungs- / Auftragnehmer
Valentum Kommunikation GmbH

Projektleitung	**Fachbetreuung BfS**	**verantwortlich für den Text**
Valentum Kommunikation GmbH	Dr. S. Hornhardt, Dr. G. Ziegelberger	F. Otto, A. Gruber, J. Thunecke

1. ZIELSETZUNG

Krebs kann spontan entstehen, kann aber auch durch genetische Prädisposition, Lebensstil (vor allem Ernährung) und umweltbedingte (chemische, physikalische oder biologische) Einflüsse induziert werden. Für viele Tumorarten sind umweltbedingte Risikofaktoren seit langem bekannt (z.B. Lungenkrebs durch Zigarettenrauch, Hautkrebs durch UV, Genitaltumore durch Tumorviren). Demgegenüber ist der Kenntnisstand zu den umweltbedingten Risikofaktoren für Leukämien im Kindesalter unbefriedigend und durch geringe Fortschritte gekennzeichnet.

In epidemiologischen Studien konnten konsistent statistische Zusammenhänge von Leukämien im Kindesalter sowohl mit schwacher ionisierender als auch mit schwacher nichtionisierender Strahlung beobachtet werden. Die Ergebnisse sind jedoch kausal und nach dem Stand der Wissenschaft bisher nicht erklärbar. Deshalb nahm das BfS diese wissenschaftlichen Ergebnisse zum Anlass, sich intensiv um die Erforschung der Ursachen für Leukämien im Kindesalter zu bemühen und ein Forschungsprogramm zu erarbeiten.

Um neue Wege zur Klärung der komplexen Ursachen von Leukämien bei Kindern zu finden, wurde bisher in ca. zweijährigem Abstand eine Reihe von internationalen Workshops organisiert. Im Rahmen einer 2,5-tägigen Veranstaltung wurde in einem 5. internationalen Workshop der aktuelle Forschungsstand zum Thema Ursachenforschung von Leukämie bei Kindern aus den unterschiedlichen Perspektiven und Forschungsfeldern umfassend beleuchtet, um den neuesten Stand der Wissenschaft zu erfassen und das Forschungsprogramm zu aktualisieren.

2. EINZELZIELSETZUNG

Unmittelbares Ziel der Veranstaltung war es, einen Überblick über das derzeitige Wissen zum Thema Ursachenforschung von Leukämie bei Kindern zu erarbeiten und sich im vielfältig besetzten Plenum, darunter Kinderärzte, Strahlenschutz-Experten, Vertreter der Epidemiologie und Genetik, darüber auszutauschen.

Der Workshop wurde in sechs inhaltlich aufeinander abgestimmte Sessions eingeteilt. Internationale Rednerinnen und Redner aus verschiedenen Fachbereichen wurden nach München eingeladen, um folgende Fragestellungen zu beleuchten: Was sind die wichtigsten Themen in ihrem Forschungsbereich in Bezug auf die Ursachen von Leukämie bei Kindern? Mit welchem Ansatz könnte man die derzeitigen offenen Fragen lösen? Wird im eigenen Land eine wachsende Anzahl von Betroffenen festgestellt?

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

3. METHODIK

3.1 VORAUSSETZUNGEN FÜR DEN WORKSHOP

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

3.2 PLANUNG UND ABLAUF DES WORKSHOPS

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

3.2.1 Planung des Workshops (AP 1)

- Auswahl eines Veranstaltungsortes
- Erstellung einer Website und eines Flyers
- Erstellung des Tagungsprogramms
- Einladung der Rednerinnen und Redner
- Einladung der Gäste
- Strukturierung des Programms
- Laufende Organisation und Vorbereitung des Workshops:
    - Registrierung der Teilnehmerinnen und Teilnehmer
    - Gestaltung und Druck der Namensschilder
    - Gestaltung und Druck des Programmhefts sowie weiterer relevanter Dokumente
    - Betreuung der Rednerinnen und Redner sowie Gäste
    - Koordination der Unterkunft der Rednerinnen und Redner
- Erstellung eines Abstractbandes

3.2.2 Durchführung des Workshops (AP 2)

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

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

4. DURCHFÜHRUNG

4.1 HINTERGRUND

Veranstalter des Workshops, der vom 14. bis 16. November 2016 in München stattfand, war das Bundesamt für Strahlenschutz im Auftrag des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit. Unmittelbar nach Beauftragung des Auftragnehmers wurde die Veranstaltungswebseite www.leukemia-workshop.de eingerichtet. Hier wurden laufend aktuelle Informationen zum Programm und dem Ablauf der Tagung sowie die Möglichkeit zur Registrierung bereitgestellt. Zudem wurde der Einladungsflyer als Download bereitgestellt oder per E-Mail an interessierte Kontakte versandt.

4.2 PROGRAMM

Mit 22 Vorträgen von eingeladenen Redner/-innen aus elf Ländern sowie acht Kurzvorträgen (Short Talks) wurde das Programm des 2,5-tägigen Workshops gestaltet. Das Programm wurde in sechs Einheiten gegliedert, die den Inhalt aufeinander aufbauend strukturierten.

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

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

Zwischen den Programmpunkten konnte das Publikum Fragen zu den Präsentationen stellen und Probleme oder Streitpunkte diskutieren. In den Programmpausen sowie einem gemeinsamen Conference Dinner am zweiten Veranstaltungstag konnten die Gäste den Austausch sowie das Networking untereinander im lockeren Rahmen fortsetzen.

Insgesamt nahmen 68 Personen aus 15 Ländern am Workshop teil.

Abbildung 1: Programm des Workshops

Monday, November 14

From 11:00	Arrival, registration, welcome coffee & pretzels
12:30 – 12:45	Official welcome *Axel Böttger, Federal Ministry for the Environment, Nature Conservation, Building and Nuclear Safety, Germany* Official welcome *Thomas Jung, Federal Office for Radiation Protection, Germany*
Session 1: Setting the Scene – From the radiation protection point of view *Chair: Federal Office for Radiation Protection*	
12:45 – 13:35	Looking back and lessons learned *Bernd Grosche, Germany*
13:35 – 13:55	Why a 5th workshop? Defining the goals *Gunde Ziegelberger, Germany*
13:55 – 14:45	Review of epidemiological studies of magnetic fields and childhood leukemia *Maria Feychting, Sweden*
14:45 – 15:15	Coffee break
15:15 – 16:05	Childhood leukemia and CT scans: overview of recent studies *Ausrele Kesminiene, France*
16:05 – 16:55	Environmental risk factors: natural background radiation and traffic-related air pollution *Ben Spycher, Switzerland*
16:55 – 17:45	New results from childhood leukemia international consortium CLIC *Alice Kang, USA*
17:45 – 18:00	Short break
Session 1: Short talks	
18:00 – 18:15	New California study on the link of power lines and Childhood leukemia *Ximena Vergara, USA*
18:15 – 18:30	Very low doses of γ–rays decrease self–renewal and promote constitutive oxidative stress of Hematopoietic Stem Cells *Henri–Paul Romeo, France*
18:30 – 18:45	Increased radiation sensitivity of T lymphocytes in newborns and children under five years of age compared to adults after low dose in vitro CT exposure *Maria Gomolka, Germany*
18:45 – 19:00	Genome stability and DNA repair capacity after in vitro irradiation in a small collective of young Ataxia telangiectasia patients *Martin Bucher, Germany*
from 19:30	Informal get-together

Tuesday, November 15

from 08:00	Arrival & registration

Session 2: Childhood leukemia etiology - Mechanisms of clonal evolution
Chair: Federal Office for Radiation Protection

08:30 – 09:15	Risk factors of Childhood Leukemia *Anssi Auvinen, Finland*
09:15 – 10:00	Mechanisms of clonal evolution in childhood ALL – The clinical perspective *Arndt Borkhardt, Germany*
10:00 – 10:45	Molecular mechanisms *Giovanni Cazzaniga, Italy*
10:45 – 11:05	Coffee break
11:05 – 11:50	Metabolic gatekeeper function of B-lymphoid transcription factors *Markus Müschen, USA*

Session 2: Short talk

11:50 - 12:10	2 % of healthy newborns reveal ETV6-RUNX1 Fusion by genomic inverse PCR for exploration of ligated breakpoints (GIPFEL) *Ute Fischer, Germany*
12:10 - 12:30	Preclinical mouse model of acute leukemia to study patients' primary tumor cells modified by genetic engineering *Irmela Jeremias, Germany*
12:30 – 13:30	Lunch break

Session 3: Old hypotheses get new support – Childhood Leukemia and the immune system
Chair: Federal Office for Radiation Protection

13:30 – 14:15	Childhood leukemia and infection *Tracy Lightfoot, United Kingdom*
14:15 – 15:00	Immune influence on ALL development *Gregor Reid, Canada*
15:00 – 15:45	Exposure to infection triggers pB-ALL on a genetically susceptible background *Julia Hauer, Germany*
15:45 – 16:15	Coffee break

Session 3: Short talks

16:15 – 16:30	Childhood vaccinations and risk of acute lymphoblastic leukemia in children *Signe Holst Søegaard, Denmark*
16:30 – 16:45	Space-time clustering of childhood leukemia: A systematic review and meta-analysis *Christian Kreis, Switzerland*
16:45 – 17:00	Spatial clustering of childhood leukemia in Switzerland: A nationwide study *Garyfallos Konstantinoudis, Switzerland*
17:00 – 17:15	Short break

Session 4: New Insights from animal models
Chair: Federal Office for Radiation Protection

17:15 – 18:00	The genetic basis of malignant transformation in ETV6-RUNX1 pB-ALL *Isidro Sanchez-Garcia, Spain*
18:00 – 18:45	Do electromagnetic fields contribute to B-ALL development in genetically predisposed mice? *Cesar Cobaleda, Spain*
from 19:30	Conference dinner

Wednesday, November 16

from 08:30	Arrival & registration

Session 5: Genetics, epigenetics and the environment
Chair: Federal Office for Radiation Protection

09:00 – 09:50	Genetic predisposition: Genes and environment *Christian Kratz, Germany*
09:50 – 10:40	Sensitivity of the early human epigenome to environmental and genetic influences *Richard Saffery, Australia*
10:40 – 11:30	Epigenetic precursors of childhood cancer and associated early – life exposures *Akram Ghantous, France*
11:30 – 12:30	Early lunch

Session 6: Ongoing studies and looking forward – What to do next?
Chair: Federal Office for Radiation Protection

12:30 – 13:00	The International Childhood Cancer Consortium (I4C) *Terry Dwyer, United Kingdom/Australia*
13:00 – 13:30	Childhood leukemia around the globe – What can we learn from observations from developing countries? *Friederike Erdmann, Denmark*
13:30 – 14:00	Childhood leukemia epidemiology from a global perspective *Joachim Schüz, France*
14:00 – 15:00 *Martin Stanulla, Germany*	Summing up

5. ERGEBNISSE

Im Nachgang des Workshops wurde vom Bundesamt für Strahlenschutz ein gemeinsamer Report mit dem Input der Rednerinnen und Redner veröffentlicht.

6. UMSETZUNG DER ERGEBNISSE

Die Ergebnisse der KiKK[1)]-Studie und die WHO/IARC[2)]-Bewertung von Magnetfeldern als "möglicherweise kanzerogen" signalisieren Handlungsbedarf im Bereich des Strahlenschutzes. Konkrete Handlungsmaßnahmen lassen sich jedoch auf Grund mangelnder Ursachenklärung nicht ableiten. Nach dem bisherigen wissenschaftlichen Kenntnisstand ist die von einem Kernkraftwerk ausgehende ionisierende Strahlung viel zu gering, um als Ursache für die Risikoerhöhung in Frage zu kommen. Andererseits ist aber nicht auszuschließen, dass bestimmte Faktoren eine besondere Empfindlichkeit gegenüber Umweltnoxen und speziell gegenüber ionisierender Strahlung oder niederfrequenten Magnetfeldern bedingen. Diese Frage kann nur durch eingehende Erforschung der Ursachen für kindliche Leukämie und möglicherweise prädisponierende Faktoren geklärt werden. Deshalb ist der jeweils aktuelle Stand von Wissenschaft und Technik auf dem Gebiet der Ursachenforschung der Leukämie bei Kindern zu ermitteln, um neueste Erkenntnisse, Techniken und Möglichkeiten darzustellen und zu diskutieren und gegebenenfalls das erarbeitete Forschungsprogramm anzupassen. Die fünfte Veranstaltung dieser Art zeichnete sich insbesondere durch interdisziplinäre Verknüpfung der Forschungsbereiche zur Leukämie bei Kindern aus.

1) Kinderkrebs in der Umgebung von Kernkraftwerken
2) International Agency for Research on Cancer

Themenbereich 04
Medizinische Strahlenexposition / Röntgenverordnung

Subject area 04
Medical radiation exposures / X-ray Ordinance

Thema

Erfassung der Häufigkeit bildgebender Diagnostik im stationären Bereich

Subject

Assessment of the frequency of diagnostic imaging in the hospital sector

Kennzeichen	**Beginn**	**Ende**	**Fördermittel**
3613S20020	01.04.2014	31.12.2015	EUR 335 735,-

Forschungs- / Auftragnehmer
Deutsches Krankenhausinstitut e.V., Düsseldorf

Projektleitung	**Fachbetreuung BfS**	**verantwortlich für den Text**
Dr. M. Offermanns	C. Hahn / AG-SG 2.1	Dr. M. Offermanns C. Hahn

1. ZIELSETZUNG

Ziel des Forschungsvorhabens war es, aktuelle Daten über die Häufigkeit bildgebender Untersuchungsverfahren im stationären Bereich in Abhängigkeit von der Untersuchungsregion und dem Alter der Patienten zum Zeitpunkt der Untersuchung sowie deren Geschlecht und möglichst auch deren Versicherungsstatus zu erheben.

Im Hinblick auf eine regelmäßige Übermittlung an das Bundesamt für Strahlenschutz war die Extraktion der Daten aus bestehenden Datenbeständen zu prüfen und nach Möglichkeit dauerhaft zu etablieren.

2. EINZELZIELSETZUNG

Die im Folgenden aufgeführten Einzelzielsetzungen orientieren sich an den definierten Arbeitspaketen der Ausschreibung.

2.1 AUFARBEITUNG DES RELEVANTEN STANDES VON WISSENSCHAFT UND TECHNIK

Zwischen den Ergebnissen der Vorgängerstudie[1)] und den Ergebnissen der fallpauschalenbezogenen Krankenhausstatistik[2)] bestehen erhebliche Abweichungen.

In einem ersten Bearbeitungsschritt ging es um die Feststellung, durch wen Operationscodes in den Krankenhäusern erfasst werden und ob es dabei zu einer Falscherfassung kommen kann. Im nächsten Schritt war zu prüfen, ob Erhebung und Methodik der Krankenhausstatistik sowie die dort verwendete Datengrundlage einen Vergleich der beiden Auswertungen überhaupt zulassen.

2.2 ENTWICKLUNG MÖGLICHER METHODEN UND LÖSUNGSWEGE

Ziel war die Ermittlung möglicher Methoden zur Datenlieferung durch die Krankenhäuser unter der Voraussetzung, dass das Krankenhauspersonal durch die Datenlieferung möglichst wenig belastet und die Datenquelle möglichst vollständig sein sollte.

Dabei war zu klären, ob die in den Krankenhäusern vorhandenen EDV-Systeme zur Dokumentation radiologischer Daten im Hinblick auf Datenqualität und Datenverfügbarkeit geeignet sind, die erforderlichen Daten bereitzustellen.

2.3 AUSWERTUNGEN

Daten zur Häufigkeit röntgendiagnostischer Verfahren und alternativer bildgebender Verfahren waren zu ermitteln und dem Auftraggeber zur Verfügung zu stellen.

---

1) Offermanns M, Müller U. Erfassung der Häufigkeit bildgebender Diagnostik, insbesondere strahlendiagnostischer Maßnahmen und der Altersverteilung der Patienten. BMU-2005-660, http://www.bmu.de/N35717/

2) Statistisches Bundesamt. Fallpauschalenbezogene Krankenhausstatistik (DRG-Statistik) - Operationen und Prozeduren der vollstationären Patientinnen und Patienten der Krankenhäuser (4-Steller). Fachserie 12 Reihe 6.4, https://www.destatis.de/DE/Publikationen/Thematisch/Gesundheit/Krankenhaeuser/FallpauschalenKrankenhaus.html

2.4 KONZEPTION EINES REGELMÄßIGEN DATENTRANSFERS

Auf Basis der vorherigen Arbeitsschritte war ein Konzept zur Automatisierung der Datenextraktion und zur regelmäßigen Datenlieferung zu erstellen. Ziel war eine vollautomatische Lösung, die keinen weiteren Personalaufwand erfordert.

3. METHODIK

Für das Projekt wurden verschiedene methodische Ansätze verwendet.

Für die Einzelzielsetzung „Aufarbeitung des relevanten Standes von Wissenschaft und Technik“ erfolgte eine Literaturanalyse und Auswertung vorhandener Datenquellen.

Für die „Entwicklung möglicher Methoden und Lösungswege“ wurden im Rahmen von Workshops relevante Fragestellungen zur Erhebung aussagefähiger Krankenhausdaten diskutiert und mögliche Lösungswege skizziert. Die Eignung verschiedener Datenquellen wurde untersucht und ein Konzept zur Datenerhebung erstellt.

In den „Auswertungen“ wurden entsprechend dem erstellten Konzept verschiedene Wege der Datenerhebung beschritten: Sekundärdatenanalysen bei den Allgemeinkrankenhäusern wurden ergänzt um Primärdatenerhebungen bei psychiatrischen Fachkliniken und Rehabilitationseinrichtungen. Soweit keine Vollerhebung möglich war, wurden die erhobenen Daten hochgerechnet.

Für die „Konzeption eines regelmäßigen Datentransfers“ wurden die geleisteten Arbeiten hinsichtlich einer möglichen Automatisierung bewertet und die Bedingungen für die Etablierung eines regelmäßigen Datentransfers untersucht.

4. DURCHFÜHRUNG

4.1 AUFARBEITUNG DES RELEVANTEN STANDES VON WISSENSCHAFT UND TECHNIK

Zur Dokumentation, wie und durch wen Operationscodes in den Krankenhäusern erfasst werden, wurde eine händische Literaturrecherche in den einschlägigen Fachzeitschriften für den Zeitraum 2004 bis 2014 durchgeführt. Gesucht wurde nach folgenden Stichworten: „Kodierung“, „Dokumentation“, „Verschlüsselung“, „Erfassung von Erkrankungen/Prozeduren“ und „Kodierfachkräfte“.

Für die Prüfung der Vergleichbarkeit von Krankenhausstatistik und Vorgängervorhaben wurden die methodischen Grundlagen der Krankenhausstatistik analysiert und mit der Methodik der Vorgängerstudie verglichen. Dazu wurden zunächst die beiden relevanten Kodierungssysteme, die „Gebührenordnung für Ärzte“ (GOÄ) und der „Operationen- und Prozedurenschlüssel“ (OPS), beschrieben. Daran schloss sich eine Gegenüberstellung der den beiden Auswertungen zugrunde liegenden Datenquellen anhand der GOÄ-Ziffern bzw. der OPS-Codes an. Abschließend erfolgte eine Diskussion über die Vor- und Nachteile beider Systeme.

4.2 ENTWICKLUNG MÖGLICHER METHODEN UND LÖSUNGSWEGE

Zur Klärung der Datennutzbarkeit wurden Expertenbefragungen im Rahmen von zwei Workshops, zum einen für radiologisch tätige Krankenhausärzte, zum anderen für die IT-Verantwortlichen von Krankenhäusern, durchgeführt. Gegenstand beider Workshops waren die in den Krankenhäusern eingesetzten Radiologieinformationssysteme (RIS).

Ausgehend von den Ergebnissen der Workshops wurde die Eignung weiterer Datenquellen überprüft:

- Für die Allgemeinkrankenhäuser stehen die Auswertungen zum DRG-System[1)] (Krankenhausstatistik/ Begleitforschung[2)]) als Vollerhebung zur Verfügung. Leistungen des konventionellen Röntgens werden darin jedoch nicht (vollständig) erfasst.

[1)] Vergütungssystem zur Abrechnung der allgemeinen Krankenhausleistungen nach Fallpauschalen (German Diagnosis Related Groups, kurz (G-)DRG-System).

[2)] Die Allgemeinkrankenhäuser sind im Rahmen des Abrechnungsverfahrens verpflichtet, ihre Daten dem Institut für das Entgeltsystem im Krankenhaus (InEK) zur Verfügung zu stellen. Das InEK wertet die Daten aus und veröffentlicht die Auswertungen unter http://www.g-drg.de/Datenbrowser_und_Begleitforschung/Begleitforschung_gem._17b_-Abs._8_KHG/G-DRG-Begleitforschungsbrowser

- Für die konventionelle Radiologie in den Allgemeinkrankenhäusern können Daten aus dem Kalkulationsverfahren[1)] hochgerechnet werden.
- Für Psychiatrische Fachkrankenhäuser und Rehabilitationskliniken stehen keine vergleichbaren Datenquellen zur Verfügung. Hier müssen Primärdaten durch Repräsentativerhebungen in Form schriftlicher Befragungen erhoben und hochgerechnet werden.

4.3 AUSWERTUNGEN

Für die Allgemeinkrankenhäuser wurden die OPS-Codes bildgebender Verfahren aus der Begleitforschung ausgewertet. Die Daten sind im Internet frei verfügbar.

Ergänzend haben insgesamt 29 Kalkulationskrankenhäuser, entsprechend einer Stichprobe von 3,2 % aller im Jahr 2012 behandelten Krankenhauspatienten, sehr differenzierte Daten anonymisiert und einzelfallbezogen zur Verfügung gestellt. Diese Angaben wurden nach Alter, Geschlecht, Erkrankung und radiologischer Leistung differenziert, gewichtet und auf alle stationären Patienten hochgerechnet. Zur Validierung wurden die Ergebnisse der Hochrechnung mit den Ergebnissen der Krankenhausstatistik für jene Bereiche verglichen, für die Informationen in beiden Datenquellen vorliegen.

In den Psychiatrischen Fachkliniken bzw. den Rehabilitationseinrichtungen wurden Repräsentativerhebungen durchgeführt. Dabei wurde ein Mengengerüst zur Hochrechnung ermittelt.

Um eine nach Alter- und Geschlecht differenzierte Hochrechnung vornehmen zu können, wurde für die psychiatrischen Fachkrankenhäuser die entsprechende Verteilung der Allgemeinkrankenhäuser zugrunde gelegt.

An der Befragung der Rehabilitationskliniken nahmen hingegen zu wenige Häuser teil, um damit Aussagen über die altersgruppen- und geschlechtsspezifische Verteilung der bildgebenden Diagnostik treffen zu können. Hilfsweise wurde daher für die Hochrechnung die Verteilung nach Altersgruppen und Geschlecht herangezogen, wie sie sich aus der Vorgängerstudie für das Jahr 2002 ergaben.

4.4 KONZEPTION EINES REGELMÄßIGEN DATENTRANSFERS

Auf Basis der vorherigen Arbeitsschritte wurde geprüft, inwieweit eine Automatisierung der Datenextraktion zur regelmäßigen Datenlieferung an das Bundesamt für Strahlenschutz möglich ist. Die Kalkulationskrankenhäuser wurden hinsichtlich ihrer Teilnahme am Kalkulationsverfahren und ihrer Bereitschaft, dem Bundesamt für Strahlenschutz Daten zu liefern, befragt.

Vorschläge für regelmäßige Aktualisierungen wurden entwickelt sowie die damit verbundenen Probleme, Hindernisse und Schwierigkeiten dargestellt.

5. ERGEBNISSE

5.1 AUFARBEITUNG DES RELEVANTEN STANDES VON WISSENSCHAFT UND TECHNIK

Erhebung und Methodik der fallpauschalenbezogenen Krankenhausstatistik sowie die dort verwendete Datengrundlage lassen nur einen eingeschränkten Vergleich zu den Ergebnissen der Vorgängerstudie zur Erfassung der Häufigkeit bildgebender Diagnostik zu. Es gibt deutliche Einschränkungen im Hinblick auf die Leistungen des konventionellen Röntgens.

5.2 ENTWICKLUNG MÖGLICHER METHODEN UND LÖSUNGSWEGE

In der fallpauschalenbezogenen Krankenhausstatistik/Begleitforschung sind die Leistungen des konventionellen Röntgens nur in geringem Umfang erfasst, da sich der Aufwand für diese Leistungen normalerweise in der Diagnose oder in den anderen angewendeten Prozeduren widerspiegelt und daher gemäß den Deutschen Kodierrichtlinien nicht als OPS-Code verschlüsselt wird. Für die vollständig erfassten Bereiche stellt die Krankenhausstatistik jedoch eine Vollerhebung dar und ist einer Repräsentativerhebung mit anschließender Hochrechnung grundsätzlich vorzuziehen.

[1)] Verfahren zur Ermittlung der Kosten der stationären Entgelte im Krankenhausbereich: Die jährliche Pflege und Weiterentwicklung des zur Leistungsabrechnung stationärer Krankenhausleistungen verwendeten G-DRG-Systems basiert auf den Kosten- und Leistungsdaten einer Stichprobe deutscher Krankenhäuser. Im Rahmen des Kalkulationsverfahrens werden einzelfallbezogene Daten der Radiologie auf der Basis von GOÄ-Ziffern und OPS-Codes erfasst.

Für den fehlenden Bereich der konventionellen Röntgendiagnostik wurde in den durchgeführten Workshops deutlich, dass RIS-Daten routinemäßig nicht nutzbar sind. Stattdessen konnte auf die Daten aus den Kalkulationsverfahren zurückgegriffen werden. Die Kalkulationsdaten sind fallbezogen und sehr differenziert. Die Erfassung der Leistungsdaten erfolgt nach einem einheitlichen Schema und garantiert so die Vergleichbarkeit der Daten. Die in den Kalkulationsdaten erfassten GOÄ-Ziffern sind geeignet, die in der Krankenhausstatistik fehlenden Bereiche zu ergänzen. Allerdings ist die Aufschlüsselung der GOÄ-Ziffern nach anatomischen Gesichtspunkten (z. B. gemäß DOSE DATAMED-Tabellen) in vielen Fällen nicht oder nur unter Zuhilfenahme von Annahmen und Modellen möglich. Derzeit liegen keine empirisch verlässlichen und verifizierten Überleitungstabellen vor, die eine entsprechende Aufgliederung der mit den GOÄ-Ziffern erfassten radiologischen Verfahren leisten könnten.

Durch die Kombination von GOÄ-Ziffern und OPS-Codes mit ihren unterschiedlichen Systematiken ist eine tiefgegliederte Auswertung der Leistungszahlen nicht sinnvoll.

5.3 AUSWERTUNGEN

Auf dieser Basis wurden die Leistungen der bildgebenden Diagnostik in den stationären Einrichtungen für das Jahr 2012 ermittelt. Ein Vergleich der Hochrechnungen der GOÄ-Ziffern aus dem Stichprobenansatz mit der Vollerhebung der Krankenhausstatistik für jene Leistungen, für die auch ein OPS-Code vorliegt, zeigt ein ambivalentes Bild. Für einige Bereiche, wie z. B. dem Röntgen der Bauch- und Verdauungsorgane oder der Computertomographie, sind die Hochrechnungsergebnisse gut bis akzeptabel. Bei den Angiographien, Interventionellen Leistungen und Spezialuntersuchungen sind die Abweichungen hingegen sehr hoch. Mögliche Fehlerquellen wurden gründlich untersucht, die Ursache für die zum Teil erheblichen Differenzen konnte jedoch nicht abschließend geklärt werden.

Zusammenfassend leitet sich als zentrales Ergebnis ab:

- Für Leistungen des konventionellen Röntgens ohne einen vergleichbaren OPS-Code ist der Stichprobenansatz der beste Weg, um die notwendigen Daten zu erhalten.
- Für die Leistungen der bildgebenden Diagnostik, die vollständig mittels eines OPS-Codes abgebildet werden, bieten die Daten, die sich aus der Krankenhausstatistik/Begleitforschung ergeben, die beste Alternative.
- Für die Psychiatrischen Fachkliniken und die Rehabilitationseinrichtungen gibt es keine Alternative zu einer Primärerhebung. Die interessierenden Daten der bildgebenden Diagnostik stehen nicht als Sekundärdaten zur Verfügung.
- Leistungen der Ultraschalldiagnostik, für die es keinen OPS-Code gibt, werden in den Krankenhäusern nicht oder nur unvollständig erfasst. Eine alternative Datenquelle ist nicht bekannt.

Tabelle 1 zeigt die Ergebnisse für Allgemeinkrankenhäuser, Psychiatrische Fachkliniken und Rehabilitationseinrichtungen.

Tabelle 1: Ergebnisse bildgebender Diagnostik für Allgemeinkrankenhäuser, Psychiatrische Fachkliniken und Rehabilitationseinrichtungen

Bildgebende Diagnostik	Allgemeinkrankenhäuser	Psychiatrische Krankenhäuser	Rehaeinrichtungen	insgesamt
konventionelles Röntgen	17 029 930	219 373	309 492	**17 558 795**
Computertomographie	4 709 274	65 257	28 948	**4 803 479**
Magnetresonanztomographie	1 696 235	65 564	1 815	**1 763 614**
Ultraschall	758 161	27 174	693 356	**1 763 614**
insgesamt	**24 193 600**	**377 368**	**1 033 611**	**25 604 579**

5.4 KONZEPTION EINES REGELMÄßIGEN DATENTRANSFERS

Die in der Ausschreibung favorisierte automatisierte Softwarelösung für regelmäßige Aktualisierungen war nicht umsetzbar.

Stattdessen wird vorgeschlagen, die jährlich aktualisierten und frei verfügbaren Daten der Begleitforschung zu nutzen. Die fehlenden Bereiche können durch Interpolation der Ergebnisse des Datenjahres 2012 ergänzt bzw. in regelmäßigen Abständen neu aus den Daten der Kalkulationskrankenhäuser erhoben und hochge-

rechnet werden. Die Erfassung von Leistungen der Ultraschalldiagnostik, für die es keinen OPS-Code gibt, ist weiterhin als problematisch anzusehen.

6. UMSETZUNG DER ERGEBNISSE

Das Bundesamt für Strahlenschutz ist gemäß Röntgenverordnung verpflichtet, die medizinische Strahlenexposition der Bevölkerung und ausgewählter Bevölkerungsgruppen regelmäßig zu ermitteln. Die Ergebnisse dieses Vorhabens fließen in die Abschätzung der Bevölkerungsexposition ein. Die daraus gewonnenen Erkenntnisse werden für die Berichterstattung auf nationaler (Parlamentsbericht) und internationaler Ebene (UNSCEAR) herangezogen und dienen in der Folge als Grundlage politischer Entscheidungen zum medizinischen Strahlenschutz.

Thema

Evaluation der Brustkrebsmortalität im deutschen Mammographie-Screening-Programm - Machbarkeitsstudie I und II

Subject

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

Kennzeichen	Beginn	Ende	Fördermittel
3610S40002	01.07.2012	30.09.2014	EUR 471.769,-
3614S40002	01.01.2015	30.09.2016	EUR 402.825,-

Forschungs- / Auftragnehmer
Westfälische Wilhelms-Universität Münster, Institut für Epidemiologie und Sozialmedizin, Bereich Klinische Epidemiologie

Projektleitung	Fachbetreuung BfS	verantwortlich für den Text
Prof. Dr. H. W. Hense	Prof. Dr. G. Brix / SG 2	Prof. Dr. H. W. Hense

1. ZIELSETZUNG

Ziele des Mammographie-Screening Programms (MSP) sind, in Deutschland langfristig die Sterblichkeit an Brustkrebs zu senken und zugleich eine Brustkrebsfrüherkennung auf höchstem Qualitätsniveau sicherzustellen. Die Nutzen-Risiko-Bewertung des MSP in Deutschland stützte sich bislang auf die Ergebnisse großer randomisierter Studien anderer Länder, deren Untersuchungen mehr als 20 Jahre zurückliegen: sie sind daher nur noch bedingt geeignet, die zwischenzeitlich eingetretenen Änderungen in Brustkrebs-Inzidenz, Stadienverteilung und Mortalität sowie die aktuellen technischen Entwicklungen in Deutschland angemessen abzubilden. Zur Aufrechterhaltung der Zulassung des MSPs gemäß § 25 Absatz 1 Röntgenverordnung ist deshalb die langfristige Wirkung des Programms auf die Brustkrebsmortalität speziell in der deutschen Zielbevölkerung zu evaluieren und in der Folge der Nutzen gegenüber dem Risiko neu zu bewerten.

Ziel der angestrebten Evaluationshauptstudie zur Brustkrebsmortalität ist es daher, mit Hilfe mehrerer, sich gegenseitig ergänzender und eng miteinander verzahnter epidemiologischer, nicht randomisierter Beobachtungsstudien den Einfluss des deutschen MSP auf die Brustkrebsmortalität zu analysieren. Auf Grund der komplexen Organisations- und Datenstrukturen des MSP und des deutschen Melde- und Gesundheitswesens sowie den Auflagen des Datenschutzes wurden der geplanten Hauptstudie zwei Machbarkeitsstudien vorgeschaltet.

2. EINZELZIELSETZUNG

Zentrale Aufgaben der ersten Machbarkeitsstudie bestanden in der Klärung, ob und in welcher Weise eine Nutzung und Verknüpfung von evaluationsrelevanten Sekundärdaten möglich ist. Insbesondere war zu prüfen, ob und wie die bei den verschiedenen Datenhaltern bereits vorliegenden Daten zusammengeführt werden konnten. Dazu sollte auf der Grundlage aktuell bestehender rechtlicher und organisatorischer Gegebenheiten, d. h. ohne eine weitergehende Anpassung der gesetzlichen Grundlagen oder zusätzliche Datenerhebungen, die Verfügbarkeit, Zugänglichkeit, technische Nutzbarkeit und inhaltliche Brauchbarkeit dieser Daten in Testregionen modellhaft geprüft werden. Dazu wurden verschiedene Ansätze verfolgt. Diese sollten zum einen die Daten aus epidemiologischen Krebsregistern (EKR) nutzen und modellhaft in Nordrhein-Westfalen testen. Zum anderen sollten Modelle auf der Basis von Datensätzen verschiedener gesetzlicher Krankenkassen entwickelt werden. Zudem sollte die Möglichkeit der Nutzung von Daten aus klinischen Krebsregistern (KKR), insbesondere für Informationen zu Therapieverfahren, geprüft werden. Eine Begleitstudie zur Strahlenexposition befasste sich mit einer repräsentativen Dosisermittlung bei Mammographien innerhalb und außerhalb des MSP.

Die zweite Machbarkeitsstudie sollte vor allem Lösungswege aufzeigen, wie in einer späteren Hauptstudie mit dem Problem umgegangen werden kann, dass Teilnehmerinnen des MSP bereits frühzeitig, das heißt in einer Phase, in der noch kein Mortalitätseffekt des MSP zu erwarten war, durch eine geringere Sterblichkeit - im Vergleich zu Nichtteilnehmerinnen - auffielen. Dieses als ‚Healthy Screenee Bias' bezeichnete Phänomen ist auch aus anderen nicht randomisierten Beobachtungsstudien zum Screening bekannt und wird in der Litera-

tur sehr unterschiedlich behandelt. Mit den in Deutschland verfügbaren Daten sollte für dieses Problem mit geeigneten biometrischen Verfahren ein unverzerrter Vergleich von Teilnehmerinnen und Nichtteilnehmerinnen am MSP angestrebt werden. Des Weiteren sollten die IT-Datenflussmodelle aus der ersten Phase weiter entwickelt, implementiert und getestet werden. Schließlich sollte durch Zusammenarbeit mit der Arbeitsgemeinschaft Deutscher Tumorzentren (ADT) ein Weg gefunden werden, die in den bisher etablierten KKR enthaltenen Informationen zu den post-diagnostischen klinischen Verläufen in eine Evaluation des MSP einzubeziehen.

3. METHODIK

In der ersten Machbarkeitsstudie wurden für die jeweiligen Modellansätze mit unterschiedlichen Datenhaltern (EKR, GKV[1)] und KKR) jeweils eigene Datenflusskonzepte entwickelt und auf Realisierbarkeit geprüft. Dabei bestand das Ziel, eine Zusammenführung der Daten in einer zentralen Datenzusammenführenden Stelle (DZS) zu erreichen. Datenflüsse und Datenqualität sollten - nach der datenschutzrechtlichen Prüfung und Freigabe durch den Auftraggeber - in Prototypen umgesetzt und an Testdaten modellhaft in Testregionen getestet werden. Zusätzlich entwickelte die Begleitstudie geeignete Verfahren für die Abschätzung der Strahlenexposition durch Mammographien innerhalb des MSP und im kurativen Sektor.

In der zweiten Machbarkeitsstudie sollte zunächst die (bis dahin nur in den GKV-Daten der ersten Machbarkeitsstudie beobachtete) erhöhte Gesamtsterblichkeit unter den Nichtteilnehmerinnen auf Basis der bevölkerungsbezogenen Daten des EKR Nordrhein-Westfalens (NRW) bestätigt werden. Da der GKV-Datensatz keine Angaben zu Todesursachen enthält, wurde in einer „Validierungsstudie“ versucht, über einen Abgleich mit dem EKR NRW die individuellen, amtlichen Todesursachen hinzuzufügen. Außerdem wurde mit einem auf klinischen GKV-Daten beruhenden Prädiktionsalgorithmus die ‚vermutete Todesursache Brustkrebs' abgeschätzt und die Schätzung mit den Ergebnissen der vorhergehenden Abgleiche zur amtlichen Todesursache Brustkrebs verglichen.

Zur Korrektur des Healthy Screenee Bias wurden zwei Ansätze verfolgt. Mit den biometrischen Verfahren des ‚Propensity-Score-Matching' wurde angestrebt, unter Nutzung einer großen Zahl von Merkmalen und Variablen zu Verlauf, Schwere und Art von Komorbiditäten einen unverzerrten Vergleich von Teilnehmerinnen und Nichtteilnehmerinnen in den GKV-Datensätzen zu erreichen. Alternativ sollten auf der Basis der populationsbasierten Daten des EKR NRW so genannte Korrekturfaktoren abgeleitet werden, die ebenfalls eine Elimination des Selektionsbias ermöglichen.

Die Arbeiten der ADT bezogen sich primär auf die Prüfung der Realisierbarkeit der Verknüpfung von MSP- und KKR-Daten und die Entwicklung von Datenfluss- und Datenschutzkonzepten für diese Prozesse.

4. DURCHFÜHRUNG

Im „Modell EKR NRW“ wurden die im EKR langjährig erprobten und evaluierten Verfahren zur Zusammenführung von Daten modifiziert und hinsichtlich datenschutzrechtlicher Überlegungen weiterentwickelt und in ein Konzept zu Datenfluss und Datenschutz integriert. Dies umfasst die Extraktion und Transformation der Daten verschiedener Halter, den Transfer dieser Daten in die DZS einschließlich des Record-Linkages der Daten verschiedener Halter, ihre Aufbewahrung für die Dauer des Vorhabens in der DZS und die Bereitstellung eines anonymisierten Datensatzes für die Auswertung (Abbildung 1).

Um zu vermeiden, dass im Datensatz enthaltene Quasi-Identifikatoren zur potenziellen Re-Identifizierung genutzt werden können, wurde das neuartige Verfahren der „blinden“ Anonymisierung entwickelt. Dieses Verfahren erlaubt auf Basis ausschließlich verschlüsselter epidemiologischer Daten die Sicherstellung eines vorab definierten Anonymitätsniveaus (k-Anonymität und l-Diversität). Daraus resultieren für die Evaluation Datensätze, die einem definierten Anonymitätsmaß genügen.

Das „Modell GKV-Datennutzung“ basiert auf der Einbindung und Nutzung von Leistungsdaten der gesetzlichen Krankenversicherungen (GKV). Neben den Stammdaten halten die Kassen individuelle Leistungsdaten für die Abrechnung vor. Diese sind als personenbezogene Sozialdaten besonders schutzbedürftig. Dateneigner ist die jeweilige Kasse, die zwar ein eigenes Genehmigungsverfahren hat, zur projektgebundenen und zeitlich begrenzten Datennutzung und -übermittlung aber zusätzlich noch eine Genehmigung der zuständigen Aufsichtsbehörde einholen muss. Da die beiden Unterauftragnehmer unterschiedliche Zugangsmöglichkeiten zu GKV-Daten haben, mussten unterschiedliche Konzepte für Datenfluss und -haltung entwickelt werden. Ins-

[1)] Gesetzliche Krankenversicherungen

gesamt waren Daten im angestrebten Informationsumfang ab Datenjahr 2004 bzw. ab 2006 verfügbar. Die Auswahl einer „Variablen-Matrix“ für die Erstellung eines minimalen Datensatzes, der später der DZS zur Verfügung gestellt werden soll, erfolgte auf der Grundlage der GKV-Leistungsdaten.

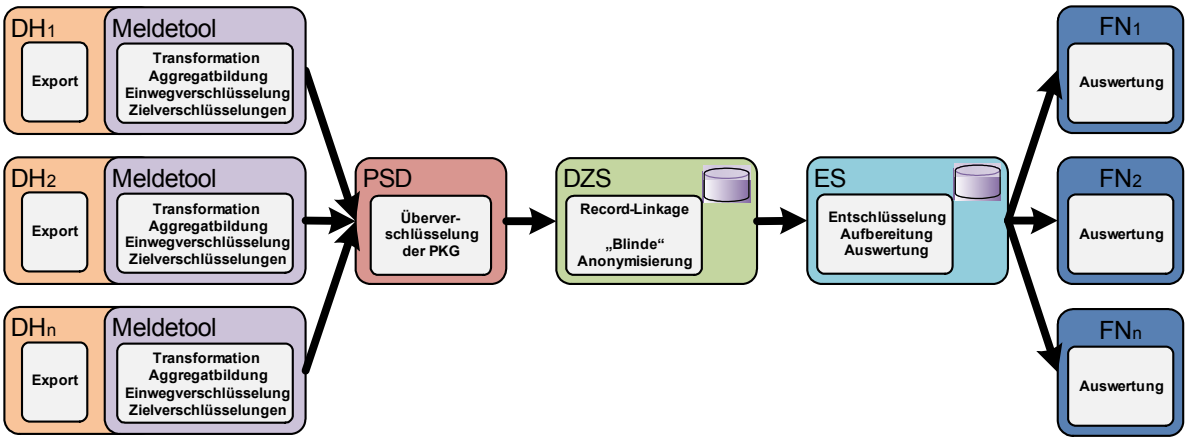


Abbildung 1: Konzeptionelle Darstellung des modifizierten Datenflusses für die geplante Hauptstudie

In der Validierungsstudie wurden für die Verknüpfung mit den offiziellen Mortalitätsstatistiken (über EKR) zur Gewinnung von Informationen zur Todesursache zwei Konzepte (probabilistisch und deterministisch) erstellt. Alternativ wurde die Nutzung eines andernorts publizierten Prädiktions-Algorithmus überprüft, bei dem mittels einer größeren Zahl von ambulant und stationär dokumentierten Leistungen und Diagnosen die Todesursache „an Brustkrebs verstorben“ und „an anderen Ursachen verstorben“ vorhergesagt werden soll. Die konventionellen Propensity Score-Verfahren wurden im Datensatz etabliert, weiter verfeinert und validiert.

Im Rahmen einer Begleitstudie erfolgte in der Modellregion NRW die Evaluation der Strahlenexposition für alle am MSP beteiligten Betreiber. Diese war mit Hilfe der Datenexportmöglichkeiten der im MSP weit verbreiteten MaSc-Software möglich, zeigte allerdings bestimmte Defizite. In freiwillig teilnehmenden kurativen Einrichtungen wurden Expositionsdaten von Patientenuntersuchungen erfasst.

Die ADT entwickelte Datenschutzkonzepte für verschiedene Szenarien, die auf die rechtlichen Rahmenbedingungen der neuen KKR in Deutschland, d. h. auf die unterschiedlichen landesgesetzlichen Umsetzungen des Krebsfrüherkennungs- und -registergesetzes (KFRG), ausgerichtet waren. Außerdem wurden die Grundzüge einer Forschungsstudie entwickelt, mit denen Daten aus den zurückliegenden Jahren für die flächendeckend bereits existierenden KKR in Ostdeutschland und Bayern beantragt werden sollen. Der notwendige Abgleich von Daten eines etablierten klinischen Krebsregisters mit Daten aus dem MSP war wegen der noch nicht abgeschlossenen landesrechtlichen Umsetzung bisher noch nicht möglich.

5. ERGEBNISSE

5.1 MODELL EKR-DATEN (EPIDEMIOLOGISCHE KREBSREGISTER)

Das im „Modell EKR NRW“ entwickelte Verfahren für Datenfluss- und -haltung sowie zum Datenschutz wurde durch die zuständigen Behörden geprüft und aus datenschutzrechtlicher Sicht positiv bewertet. Das EKR NRW hat im Rahmen der Machbarkeitsstudie eine spezielle Software entwickelt, die sämtliche Datenverarbeitungsprozesse abbildet. Die Software gliedert sich in vier verschiedene Module, die jeweils in den gemäß Leistungsbeschreibung einzurichtenden, datenverarbeitenden Stellen betrieben werden sollen. Der erste Prototyp, in dem bereits die zentralen Prozesse des Konzeptes realisiert sind (Aggregatbildung, Verschlüsselung, Record-Linkage, Anonymisierung) wurde erfolgreich an einem Simulationsdatensatz mit 1,5 Millionen Meldungen getestet. Auch der Datenfluss vom Meldetool über einen prototypischen Pseudonymisierungsdienst (PSD) zur Zweitverschlüsselung der bei den Datenhaltern bereits erstmals verschlüsselten Daten bis zur DZS wurde programmiert und mit Simulationsdaten erfolgreich getestet. Die Software für das Meldetool potenzieller Datenhalter unter der Bezeichnung „SecuNym“ wurde erfolgreich für Simulationsdaten von der Kassenärztlichen Vereinigung Westfalen-Lippe eingesetzt. Für die Verortung der datenverarbeitenden Einrichtungen

PSD und DZS konnten folgende Einrichtungen benannt werden: die KV-IT GmbH in Dortmund für den PSD sowie das Zentrum für Telematik und Telemedizin GmbH in Bochum für die DZS.

5.2 MODELL GKV-DATEN (GESETZLICHE KRANKENVERSICHERUNGEN)

Nach Zustimmung von fünf Kassen wurden die behördlichen Genehmigungen zur Nutzung der GKV-Daten im Rahmen der MSP-Evaluation eingeholt. Durch die aktuell im Vorhaben überwiegende Beteiligung überregional agierender Kassen ist ein Erfassungsgrad von mindestens einem Fünftel der Bevölkerung jedes Bundeslandes im studienrelevanten Altersbereich gegeben. Die GKV-Daten wurden und werden über einen langen Zeitraum qualitativ gleichbleibend erfasst. Krankenkassenwechsel der Versicherten im für das Vorhaben relevanten Alterssegment sind selten, so dass ausreichende Nachverfolgungszeiten für Studienteilnehmerinnen gewährleistet sind. Die individuelle Teilnahme am MSP wird im GKV-Datensatz datumsgenau abgebildet. Prävalente Brustkrebsfälle sind über zurückliegende Leistungsdaten als früher (bis zu 5 Jahre) ärztlich gestellte Diagnosen identifizierbar. Die Erfassung aller (chronologisch geordneten) ambulanten und stationären Diagnosen und ärztlichen Behandlungen ermöglicht eine Analyse der strukturellen Ungleichheit zwischen Teilnehmerinnen und Nichtteilnehmerinnen (Propensity-Score-Verfahren). Die in den Daten ermittelten Gesamtmortalitätsraten der Versicherten lagen leicht unter dem Bundesdurchschnitt. Die durchgeführten Analysen zu Teilnahmequoten am MSP und zu Wiedereinbestellungsquoten nach dem Mammographie-Screening lagen im Bereich der Referenzdaten der Kooperationsgemeinschaft Mammographie.

Die Todesursache konnte für in NRW wohnende Versicherte von zwei großen Kassen durch einen probabilistischen Abgleich mit dem EKR NRW ergänzt werden. Datenfluss und -abgleich sind qualitativ auf sehr hohem Niveau durchführbar, so dass für nahezu alle Verstorbenen die Todesursachen ergänzbar waren. Allerdings bedeutet dieses Vorgehen einen hohen logistischen Aufwand. Deshalb wurde ein zweites Verfahren getestet: dabei wird ein Abgleich mittels eines alternativen, deterministischen Verfahrens vorgenommen, das technisch weniger aufwendig ist. Dies erbrachte ähnlich valide Ergebnisse, so dass bei geringerem Aufwand eine bessere Aussicht besteht, in der Hauptstudie mit einer größeren Anzahl von EKR zu kooperieren. Allerdings ist dieses Vorgehen nicht flächendeckend für Deutschland umsetzbar, da einige Landesgesetzgebungen keinen Abgleich zulassen oder Todesursacheninformation nicht vorliegen. Deshalb wurde ein Prädiktionsalgorithmus für eine ‚vermutete Todesursache Brustkrebs' entwickelt: auch dieser wurde erfolgreich getestet. Er kann dann als Substitut eingesetzt werden, wenn der deterministische Abgleich mit den EKR nicht möglich ist.

5.3 KONTROLLE DES HEALTHY SCREENEE BIAS

Die Gesamtmortalität der Teilnehmerinnen der Jahre 2007 bis 2009 betrug im ersten Jahr des Follow-up, bei dem noch keine Wirkung des MSP zu erwarten war, nur 37 % der Gesamtmortalität der Nichtteilnehmerinnen, nach zwei Jahren lag sie bei 43 %, nach drei Jahren bei 47 % und nach vier Jahren bei 53 %. Diese Diskrepanz wurde als ausgeprägter Selektionseffekt in Form eines Healthy Screenee Bias interpretiert.

Der Healthy Screenee Bias muss im Analysedesign berücksichtigt werden. Dies gilt insbesondere für vorbestehende Erkrankungen (z. B. prävalenter Brustkrebs), die mit dem Studienendpunkt „Tod durch Brustkrebs“ assoziiert sind. Erschwert wird die Analyse durch den weiteren Umstand, dass - aus Gründen des Datenschutzes - derzeit keine Angaben zum Einladungsdatum verfügbar sind: relevante Einflussfaktoren auf die MSP-Teilnahme können daher nicht zeitscharf beobachtet werden, und der Beginn der ‚Zeit unter Risiko' ist für Nichtteilnehmerinnen nicht genau zu bestimmen. Dies erforderte zusätzliche approximative Verfahren und Anpassungen der Analysen. Die bei der Selbstselektion wirksamen Faktoren konnten über geeignete Methoden approximativ aus den individuellen Daten der Versicherten bestimmt und mittels Propensity-Score-Verfahren einbezogen werden. Mit einem Analysedesign, das prävalente Brustkrebsfälle ausschloss, also nur die inzidenz-basierte Brustkrebsmortalität betrachtete und ein ‚fiktives Einladungsdatum' für Nichtteilnehmerinnen über die Verteilung der Untersuchungsdaten der Teilnehmerinnen approximierte, konnte eine Balancierung der Studienpopulation und ein weitgehender Ausgleich des Healthy Screenee Bias erreicht werden.

Alternativ wurden statistische Verfahren entwickelt, um einen „Korrekturfaktor“ für die in einem Screening beobachtete relative Mortalitätsrate für Brustkrebs („post-hoc mortality rate ratio“) zwischen Teilnehmerinnen und Nichtteilnehmerinnen zu ermitteln. Als Referenzgruppe wurden hier alle Frauen aus der anspruchsberechtigten Altersgruppe der Zielbevölkerung unmittelbar vor Einführung des MSP gewählt. Der Korrekturfaktor wurde unter bestimmten Annahmen, bei Kenntnis der Teilnahmerate am MSP und unter Nutzung der Brustkrebssterberaten der Referenzgruppe und der Nichtteilnehmerinnen berechnet. Auch hier wurde kein prävalenter, sondern nur neu auftretender „inzidenter“ Brustkrebs eingeschlossen, der dann Ursache des nachfolgenden Todes durch Brustkrebs ist (so genannte inzidenz-basierte Mortalität). Die Analysen erbrachten Hin-

weise darauf, dass die bisher ermittelten Korrekturfaktoren im deutschen MSP höher zu sein scheinen als in den meisten der bisher in der Literatur berichteten Studien. Es stellt sich die Frage, ob hier sehr starke Selektionseffekte bestehen oder ob durch noch nicht gelöste Probleme der Fehlklassifikation (primär durch das Fehlen des spezifischen Einladungsdatums) eine Überschätzung der Sterblichkeit unter den Nichtteilnehmerinnen eingetreten ist.

5.4 MODELL KLINISCHE KREBSREGISTER (KKR)

Die Verknüpfung der Daten in den KKR mit Screeningdaten aus dem MSP konnte im Rahmen der zweiten Machbarkeitsstudie in keinem KKR realisiert werden, weil es hierfür noch keine rechtlichen Grundlagen gab. Dies kann deshalb prospektiv erst nach den Umsetzungen des KFRG in Landesrecht erfolgen.

Die in den KKR verfügbaren Datensätze und die darin enthaltenen Variablen wurden nach ausführlicher Diskussion und Abstimmung mit den in der ADT vertretenen Krebsregistern definiert. Begründungen für Ein- bzw. Ausschluss von Variablen wurden erstellt. Die definierten Merkmale lagen in vielen klinischen Registern im erforderlichen Umfang vor.

Um der Entwicklung der Landesgesetze zur Umsetzung des KFRG angemessen Rechnung zu tragen, wurden im Verlauf des Projekts drei Konzepte zum Datenfluss und Datenschutz entwickelt:

- ein Vollkonzept mit dem Ziel der Verknüpfung der KKR-Daten mit den Daten der übrigen Datenmodelle (prospektive Auswertungsperspektive)
- ein Minimalkonzept für Auswertungen auf Ebene der KKR-Daten (prospektive Auswertungsperspektive)
- ein Konzept für einmalige rückwirkende Auswertungen in den KKR, die über Alt-Daten aus den ersten Jahren des MSP verfügen (retrospektive Auswertungsperspektive).

Die Vorlage des Vollkonzepts erfolgte bei der BfDI[1)] zur technischen Vorprüfung. Eine schriftliche Stellungnahme ließ keine wesentlichen Vorbehalte erkennen. Die Übersetzung des Verfahrens für die Belange der Krebsregistrierung unter verschiedenen Voraussetzungen ist in den eingereichten Konzepten entwickelt worden und die Anforderungen für die Server und die Datensicherung sind formuliert. Ein Letter of Intent der Deutschen Krebsgesellschaft, die die Rolle der Registerpseudonymisierungsstelle (analog zum Pseudonymisierungsdienst im Modell Nutzung der EKR-Daten) übernehmen soll, liegt vor, ebenso Angebote der Softwarehersteller zu notwendigen Modifikationen von den im MSP verwendeten Programmen MaSc und MammaSoft.

5.5 STUDIE ZUR STRAHLENEXPOSITION BEI MAMMOGRAPHIE

In dieser Studie wurde eine Definition einer einheitlichen, geräteunabhängigen Methode zur Berechnung der Strahlenexposition erstellt, und es wurde eine Datenbank für die Speicherung von Expositions- und Gerätedaten sowohl aus dem MSP als auch aus dem kurativen Bereich aufgebaut. Im Verlauf der Studie zeigten sich verschiedene Defizite beim Datenexport aus der MSP-Software MaSc. Empfehlungen und Maßnahmen zur Verbesserung der Datenqualität des MaSc-Exports wurden vorgelegt und teilweise auch bereits umgesetzt. Die entwickelte Methodik, die zu einer validen Ermittlung der Strahlenexposition im MSP in der Modellregion NRW genutzt werden konnte, kann auch für ein Konzept zur bundesweiten Ausweitung der Expositionsmessungen genutzt werden. Zudem besteht die Möglichkeit, für alle Teilnahmerunden am MSP eine individuelle, kumulative Strahlendosis (‚Screening-Lebensdosis') zu berechnen.

Umfangreiche Erfassungen der Strahlenexposition von kurativen Mammographien und Geräteparametern zeigten, dass die Dokumentation der Strahlenexposition bei etwa einem Drittel der Betreiber von kurativen CR (computed radiography)-Systemen unvollständig war, und CR-Systeme mit automatischer Dokumentation erwiesen sich häufig als fehleranfällig. DR (digital radiography)-Systeme wiesen dagegen praktisch immer eine vollständige Dokumentation der Exposition auf. Eine große Variabilität an Einflussfaktoren auf die Gesamtdosis waren neben strukturellen und betreiberspezifischen Einflussfaktoren die Art der Einrichtung, die Patientenklientel und Gerätefaktoren.

Die Ausweitung der Ermittlung der Strahlendosis auf alle deutschen MSP-Einheiten, die mit MaSc arbeiten (ca. 60 %) ist möglich und würde die Zusammenarbeit mit den übrigen Referenzzentren für die Zusammenführung der Expositionsdaten mit den gerätespezifischen Parametern und die Übermittlung der aufbereiteten Expositionsdaten erfordern. Eine Einbeziehung der Einheiten, die MammaSoft benutzen, ist prinzipiell ebenfalls vorstellbar, würde aber zusätzliche Analysen der Kompatibilität zum MaSc-Datensatz erfordern.

[1)] Bundesbeauftragte für den Datenschutz und die Informationsfreiheit

6. UMSETZUNG DER ERGEBNISSE

Die Bewertung des deutschen Mammographie-Screening-Programms stützt sich bislang auf die Ergebnisse einiger großer randomisierter Studien, die in den 1970er und 1980er Jahren v. a. in England, Schweden und Nordamerika durchgeführt worden waren. Diese Studien hatten gezeigt, dass eine Mortalitätsreduktion um ca. 15 bis zu 25 Prozent möglich ist. Seit 2009 ist das deutsche Mammographie-Screening-Programm flächendeckend etabliert, es wurden mittlerweile Daten von mehr als 10 Mio. anspruchsberechtigten Frauen erfasst. Zur Nutzung dieser Daten wurden in der Machbarkeitsphase verschiedene Modelle mit entsprechenden Datenhaltungs- und -auswertekonzepten entwickelt. Es ist beabsichtigt, auf Basis des in der Machbarkeitsphase entwickelten Durchführungskonzeptes in den kommenden Jahren eine Hauptstudie durchzuführen. Hierzu sind die entwickelten Modelle konkret umzusetzen, auf weitere Regionen auszuweiten sowie die Datensammlung fortzusetzen. Für eine valide Mortalitätsevaluation ist ein Zeitraum von insgesamt mindestens 10 Jahren (2012-2022) notwendig (d. h. einschließlich des Zeitraums der durchgeführten Machbarkeitsphase).

Thema

Europäische Empfehlungen für Anforderungen an medizinisch-radiologische Geräte (Radiation Protection 162) - Inhaltlicher Abgleich mit dem deutschen untergesetzlichen Regelwerk

Subject

European recommendations on criteria for acceptability of medical radiological equipment (RP162) - comparison with German regulatory guidance instruments

Kennzeichen	**Beginn**	**Ende**	**Fördermittel**
361642330	01.06.2016	30.11.2016	EUR 33.320,-

Forschungs- / Auftragnehmer
Städtisches Klinikum Braunschweig gGmbH

Projektleitung	**Fachbetreuung BfS**	**verantwortlich für den Text**
Dr. M. Borowski	U. Lechel / AG-SG 2.3	Dr. M. Borowski

1. ZIELSETZUNG

Nachdem ionisierende Strahlung neben großem Nutzen auch das Potential besitzt, Menschen zu schädigen, gibt es seit vielen Jahren Anforderungssysteme, in denen festgelegt ist, unter welchen Bedingungen und unter Nutzung welcher Geräte ionisierende Strahlung am Menschen eingesetzt werden darf. Viele Nationalstaaten haben eigene Anforderungssysteme erarbeitet. Von der Europäischen Kommission wurde ebenso ein zwischen Fachgruppen und Experten auf europäischer Ebene abgestimmter Anforderungskatalog entwickelt, der in seiner aktuellen Fassung unter der Referenz RP162 publiziert ist.

Die Festlegung der Anforderungen in der RP162 erfolgte weitgehend losgelöst von der Entwicklung des Anforderungssystems für den Einsatz von Geräten bei der Anwendung ionisierender Strahlen, welches in Deutschland gültig ist. Im Unterschied zu dem einen zentralen Dokument auf europäischer Ebene bestehen im Deutschen untergesetzlichen Regelwerk (DR) nebeneinander zahlreiche Anforderungen, die von unterschiedlichen Fachgruppen und Verwaltungsbehörden erlassen wurden.

2. EINZELZIELSETZUNG

Das Hauptziel des Vorhabens bestand darin, die Anforderungen beider Systeme, RP162 und DR, zu vergleichen. Insbesondere waren die Prüfparameter und Geräteanforderungen von Interesse, bei denen in der RP162 potentiell höhere Anforderungen formuliert sind als im DR. Für diese Kenngrößen waren Vorschläge für eine Überarbeitung des DR zu erarbeiten, die zum Ziel haben, im DR ein zur RP162 mindestens gleichwertiges Anforderungsniveau sicherzustellen.

3. METHODIK

Die Basis des Vorhabens ist eine Recherche der im DR verwendeten sowie in der RP162 referenzierten Literatur. Aus den primären Quellen sowie den darin referenzierten Sekundärquellen wurden die zur Beantwortung der Fragestellung relevanten Informationen entnommen.

Anhand der den Quellen entnommenen Informationen erfolgte ein Fachabgleich der bestehenden Anforderungen in den beiden Systemen. Neben rein textlichem Vergleich ist dabei für das DR auch die in der Fläche gelebte Anwendung der Anforderungen zu berücksichtigen.

Bei Prüfparametern, bei denen die Anforderungen im DR der RP162 nicht sicher gleichwertig sind, erfolgte eine kritische Bewertung der Anforderungsniveaus. Für die Kenngrößen, bei denen die Anforderungen der RP162 potentiell oberhalb derjenigen des DR liegen, wurden Vorschläge erarbeitet, die eine Gleichwertigkeit der Anforderungen erreichen sollen.

4. DURCHFÜHRUNG

4.1 LITERATURAUFARBEITUNG

Der erste Teil der Durchführung macht den größten Teil des Vorhabens aus.

Die Aufarbeitung unterscheidet sich zwischen der RP162 und dem DR. Auf europäischer Ebene stellt die RP162 das singulär relevante Dokument dar. In ihr sind die relevanten Anforderungen enthalten. Die RP162 enthält jedoch ausschließlich Grenzwerte sowie Gerätemindestanforderungen. Die für eine Prüfung gegen die Grenzwerte vorgesehenen Prüfprozeduren sind in weitergehenden Dokumenten enthalten, welche in der RP162 referenziert sind. Die referenzierten Dokumente wurden im Rahmen des Vorhabens beschafft und ausgewertet. Es stellte sich dabei als Herausforderung heraus, dass die in der RP162 zitierten Quellen teilweise sehr alt sind. In wenigen Fällen waren die Quellen nicht mehr erhältlich.

Im DR bestehen für die einzelnen Geräteklassen zahlreiche Dokumente, in denen Anforderungen, Grenzwerte von Prüfgrößen sowie Gerätemindestanforderungen festgelegt sind. Die Dokumente sowie die darin referenzierten Sekundärquellen wurden beschafft und ausgewertet. Es wurde dabei berücksichtigt, dass im DR an einigen Stellen Dokumente existieren, welche nur für Teile der verwendeten Geräte Gültigkeit haben, z. B. nur für Geräte, welche in der kassenärztlichen Versorgung eingesetzt werden. Zudem gibt es Dokumente, z. B. Normen im Bereich der Nuklearmedizin oder Röntgendiagnostik, die durch eine fehlende Referenzierung in höherrangigen Dokumenten nicht zur Anwendung kommen.

Die den Quellen entnommenen Informationen wurden für die RP162 sowie für das DR in der Form von Primärtabellen aufbereitet. Die Tabellen enthalten neben den Prüfparametern vornehmlich Angaben zu den Prüfprozeduren, den Prüffrequenzen und Grenzwerten.

4.2 GEGENÜBERSTELLUNG

Anhand der in der Literaturaufarbeitung zusammengestellten Informationen wurden die Anforderungen in der RP162 sowie dem DR gegenübergestellt. Hierbei wurde berücksichtigt, dass gleichartige Sicherheits- oder Qualitätsanforderungen in den beiden Anforderungssystemen ggf. auf unterschiedlichem Weg angestrebt werden. Nachdem die RP162 insbesondere keine Anforderungen für eine kontinuierliche Qualitätssicherung enthält, ist der Katalog an Prüfparametern im DR wesentlich umfangreicher. Konkret verglichen wurden daher die Anforderungen der RP162 mit entsprechenden Anforderungen des DR, mit dem Ziel, die Äquivalenz des DR zu prüfen.

Die Gegenüberstellung wurde in der Form von Vergleichstabellen ausgeführt. Neben einer Auflistung der einzelnen Prüfpunkte enthalten Vergleichstabellen Bewertungen zum Ausmaß möglicher Abweichungen.

4.3 ERARBEITUNG EINES VORSCHLAGS ZUR ÜBERARBEITUNG DES DR

Für die Prüfparameter, bei denen anhand der Gegenüberstellung nicht sichergestellt erschien, dass die Anforderungen im DR mindestens gleichwertig zu denen der RP162 sind, wurden Vorschläge zur Überarbeitung entwickelt. Es wurde dabei insbesondere auch der aus den Vorschlägen resultierende Aufwand berücksichtigt. Weiterhin wurde bedacht, ob die erhöhten Anforderungen der RP162 eine praktische Relevanz haben und somit Anpassungen notwendig erscheinen. Exemplarisch sind in der RP162 Anforderungen an Geräteparameter enthalten, die bei aktuell verwendeten Geräten allgemein als stabil und damit für eine Prüfung unkritisch anzusehen sind. Zudem sind in der RP162 etliche Anforderungen für alte Gerätetechniken, z. B. Film-Folien-Systeme, enthalten, die in Deutschland in der Nutzung stark rückläufig sind.

5. ERGEBNISSE

Der Umfang an Prüfparametern und Geräteanforderungen ist im DR wesentlich größer als in der RP162. Dennoch sind in der RP162 auffallend viele Prüfparameter enthalten, bei denen die Anforderungen über denen im DR liegen. Hier treten im Wesentlichen vier Hauptgründe auf:

- Der Prüfparameter ist im DR nicht vorgesehen
- Der Prüfparameter ist im DR vorgesehen, jedoch mit schwächeren Anforderungen
- Der Prüfparameter ist im DR vorgesehen, jedoch ohne eine quantitative Anforderung
- Der Prüfparameter ist im DR in einem Dokument vorgesehen, welches keine verbindliche Umsetzung erfährt.

Neben Vorschlägen zur Überarbeitung von Einzelparametern fielen insbesondere die folgenden Dinge auf, die sinnvollerweise überdacht werden sollten:

- Im DR besteht eine große Komplexität an Anforderungsdokumenten. An etlichen Stellen bestehen gleichlautende oder sogar abweichende Anforderungen zu einem Prüfparameter in unterschiedlichen Dokumenten. Es erscheint sinnvoll, hier eine Eindeutigkeit anzustreben.
- Etliche der Anforderungsdokumente haben keine flächendeckende Verbindlichkeit oder Anwendung. Es erscheint sinnvoll, die relevanten Anforderungen in wenigen, dafür jedoch verbindlichen Dokumenten zu bündeln.
- Selbst unter Berücksichtigung der unterschiedlichen Intention der RP162 und des DR fällt die deutlich größere Anzahl an Prüfparametern im DR auf. Etliche dieser Parameter werden dabei jedoch bereits unabhängig, z. B. über das Medizinprodukterecht, verpflichtend eingefordert. Es erscheint sinnvoll, den Katalog zu prüfender Parameter auf einen sinnvollen Umfang zu reduzieren.
- Vor allem in der Nuklearmedizin und Strahlentherapie bestehen für viele Prüfgrößen, die in der RP162 mit Grenzwerten versehen sind, in den Normen des DR keine Grenzwerte. Hierdurch werden die Prüfung und deren Bewertung im relevanten Umfang beliebig. Es erscheint sinnvoll, soweit keine gut begründete Ausnahme vorliegt, Grenzwerte vorzusehen. In der Nuklearmedizin werden hierzu aktuell teilweise durch parallel zu den Normen geltende Dokumente Grenzwerte vorgesehen. In unterschiedlichen Dokumenten sind dabei unterschiedliche Werte für dieselben Prüfgrößen enthalten und die Anwendung der Grenzwerte ist auf Grund der geringen Durchsetzungskraft der Dokumente nicht deutschlandweit sichergestellt.
- Im DR sind an etlichen Stellen subjektive Prüfungen vorgesehen. Diese sind vielfach einfacher durchzuführen als entsprechende quantitativ-objektive Prüfungen. Sie haben jedoch zur Folge, dass die Bewertung und damit das Prüfergebnis in hohem Maß vom Prüfer abhängig ist. Es erscheint sinnvoll, an Stelle von subjektiven zunehmend objektive Prüfungen vorzusehen.

6. UMSETZUNG DER ERGEBNISSE

Die aus dem Forschungsvorhaben resultierenden Vorschläge sollten umgesetzt und das deutsche Regelwerk entsprechend überarbeitet werden. Insbesondere sollten die in der RP 162 aufgeführten Grenzwerte übernommen werden und das deutsche Regelwerk, auch hinsichtlich der Novellierung des Strahlenschutzgesetztes und der Röntgenverordnung, vereinfacht und vereinheitlicht werden. Dementsprechend sollten sich auch Normenarbeitskreise mit der Umsetzung der Vorschläge befassen, eventuell auch in neuen gezielten Forschungsvorhaben zur Änderung von aktuellen Normen. Die Ergebnisse des Forschungsvorhabens könnten zusätzlich die Grundlagen zu weiteren Diskussionen in SSK-Ausschüssen bilden.

Die Anpassung des deutschen Regelwerk mit seinen Verordnungen, Richtlinien und Normen an die Empfehlungen der europäischen Kommission wäre notwendig um den aktuellen Stand von Wissenschaft und Technik bei der Qualitätssicherung medizinischer Strahler und dem Umgang mit radioaktiven Stoffen zu gewährleisten.

Themenbereich 05
Radioökologie

Subject area 05
Radioecology

Thema

Fachliche Unterstützung des BfS bei der Erstellung von Referenzbiosphärenmodellen für den radiologischen Langzeitsicherheitsnachweis von Endlagern - Quantitative Modellierung des Radionuklidtransports in der Biosphäre

Subject

Supporting the Federal Office for Radiation Protection in the development of reference biosphere models for the radiological long-term safety assessment of nuclear waste repositories - Quantitative Modelling of the radionuclide transport in the biosphere

Kennzeichen	**Beginn**	**Ende**	**Fördermittel**
3614S50010	01.01.2015	31.08.2016	EUR 81.777,-

Forschungs- / Auftragnehmer
G.E.O.S. Ingenieurgesellschaft mbH, Freiberg

Projektleitung	**Fachbetreuung BfS**	**verantwortlich für den Text**
Dr. R. Kahnt	C. Willrodt / SW 1.6	Dr. R. Kahnt, M. Schlegel, Dr. D. Mocker

1. ZIELSETZUNG

Bei der Endlagerung radioaktiver Abfälle in geologischen Formationen kann die Freisetzung von Radionukliden nicht vollständig ausgeschlossen werden. Mit Hilfe von Langzeitsicherheitsanalysen wird die potentielle Strahlenexposition auf Mensch und Umwelt ermittelt, wobei die Belastung über verschiedene Expositionspfade erfolgen kann. Im Rahmen des Vorhabens 3609S50005 „Fachliche Unterstützung des BfS bei der Erstellung von Referenzbiosphärenmodellen für den radiologischen Langzeitsicherheitsnachweis von Endlagern - Modellierung des Radionuklidtransportes in Biosphärenobjekten“ wurde mit Hilfe des hydrogeochemischen Modellierungsprogramms PHREEQC ein Mehrkomponentenmodell entwickelt, das in der Lage ist, die Speziations- und Sorptionseigenschaften eines in die Bodenmatrix eingetragenen Radionuklids abzubilden. Mit diesem Modell ist es möglich, den Übergang aus der Geosphäre in die Biosphäre zu beschreiben. Das vorhandene Modell sollte aufgegriffen und um weitere endlagerrelevante Radionuklide ergänzt werden. Zudem sollte eine Sensitivitätsanalyse erfolgen sowie das in PHREEQC enthaltene eindimensionale Ausbreitungsmodell erweitert und den Anforderungen des Vorhabens angepasst werden.

2. EINZELZIELSETZUNG

2.1 ERWEITERUNG DES MODELLS UM WEITERE NUKLIDE

Das existierende Biosphärenmodell berücksichtigt die Nuklide Cs-137, U-238, Se-79 und Ni-63. Die in der Datenbank enthaltenen Konstanten waren zu prüfen und ggf. zu aktualisieren. Analog zu diesen Radionukliden sollten Am-241, Np-237, Pu-239, Ra-226 und I-129 im Modell implementiert werden. Die berechneten Kd-Werte für die Böden REFESOL 2 und 4 waren mit den Literaturwerten der IAEA-TECDOC (Technical Documents) 1616 und TRS (Technical Report Series) 472 zu validieren.

2.2 ANWENDUNG DES MODELLS AUF REFERENZBÖDEN

Für zwei Referenzböden sowie mindestens einen detailliert beschriebenen Boden waren die Verteilungskoeffizienten der neu implementierten Nuklide zu berechnen, damit die Koeffizienten für Dosisberechnungen in den Referenzbiosphärenmodellen genutzt werden können. Für die Referenzböden war eine Sensitivitätsanalyse der Verteilungskoeffizienten in Abhängigkeit von den wichtigsten Bodenparametern durchzuführen.

2.3 IMPLEMENTIERUNG EINES AUSBREITUNGSMODELLS

Das in PHREEQC implementierte eindimensionale Ausbreitungsmodell war zu überarbeiten und zu erweitern. Zur Darstellung des Stofftransportes bestand die Möglichkeit, weitere Software an das bestehende Modell zu koppeln, so dass nunmehr nur chemische Berechnungen in PHREEQC durchgeführt werden. Ziel war es, zwei Ausbreitungsszenarien darzustellen: Transport der Bodenlösung durch die ungesättigte Zone im Szenario „Beregnung“ und Transport durch den vollständig gesättigten Porenraum im Szenario „Grundwasseraufstieg“ mit der resultierenden Pflanzenaufnahme der Radionuklide.

3. METHODIK

Die Erweiterung des Modells um weitere Nuklide basierte zunächst auf einer umfangreichen Recherche. Das weitere Vorgehen beruhte auf der Integration des PHREEQC-Modells als Submodell von GoldSim. PHREEQC wird bei jedem Zeitschritt aufgerufen, während in GoldSim die Transportberechnungen durchgeführt werden. Außerdem lassen sich den Modellierungen innewohnende Unsicherheiten durch Monte-Carlo-Simulationen berücksichtigen. Die Einflüsse der Unsicherheiten eines Parameters wurden im Rahmen der Sensitivitätsanalyse in GoldSim ausgewertet.

4. DURCHFÜHRUNG

4.1 ERWEITERUNG DES MODELLS AUF WEITERE NUKLIDE

Grundlage für die Bearbeitung der Aufgabenstellung war eine umfangreiche Datenrecherche. Hinzu kam eine Überprüfung des bestehenden Modells und der Datenbank, die gegebenenfalls auf den aktuellen Stand gebracht wurde. Parallel wurde an der Verknüpfung des PHREEQC-Modells mit der Software GoldSim gearbeitet. Schließlich wurden die Kd-Werte der neu implementierten Radionuklide modelliert und mit Literaturwerten verglichen.

4.2 ANWENDUNG DES MODELLS AUF REFERENZBÖDEN

Mit der neu gestalteten Schnittstelle GoldSim/PHREEQC konnten die Kd-Werte der Radionuklide für die REFESOL-Böden 2 und 4 berechnet werden. Weiterhin sind verschiedene Sorptionsversuche mit den Radionukliden recherchiert und modelliert worden.

Die Sensitivitätsanalyse erfolgte anhand von zehn Bodenparametern, deren Bandbreiten für mitteleuropäische Ackerböden ermittelt wurden. Mit der in GoldSim durchführbaren Sensitivitätsanalyse konnte der Einfluss der Parameter auf die Verteilungskoeffizienten der Nuklide bestimmt werden.

4.3 IMPLEMENTIERUNG EINES AUSBREITUNGSMODELLS

Dem Aufbau eines Ausbreitungsmodells ging die Erstellung eines belastbaren Strömungsmodells voran. Dieses Modell muss die dominierenden Prozesse auf einer Ackerfläche mit ausreichender Genauigkeit beschreiben, um robuste Prognosen der Stoffausbreitung zu garantieren. Das Modell wurde mit der Software GoldSim realisiert. In das Modell ging die hydraulische Strömung in der ungesättigten Bodenzone - basierend auf der Richards-Gleichung - ein, die durch kapillar aufsteigendes Grundwasser sowie durch Niederschlag bzw. Beregnung beeinflusst wird. Zudem werden die Prozesse Verdunstung, Wasserentzug in Folge pflanzlicher Transpiration, pflanzliche Interzeption und Oberflächenabfluss im Modell berücksichtigt. Nachfolgend wurde das geochemische PHREEQC-Modell mit dem Strömungsmodell gekoppelt, indem für jeden Zeitschritt das PHREEQC-Modell aufgerufen und das neue chemische Gleichgewicht ermittelt werden kann.

Die Validierung des Strömungsmodells erfolgte anhand einer Literaturquelle.

Eine Prognoseberechnung zur Aufnahme von Am-241, Np-237, Pu-239, Ra-226 und I-129 durch Winterweizen wurde am Beispiel der REFESOL-Böden 2 und 4 durchgeführt. Die Zugabe der Radionuklide in die Bodenlösung erfolgte über das Grundwasser durch Grundwasseraufstieg und als Folge der zusätzlichen Beregnung. Es wurde ein konstanter Grundwasserflurabstand von zwei Metern angenommen. Die zusätzliche Beregnung wurde auf 1 $l/m^2/d$ über den Zeitraum von Ende März bis Ende Oktober festgelegt, unter der Bedingung, dass kein natürlicher Niederschlag fällt. Es ist anzumerken, dass ein dynamischer Grundwasserspiegel das Strömungsregime stark beeinflusst und die Ergebnisse nicht auf natürliche Standorte übertragbar sind.

5. ERGEBNISSE

5.1 ERWEITERUNG DES MODELLS AUF WEITERE NUKLIDE

Durch die umfangreiche Recherche konnte die chemische Datenbank des Modells aktualisiert und durch die Nuklide Am-241, Np-237, Pu-239, Ra-226 und I-129 ergänzt werden. Ein Vergleich der modellierten Kd-Werte mit Literaturwerten zeigte gute Übereinstimmungen. Die berechneten Verteilungskoeffizienten lagen innerhalb der in der Literatur angegebenen Spannbreiten. Durch Aufbau der Schnittstelle mit GoldSim wurde ein Werkzeug geschaffen, das die Eingabe in PHREEQC vereinfacht und komplexe Sensitivitätsanalysen sowie die Implementierung eines sachgerechten Transportmodells erlaubt.

5.2 ANWENDUNG DES MODELLS AUF REFERENZBÖDEN

Die Recherche nach Sorptionsversuchen war für jedes der hinzugefügten Nuklide erfolgreich. Darin enthaltene Datenlücken wurden durch plausible Annahmen gefüllt. Die anschließende Modellierung der Versuche erbrachte gute Übereinstimmungen der modellierten mit den gemessenen Kd-Werten für die untersuchten Nuklide Am-241, Np-237, Pu-239, Ra-226 und I-129.

Durch die Sensitivitätsanalyse wurde der Einfluss der einzelnen Parameter auf die Verteilungskoeffizienten der Radionuklide ermittelt. Die Kd-Werte von Am-241 und I-129 reagierten besonders sensitiv auf die Gehalte ortsfester und gelöster organischer Substanz. Die Actinoide Np-237 und Pu-239 zeigten deutliche Abhängigkeiten vom pH-Wert und dem Redoxpotential der Bodenlösung. Die höchste Sorptionsaffinität zeigten sie gegenüber Eisenoxiden. Der Verteilungskoeffizient des Ra-226 war besonders sensibel gegenüber dem pH-Wert. Die Sorbenten mit dem größten Einfluss waren Eisenoxide und organisches Material.

Die Sorption an Ton und die Kationenaustauschkapazität hatten geringen Einfluss auf die Verteilung der untersuchten Radionuklide zwischen Bodenlösung und Festphase. Die Verteilungskoeffizienten der Radionuklide zeigten auch nur geringe Sensitivitäten gegenüber veränderten Nuklidkonzentrationen sowie Verdunstung bzw. Verdünnung. In der nachfolgenden Tabelle 1 sind die einflussnehmenden Parameter übersichtlich in die qualitativen Bereiche „sehr großer Einfluss“ (++), „großer Einfluss“ (+), „geringer Einfluss“ (-) und „sehr geringer Einfluss“ (--) unterteilt.

Tabelle 1: Zusammenfassung der Sensitivitätsanalyse (sehr großer Einfluss ++; großer Einfluss +; geringer Einfluss -; sehr geringer Einfluss --)

Parameter	**Am-241**	**Np-237**	**Pu-239**	**Ra-226**	**I-129**
pH-Wert	+	++	+	++	-
Redoxpotential	--	++	++	+	++
CO_2-Partialdruck	-	+	--	+	--
Ionenstärke	+	--	--	--	--
Radionuklidkonzentration	--	-	--	--	--
Tongehalt	--	--	--	--	--
Kationenaustauschkapazität	--	--	--	--	--
Eisen-/Aluminium-oxidgehalt	--	-	+	-	--
gebundene organische Substanz	++	--	--	+	++
gelöste organische Substanz	++	--	--	--	++

5.3 IMPLEMENTIERUNG EINES AUSBREITUNGSMODELLS

Die Validierung des Strömungsmodells erfolgte nach Daten einer Literaturquelle. Die Autoren untersuchten die Wasserhaushaltssituation im Can Vila Becken im Nordosten Spaniens. In die Validierung ging der Vergleich von gemessenen und simulierten Matrixpotentialen in 20 cm, 40 cm und 60 cm Tiefe ein. Zusätzlich wurden Niederschlagsraten ergänzt, die einen massiven Einfluss auf das Matrixpotential nahmen. Es wurde deutlich, dass die Dynamik des sehr sensitiven Matrixpotentials plausibel nachvollzogen werden konnte. Die auftretenden Unterschiede, insbesondere in den tiefer gelegenen Schichten, lagen im tolerierbaren Bereich, der auch der Folge von Messunsicherheiten sowie der zeitlichen Auflösung der Klimadaten geschuldet war.

Prognosesimulationen zu Radionuklidaufnahmemengen von Winterweizen wurden für eine typische Vegetationsperiode am Beispiel der REFESOL-Böden 2 und 4 durchgeführt. Die prognostizierte Aufnahme der Nuklide Am-241, Np-237, Pu-239, Ra-226 und I-129 durch Winterweizen für den Boden REFESOL 2 sind in Abbildung 1 dargestellt. Erkennbar ist, dass die wesentliche Aufnahme in den Frühjahrsmonaten stattfindet, wenn die Pflanze ein gewisses Wachstumsstadium erreicht hat und verhältnismäßig hohe Transpirationsraten aufweist. Es zeigt sich, dass Pu-239 am stärksten akkumuliert wird (etwa 5 E6 Bq/m^2). Die Ursache liegt in seiner partiellen Mobilität. Durch wechselnde chemische Zustände in den obersten Bodenschichten kann gebundenes Pu-239 innerhalb kurzer Zeiträume freigesetzt werden und ist dann schlagartig in hohen Konzentrationen für die Pflanze verfügbar. Ähnlich verhält es sich mit Np-237. Es ist das Radionuklid mit der zweithöchsten Akkumulation (etwa 850 Bq/m^2). Für I-129, Am-241 und Ra-226 ist diese „spontane Mobilisierung“ geringer ausgeprägt. Da sie von den nachfolgenden Milieuänderungen weniger betroffen sind, steigt die Akkumulation dieser Radionuklide im Winterweizen bei weiten nicht so stark an wie bei Np-237 und Pu-239.

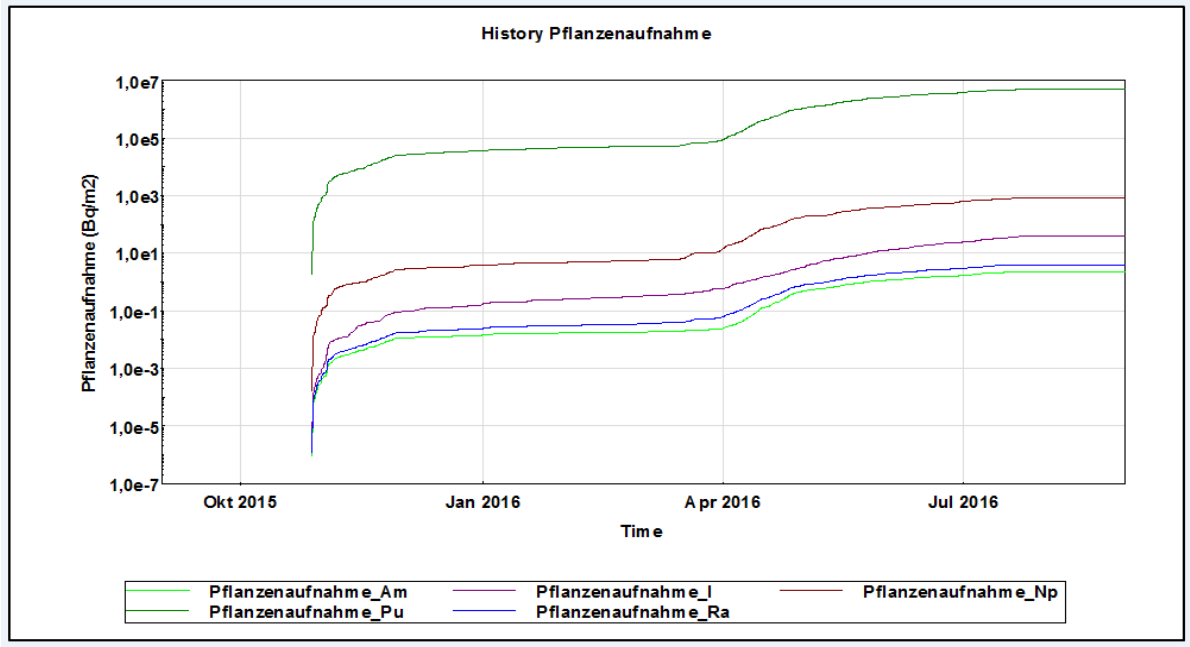


Abbildung 1: Aufnahme der Radionuklide durch Winterweizen während einer Vegetationsperiode auf dem Boden Refesol 2

Die prognostizierte Aufnahme der Nuklide Am-241, Np-237, Pu-239, Ra-226 und I-129 in Winterweizen für den Boden REFESOL 4 sind in Abbildung 2 dargestellt. Es wird auch für den Boden REFESOL 4 deutlich, dass die wesentliche Aufnahme in den Frühjahrsmonaten stattfindet, wenn die Pflanze ein gewisses Wachstumsstadium erreicht und verhältnismäßig stark transpiriert. Es zeigt sich, dass Pu-239 mit etwa 9 E5 Bq/m^2 wiederum die höchste Aktivitätsaufnahme aufweist. Es wurde gezeigt, dass Pu-239 im Boden stark retardiert wird, allerdings ist somit auch die vertikale Ausbreitung gehemmt. Da die Wurzeldichte in den obersten Schichten am größten ist, wird das zur Verfügung stehende Pu-239 von der Pflanze verstärkt aus dieser Schicht aufgenommen. Um das chemische Gleichgewicht zwischen gelöstem und sorbiertem Pu-239 zu wahren, wird das Radionuklid vom Sorbenten dann vermehrt freigegeben. Anschließend folgen mit fallender Aktivitätsaufnahme die Radionuklide Np-237, I-129, Ra-226 und Am-241. Np-237 wird bei steigendem Redoxpotential ebenfalls hauptsächlich aus der obersten Bodenschicht aufgenommen. Daraus resultiert eine deutlich höhere Pflanzenverfügbarkeit in der obersten Bodenzelle. Das I-129, welches wegen seines negativ geladenen Charakters als das mobilste Radionuklid eingestuft wurde, wird in der Pflanze etwas weniger akkumuliert als Np-237 (1 E2 Bq/m²). Auf Grund der gleichmäßigen Ausbreitung von Iod in der Bodenlösung ist es auch in den unteren Bodenschichten in größeren Mengen vorhanden. In diesem Bereich ist die Wurzeldichte niedriger, so dass es dort zu einer geringeren Aufnahme kommt, obwohl es pflanzenverfügbar vorliegt. Die Radionuklide Ra-226 und Am-241 werden am wenigsten von der Pflanze akkumuliert. Sie sind verhältnismäßig unempfindlich gegenüber Milieuänderungen, neigen nicht zu einer spontanen Mobilisierung und weisen kaum Kd-Wert-Schwankungen auf. Einzig die höhere Sorptionsaffinität des Am-241 sorgt dafür, dass es in noch geringerem Maße von der Pflanze akkumuliert wird als Ra-226.

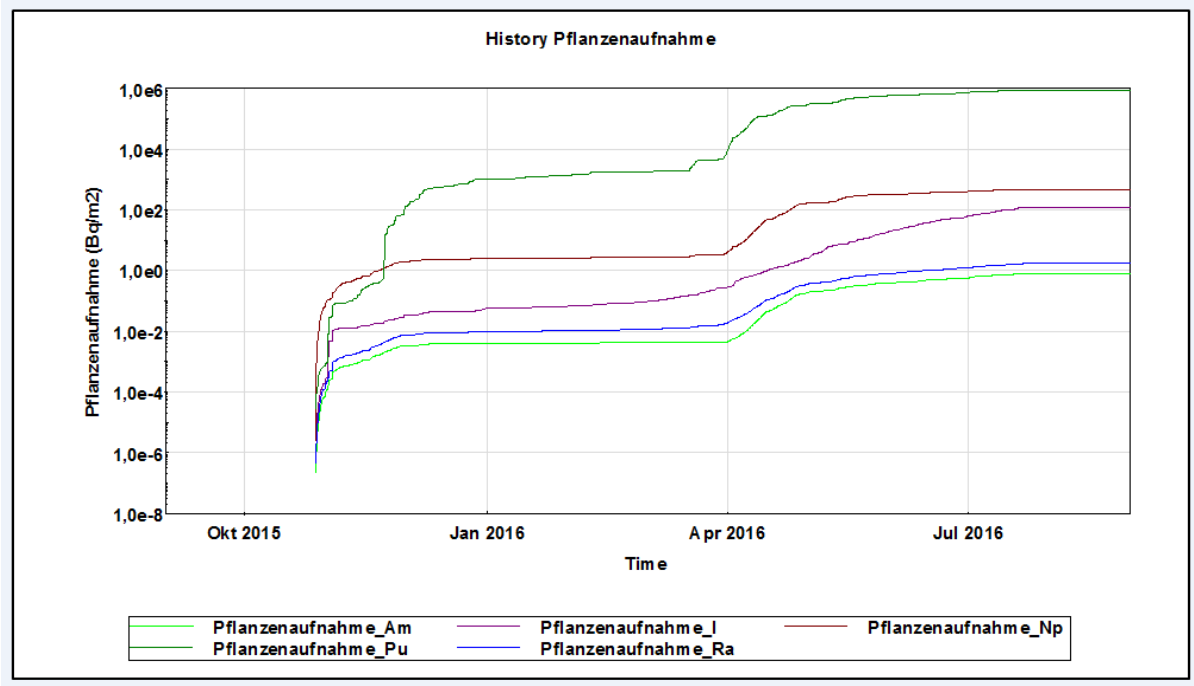


Abbildung 2: Aufnahme der Radionuklide durch Winterweizen während einer Vegetationsperiode auf dem Boden Refesol 4

6. UMSETZUNG DER ERGEBNISSE

Bei der Endlagerung radioaktiver Abfälle ist im Rahmen von radiologischen Langzeitsicherheitsanalysen zu zeigen, welche Strahlenexpositionen für Einzelpersonen der Bevölkerung durch Freisetzungen von Radionukliden aus dem Endlager in der Nachverschlussphase auftreten können. Strahlenexpositionen können dann entstehen, wenn Radionuklide aus dem Endlager freigesetzt, langfristig bis zur Biosphäre aufsteigen und über das Grundwasser in landwirtschaftlich genutzte Böden eingetragen werden. Eine Schlüsselrolle bei der Beschreibung des Radionuklidübergangs kommt dabei dem Verteilungskoeffizient zwischen flüssiger und fester Phase (Kd-Wert) zu. Voraussetzung einer möglichst realistischen Ermittlung der Strahlenexposition gemäß den Vorgaben der EU (Richtlinie 2013/59/Euratom) sind deshalb zuverlässige Prognosen dieser Kd-Werte.

Das bereits in einem Vorgängervorhaben entwickelte Modell zur standortbezogenen Berechnung der Kd-Werte der Radionuklide Cs-137, U-238, Se-79 und Ni-63 wurde in diesem Vorhaben verbessert und um die Radionuklide Am-241, Np-237, Pu-239, Ra-226 und I-129 erweitert.

Hauptanwendungsbereich der Ergebnisse sind radiologische Langzeitsicherheitsanalysen potentieller Endlager, aber beispielsweise auch die Berechnung von Freigabewerten.

Aus fachlicher Sicht ergibt sich ein weiterer Forschungsbedarf. Die entwickelten Modelle wurden auf Grund genau dokumentierter Versuche validiert, die aber meist nicht repräsentativ für deutsche Böden- und Witterungsverhältnisse waren. Zudem mussten fehlende Messdaten vielfach durch plausible Annahmen ersetzt werden. Ein weiterer Mangel ist, dass ein witterungsbedingt dynamisch sich verändernder Grundwasserspiegel nicht berücksichtigt werden konnte. Zur besseren Validierung und Weiterentwicklung der Modelle sollten deshalb Säulenversuche mit typisch deutschen Ackerböden durchgeführt werden, unter Einfluss der in Deutschland üblichen Beregnungs- und Grundwasseraufstiegsszenarien, wobei alle Parameter zeitlich aufgelöst zu messen sind, um die Validierung gänzlich auf gemessene Parameter stützen zu können. Zusätzlich sind auch Pflanzenexperimente durchzuführen, um die Prognoseaussagen zur Radionuklidakkumulation in der Pflanze verifizieren zu können. Ohne diese Validierungen kann nicht nachgewiesen werden, ob die bereits entwickelten Modelle ein breites Spektrum an Szenarien abdecken und auch für mitteleuropäische Verhältnisse zuverlässige Prognosen liefern.

Thema

Erweiterung des Strömungsmodells in ARTM (Atmosphärisches-Radionuklid-Transport-Modell) zur Bearbeitung komplexer Standortbedingungen

Subject

Enhancement of the flow model in ARTM (atmospheric radionuclide transport model) for the processing of complex site conditions

Kennzeichen	**Beginn**	**Ende**	**Fördermittel**
3615S52507	01.12.2015	31.07.2016	EUR 34.045,-

Forschungs- / Auftragnehmer
Gesellschaft für Anlagen- und Reaktorsicherheit (GRS) gGmbH, Köln

Projektleitung	**Fachbetreuung BfS**	**verantwortlich für den Text**
Dr. C. Richter	H. Wildermuth / SW 1.4	Dr. C. Richter, H. Thielen

1. ZIELSETZUNG

Das Lagrangesche Ausbreitungsmodell ARTM hat ein wesentlich größeres Anwendungsspektrum als das bisher nach AVV zu § 47 StrlSchV gebräuchliche Gauß-Modell. Insbesondere können Simulationen mit niedrigen Quellhöhen, geringer Bodenrauigkeit, komplexer Orographie und quellnahen Gebäuden durchgeführt werden. Dabei kommt bei bestimmten Simulations-Randbedingungen das diagnostische Windfeldmodell, das Teil des Programmpaketes GO-ARTM ist, zum Einsatz. Der spezifizierte Anwendungsbereich der Modellkette TALdia-ARTM erlaubt eine maximale Geländeneigung von 5 %. Wird dieser Anwendungsbereich überschritten, liegen also im verwendeten Simulationsgitter zwischen zwei benachbarten Gitterpunkten größere Steigungen als 5 % vor, dann kann es zu Programmabbrüchen kommen. Unter Umständen treten die Programmabbrüche nur für ausgewählte meteorologische Randbedingungen (Ausbreitungsklasse, Windrichtung) auf.

Die Programmabbrüche wurden im Rahmen des Vorhabens analysiert und die für die jeweiligen orographischen Bedingungen kritischen meteorologischen Bedingungen identifiziert. Durch eine Glättung der Geländedatei sollte es ermöglich werden, eine genäherte Ausbreitungsrechnung (genäherte Randbedingungen) für die ansonsten nicht mögliche Ausbreitungsrechnung durchzuführen. Die Abweichungen zwischen den Modellergebnissen bei Verwendung der ursprünglichen (auf simulierbare meteorologische Randbedingungen reduzierten) Geländedatei und der geglätteten Geländedatei sollten quantifiziert werden.

Sollte das Verfahren der Geländeglättung erfolgreich sein, also Programmabbrüche verhindert werden und nur geringfügige Abweichungen bei den Modellergebnissen auftreten, sollte das Programmpaket GO-ARTM um die Möglichkeit der Geländeglättung erweitert werden.

2. EINZELZIELSETZUNG

Das Vorhaben gliederte sich in 3 Arbeitspakete (AP), deren Einzelziele nachfolgend kurz beschrieben werden.

2.1 IDENTIFIZIERUNG PROBLEMATISCHER SITUATIONEN (AP 1)

Im ersten Bearbeitungsschritt sollten die maßgeblichen Strömungssituationen (bezüglich meteorologischer Parameter, Geländeeigenschaften etc.) anhand von Beispielrechnungen identifiziert und beschrieben werden. Dazu sollten Beispiele mit realen Standortbedingungen herangezogen werden. Die Ursachen für problematische Situationen sollten, soweit möglich, den beiden Eingangsdatensätzen „Gelände“ oder „meteorologische Parameter“ zugeordnet werden.

2.2 KATASTERVARIIERUNG (AP 2)

An den identifizierten Problemstellen sollte dann das Kataster so variiert werden, dass ARTM die Modellierung nicht mehr abbricht und gleichzeitig die Änderungen im Kataster so gering wie möglich bleiben sollte. Zusätzlich sollte untersucht werden, ob auch eine Bearbeitung der meteorologischen Zeitreihe zum Ziel führt.

2.3 QUANTIFIZIERUNG VON ABWEICHUNGEN UND DOKUMENTATION (AP 3)

Die Abweichungen bei Rechnungen mit geglättetem Geländekataster hinsichtlich der atmosphärischen Ausbreitung bei sonst nicht vom Programmabbruch betroffenen meteorologischen Situationen sollten quantifiziert

werden. Es sollte zudem überprüft werden, ob die Abweichungen für die Gesamtergebnisse einer Langzeitausbreitungsrechnung tolerierbar sind. Für den Fall, dass die Auswirkungen nicht tolerierbar sind, sollte dies begründet und dokumentiert werden. Im Falle der Tolerierbarkeit der Abweichungen sollte das Verfahren in Form einer Empfehlung für Anwender von ARTM dokumentiert werden. Anwender sollen dadurch in die Lage versetzt werden, mit Hilfe der Empfehlung die Datenbearbeitung erfolgreich durchführen und damit eine zuvor nicht mögliche ARTM-Langzeitausbreitungsrechnung durchführen zu können.

3. METHODIK

Im Rahmen des AP 1 wurden Programmabbrüche von Problemstellungen des Auftraggebers analysiert. Dazu wurden insbesondere Anpassungen an der Fehlerausgabe der Programme TALdia und ARTM vorgenommen.

Im AP 2 wurde für die Glättung des Katasters ein Software-Tool in der Programmiersprache Delphi entwickelt, bei dem aus einer vorhandenen digitalen Geländedatei eine mittels eines Gauß-Filters geglättete digitale Geländedatei erstellt werden kann. Zudem wurde ein Software-Tool zur Bearbeitung der Meteorologie-Eingabedatei erstellt.

Für das AP 3 wurden Beispielrechnungen durchgeführt und die Änderungen der Simulationsergebnisse, wie maximale Konzentrationen in der Luft oder maximale Depositionen, bei Langzeitausbreitungsrechnungen mit geänderten meteorologischen oder orographischen Randbedingungen untersucht. Zudem wurde analysiert, ob sich der Einfluss der Geländeglättung auf die Simulationsergebnisse mittels einfacher Abhängigkeiten sinnvoll abschätzen lässt.

4. DURCHFÜHRUNG

Die Durchführung des Vorhabens richtet sich nach der oben erwähnten Methodik. Die Aufgabenstellung wurde zudem bei einem Startgespräch mit dem Auftraggeber diskutiert. Die Ergebnisse wurden bei einer Abschlusspräsentation vorgestellt. Da sich im Rahmen der Bearbeitung des AP 3 herausstellte, dass keine allgemeine Empfehlung für die Anwendung einer Geländeglättung gegeben werden kann, wurde das Verfahren nicht für die Verwendung in GO-ARTM bereitgestellt, sondern lediglich für den Auftraggeber dokumentiert.

5. ERGEBNISSE

Im Rahmen des AP 1 wurden zunächst kritische Strömungssituationen (bezüglich der Geländeeigenschaften oder der meteorologischen Parameter) identifiziert, bei denen es zu Programmabbrüchen des Strömungsmodells TALdia bzw. des Ausbreitungsprogrammes ARTM kam. Die Ursachen für die Abbrüche wurden den Problemfeldern „Meteorologie“ oder „Gelände“ zugeordnet.

Zur Durchführung der Arbeiten im Rahmen des AP 2 wurden zwei Software-Tools entwickelt. Das Tool zg_mod.exe dient zur Glättung des Geländes mit Hilfe eines Gauß-Filters. Mit dem Tool met_mod.exe kann eine meteorologische Zeitreihe gezielt bezüglich der Windgeschwindigkeiten bearbeitet werden. Mit Hilfe der Tools wurden die Eingangsdaten der unter AP 1 identifizierten Szenarien gezielt abgeändert, so dass Ausbreitungsrechnungen mit den modifizierten Randbedingungen durchgeführt werden konnten, es also nicht mehr zu Programmabbrüchen kam.

Schließlich wurde anhand von Beispielrechnungen analysiert, wie sich die Änderungen der Randbedingungen (Meteorologie bzw. Topographie) auf Ergebnisse einer Ausbreitungsrechnung auswirken. Es stellte sich heraus, dass der Einfluss der Änderungen der Meteorologie bzw. Topographie auf die Ergebnisse der Ausbreitungsrechnung nicht einfach vorhersehbar ist und von vielen weiteren Eingabevariablen der Ausbreitungsrechnung abhängen (beispielsweise der Quellhöhe). Eine allgemein gültige Empfehlung für die Anwendung einer Geländeglättung oder Anpassung der meteorologischen Eingabeparameter zur Durchführung sonst mit dem Programmpaket ARTM/TALdia nicht möglicher Ausbreitungsrechnungen konnte daher nicht erfolgen.

6. UMSETZUNG DER ERGEBNISSE

Mithilfe der Zusatztools kann bei extremen Wettersituationen oder bei komplexer Orographie durch Modifikationen in den entsprechenden Parametern ein vorzeitiger Programmabbruch von ARTM verhindert und so zur Verbesserung und Weiterentwicklung der Anwendung von AVV-Tätigkeiten beigetragen werden.

Themenbereich 06
Notfallschutz

Subject area 06
Emergency management

Thema

Ergänzung der Quelltermdatenbank des Entscheidungshilfesystems RODOS für Freisetzungen aus Brennelement-Lagerbecken in Kernkraftwerken

Subject

Complement of the source term data bank of the decision support system RODOS for releases from spent fuel pools in nuclear power stations

Kennzeichen	**Beginn**	**Ende**	**Fördermittel**
3614S60033	06.10.2014	31.12.2016	EUR 229.624,-

Forschungs- / Auftragnehmer
Gesellschaft für Anlagen- und Reaktorsicherheit (GRS) gGmbH, Köln

Projektleitung	**Fachbetreuung BfS**	**verantwortlich für den Text**
H. Löffler	N. Zander / SW 2.2	H. Löffler, N. Zander

1. ZIELSETZUNG

Im Falle einer möglichen Krisensituation in einer kerntechnischen Anlage sind zuverlässige Lagebewertungen für die Einleitung von effektiven Schutzmaßnahmen für die Bevölkerung essentiell. Zu einer derartigen Lagebewertung gehört auch eine Prognose über die aus der Anlage zu erwartenden Radionuklidfreisetzungen in die Umgebung (sogenannter Quellterm).

Das Gefährdungspotential des BELB[1)] kann mit dem des Reaktorkerns vergleichbar sein. Deshalb zielte das Vorhaben darauf ab, Freisetzungen bei relevanten Unfallabläufen im BELB eines DWR[2)] und eines SWR[3)] als Input für das Entscheidungshilfesystem RODOS[4)] zu ermitteln. Ferner sollte das Rechenprogramm der GRS zur schnellen Prognose von Radionuklidfreisetzungen ergänzt werden, damit die Wahrscheinlichkeiten der verschiedenen möglichen Quellterme aus dem BELB während eines Unfallablaufes prognostiziert werden können. Mit diesen Arbeiten sollte die Lagebewertung, die mit Hilfe des RODOS-Systems vorgenommen wird, auf eine solidere Grundlage gestellt werden, so dass der erforderliche Schutz der Bevölkerung bei einem Unfall in einem Kernkraftwerk verbessert wird.

2. EINZELZIELSETZUNG

Die in der Zielsetzung genannten Arbeiten werden in zwei Einzelziele strukturiert.

2.1 ERMITTLUNGEN VON UNFALLBEDINGTEN FREISETZUNGEN

Die Ermittlung von unfallbedingten Radionuklidfreisetzungen sollte mit Hilfe eines integralen Simulationsprogrammes erfolgen, das den Ereignisablauf vom Beginn der Störung bis zur Radionuklidfreisetzung berechnen kann. Mit verschiedenen Anfangs- und Randbedingungen sollte ein breites Spektrum möglicher Abläufe abgedeckt werden. Auf dieser Basis sollte ein Satz von Quelltermen ermittelt werden, der möglichst alle relevanten Unfallszenarien abdeckt.

2.2 ERGÄNZUNG DES RECHENPROGRAMMS ZUR QUELLTERMPROGNOSE

Das in der GRS entwickelte Quellterm-Prognosewerkzeug sollte für Ereignisabläufe im Brennelementlagerbecken ergänzt werden. Dabei sollten insbesondere auch die vergleichsweise sehr langen Zeiträume der Ereignisabläufe adäquat berücksichtigt werden.

---

1) Brennelemente-Lagerbecken
2) Druckwasserreaktor
3) Siedewasserreaktor
4) realtime online decision support system

3. METHODIK

3.1 ERMITTLUNGEN VON UNFALLBEDINGTEN FREISETZUNGEN

Die Ermittlung von unfallbedingten Radionuklidfreisetzungen sollte mit Hilfe eines integralen Simulationsprogrammes erfolgen. In der GRS wird routinemäßig das von Sandia National Laboratory (USA) entwickelte Rechenprogramm MELCOR[1)] zur Analyse von Kernschmelzvorgängen angewendet. In einem vorhergehenden Vorhaben des BMWi wurde es auch für einen Unfall im BELB angepasst, so dass vom Beginn des Vorhabens an ein funktionsfähiges Rechenprogramm mit einschlägigem Eingabedatensatz zur Verfügung stand.

3.2 ERGÄNZUNG DES RECHENPROGRAMMS ZUR QUELLTERMPROGNOSE

Das in der GRS entwickelte Quellterm-Prognosewerkzeug ist bisher für Kernschmelzabläufe im Reaktor eingesetzt worden. Es beruht auf einem probabilistischen Modell, das charakteristische Anlagendaten während des Ereignisablaufes einbezieht. Die rechentechnische Grundlage ist ein Bayesian Belief Network. Diese Methode ist grundsätzlich sehr flexibel und wird auch in zahlreichen anderen Anwendungsbereichen verwendet. Für die Nutzung beim BELB sind insbesondere Anpassungen erforderlich, die die langen Zeiträume bis zum Beginn eines Brennstoffschadens erfassen.

4. DURCHFÜHRUNG

4.1 ERMITTLUNGEN VON UNFALLBEDINGTEN FREISETZUNGEN

Es wurde auf Grund früherer PSA[2)]-Ergebnisse und anhand von Plausibilitätsüberlegungen ein Satz von relevanten Ereignisabläufen festgelegt. Die dafür durchgeführten MELCOR-Rechnungen konnten bis zur Beendigung der Radionuklidfreisetzungen erfolgreich abgeschlossen werden, allerdings waren die erforderlichen Rechenzeiten zum Teil extrem lang.

Aus den MELCOR-Analysen wurden Quellterme für fünf relevante Isotope der Elemente Kr, Xe, I, Te und Cs abgeleitet. Ferner wurden anhand von ingenieurmäßigen Abschätzungen weitere Quellterme für Abläufe ermittelt, für die MELCOR-Analysen nicht vorgesehen waren. Somit wurde ein weitgehend vollständiger Satz von Quelltermen für alle wesentlichen Abläufe erarbeitet.

4.2 ERGÄNZUNG DES RECHENPROGRAMMS ZUR QUELLTERMPROGNOSE

Es wurde eine Version sowohl für den Reaktortyp DWR als auch für den Reaktortyp SWR entwickelt. Für beide Versionen der Quelltermprognosesoftware wurde zusätzlich ein Modul implementiert, das die Zeitdauer der Erwärmungs- und Verdampfungsprozesse des Kühlmittels im BELB während eines Ausfalls der Kühlung berechnet. Der ermittelte Zeitwert wird in den internen Berechnungen der Unfallszenarienabläufe benutzt und ist genauer an die aktuelle Lage im BELB angepasst als die bisher verwendeten und durch die Einbringung in die Freisetzungskategorien gemittelten Werte aus den MELCOR-Berechnungen.

5. ERGEBNISSE

5.1 ERMITTLUNGEN VON UNFALLBEDINGTEN FREISETZUNGEN

Zur Beurteilung von Unfallabläufen in einem BELB eines DWR wurden zwei MELCOR-Simulationen durchgeführt. Die Simulation „DWR-6“ unterstellt eine von Anfang an offene Schleuse des Sicherheitsbehälters (SB). Die Freisetzung gelangt über das Hilfsanlagengebäude in die Umgebung. Die Simulation „DWR-5“ geht von einem zunächst intakten SB aus, wobei zwei Varianten betrachtet wurden: Bei der Variante 0 schmilzt der Brennstoff radial durch das BELB und den SB bis zum Ringraum durch. Bei der Variante 1 wird angenommen, dass es nicht zu einem radialen Durchschmelzen kommt und folglich eine gefilterte Druckentlastung des SB stattfindet.

Zur Herleitung von Quelltermen wurden zusätzlich Rechnungen im Rahmen eines vorherigen Vorhabens beim BMWi herangezogen und Abschätzungen vorgenommen.

---

1) integraler Rechencode
2) probabilistische Sicherheitsanalyse

Insgesamt wurden sechs Quellterme aus folgenden Ereignisabläufen bestimmt:

- offene Schleuse
- offener SB-Abschluss
- SB-Versagen
- ungefilterte SB-Druckentlastung
- gefilterte SB-Druckentlastung
- auslegungsgemäß dichter SB.

Zur Beurteilung von Unfallabläufen in einem SWR wurden zwei MELCOR-Simulationen durchgeführt. Bei der Simulation „SWR-6“ mit voll ausgeladenem Reaktordruckbehälter (RDB) öffnen schon nach relativ kurzer Zeit (ca. 10,5 h) die Maschinenhaus-Dachklappen, so dass von da an ein ungefilterter Freisetzungspfad in die Umgebung besteht. Der überwiegende Teil der Radionuklidfreisetzung geschieht vor 100 h, d. h. während des Zerstörungsvorganges im Lagerbecken und noch vor der Betonerosion.

In der Rechnung „SWR-5“ wird eine Normalbeladung des BELB angenommen. Es kommt in der Analyse zu einer Freilegung der Brennelemente, aber auch bei sehr langen Problemzeiten (mehr als 5500 h) tritt kein Brennstabschaden auf. Ein Quellterm wurde daher nicht ermittelt. Einschränkend ist zu bemerken, dass eine Validierung von MELCOR für das hier entstehende Szenario (über mehr als 200 Tage trocken stehende Brennelemente) nicht gesichert ist.

5.2 ERGÄNZUNG DES RECHENPROGRAMMS ZUR QUELLTERMPROGNOSE

Zum Vorhabensende stehen eine DWR- und eine SWR-Version zur Prognose von Quellltermen während eines Unfalles im BELB zur Verfügung. Beide Versionen haben eine weitgehend ähnliche Benutzeroberfläche wie die Versionen für Unfälle im Reaktorkern. Die langen Zeiträume der Unfallentwicklung und die damit verbundenen Unsicherheiten sowie der Zerfall einiger Nuklide werden durch entsprechende zusätzliche Module berücksichtigt.

Die SWR-Version ist relativ einfach und ergibt nur wenige verschiedene Quellterme, weil sich das BELB im SWR nicht im Sicherheitsbehälter befindet und somit die damit verbundenen Phänomene entfallen.

6. UMSETZUNG DER ERGEBNISSE

Erstmals nach dem Fukushima-Unfall wurden die Randbedingungen und die möglichen radiologischen Gefahrpotentiale bei Ereignissen im Brennelement-Lagerbecken in einem DWR- und einem SWR-Block untersucht. Bei den abgeschätzten Freisetzungen werden Aktivitätswerte erreicht, die mit den Quellltermgrößen von Reaktoren vergleichbar sind. Allerdings sind die Zeitspannen bis zu BE-Schmelzvorgängen erheblich länger. Die abgeschätzten Quellterme werden in die RODOS-Quellltermdatenbank aufgenommen. Die werden u. a. verwendet, um Notfallschutzplanungen in der Umgebung von Kernkraftwerken zu überprüfen. Weiterhin können diese Quellterme im Ereignisfall in einem Brennelement-Lagerbecken für Prognoserechnungen genutzt werden.

Thema

Verifizierung des Dosismoduls DARTM (Dosis-Atmosphärisches-Radionuklid-Transportmodell)

Subject

Verification of the dose module DARTM (Dose-Atmospheric-Radionuclide-Transport Model)

Kennzeichen	**Beginn**	**Ende**	**Fördermittel**
3615S62542	01.08.2015	31.07.2016	EUR 66.616,-

Forschungs- / Auftragnehmer
Gesellschaft für Anlagen- und Reaktorsicherheit (GRS) gGmbH, Köln

Projektleitung	**Fachbetreuung BfS**	**verantwortlich für den Text**
H. Thielen	H. Wildermuth / SW 1.4	H. Wildermuth, H. Thielen, E. Kümmerle

1. ZIELSETZUNG

Das Programmpaket ARTM-DARTM soll schwerpunktmäßig zur retrospektiven Berechnung der Strahlenbelastung der Bevölkerung herangezogen werden sowie für zukünftige Einsatzgebiete, z. B. bei Genehmigungsverfahren, auch im Rahmen von Rückbaumaßnahmen bei kerntechnischen Anlagen. Im Gegensatz zu ARTM[1)] ist DARTM noch nicht von unabhängigen Stellen verifiziert. Dies war Inhalt des Forschungsvorhabens.

Die Ergebnisse des Forschungsvorhabens sollten das Dosisprogramm DARTM soweit qualifizieren, dass gesetzliche Aufgaben, wie z. B. die Überprüfung der Einhaltung von Dosisgrenzwerten in der Umgebung einer kerntechnischen Anlage, damit durchführbar sind.

2. EINZELZIELSETZUNG

Die Verifizierung der Ergebnisse von DARTM sollte anhand von Vergleichsrechnungen erfolgen. Dabei sollten alle Teilpfade abgedeckt werden, die charakterisiert waren durch eine Auswahl typischer, in ARTM standardmäßig enthaltener Radionuklide und deren chemisch-physikalische Form, Organe, Altersgruppen und Expositionspfade. Ergebnisdateien des als Zusatzprogramm im ARTM-Paket enthaltenen Radon-Postprozessors sollten einbezogen werden. Das Forschungsvorhaben gliederte sich in drei Arbeitspakete, die im Folgenden beschrieben werden.

2.1 AUFARBEITUNG DES FÜR DAS VORHABEN RELEVANTEN STANDES VON WISSENSCHAFT UND TECHNIK, STRATEGIE

Der für die Bearbeitung des Vorhabens relevante Stand von Wissenschaft und Technik sollte systematisch aufbereitet und um die im Projekt gewonnen Ergebnisse und Erfahrungen ergänzt werden. Die für das aktuelle Vorhaben relevanten Unterlagen waren die Programmbeschreibung, die Modellbeschreibung und entsprechende Abschlussberichte zu ARTM der GRS, die Anleitung zur Dosisberechnung1_07 des BfS, die Allgemeine Verwaltungsvorschrift zu § 47 der Strahlenschutzverordnung vom 28.8.2012 sowie Unterlagen und Berichte des FZJ[2)] zu den Modellen RAUMKA[3)] und AUSBRDOS[4)].

Zusätzlich sollte in diesem Arbeitspaket eine Verifikationsstrategie erstellt und die zur Realisierung dieser Strategie erforderlichen Tools entwickelt werden.

2.2 VERGLEICHSRECHNUNGEN

Die Vergleichsrechnungen mit DARTM sollten mit dem Dosismodul AUSBRDOS des Programmpakets RAUMKA des Forschungszentrums Jülich durchgeführt werden. Parallelrechnungen mit den in der GRS vor-

[1)] atmosphärisches Radionuklid-Transportmodell
[2)] Forschungszentrum Jülich
[3)] Programme zur Berechnung der Radionuklidbelastung in der Umgebung kerntechnischer Anlagen
[4)] Ausbreitungsrechnung und Dosis

gehaltenen Modulen zur Dosisberechnung sollten durchgeführt werden. Der Vergleich der Ergebniswerte als Verifizierung von DARTM umfasste zwei Teile:

- Vergleich detaillierter Dosisausgaben in allen Gitterzellen des innersten Rechengitters von ARTM. Die Referenzpunkte deckten den Bereich der Maximalwerte und einen Bereich der niedrigen Dosiswerte ab. Dabei sollten alle Altersgruppen, alle Organe (inkl. effektiver Dosis), alle 9 Expositionspfade und die Nuklide H-3 (HTO), H-3 (elementar), H-3 (organisch), C-14 (Dampf), C-14 (CO_2, organisch), Kr-85 (Edelgas), I-131 (elementar, I_2), I-131 (organisch, CH_3I), Cs-137 (lungengängig), Cs-137 (nicht lungengängig), Rn-222 (Radon), Po-218 (RFP[1)]), Bi-214 (RFP), Po-214 (RFP), Pb-214 (RFP), Pb-210 (RFP) und U-238 (lungengängig, ggf. nur teilweise) betrachtet werden.
- Vergleich der berechneten Dosis der Referenzperson nach der Strahlenschutzverordnung. Dazu sollte die Nuklidzusammensetzung nach Punkt a) verwendet werden und nuklidspezifische Betrachtungen entfallen.

2.3 AUSWERTUNG

Die Dosisberechnungen sollten gegenübergestellt und die Ergebnisse verglichen werden. Bei dieser Gegenüberstellung sollten die Abweichungen in den einzelnen Dosisberechnungen für die einzelnen Nuklide/Pfade/Organe/Altersgruppen ersichtlich werden. Eventuelle Abweichungen bei der Identifizierung der Dosis der Referenzperson nach der Strahlenschutzverordnung sollten ebenfalls dargestellt bzw. das in DARTM integrierte Verfahren nachvollzogen und verifiziert werden. Zum Abschluss des Vorhabens noch auftretende Abweichungen sollten bewertet werden. Bereits während des Vorhabens erfolgte Änderungen an DARTM sollten dabei berücksichtigt werden. Aus der Zusammenstellung sollte eindeutig hervorgehen, in welchen Teilexpositionspfaden Abweichungen auftreten, damit eine Überarbeitung von DARTM nach Abschluss des Vorhabens daraufhin erfolgen kann.

3. METHODIK

Zur Berechnung der Dosisbeiträge an den Referenzpunkten (Teilaufgabe 1) mussten die Dosisbeträge getrennt nach Altersgruppen, Organ, Pfad und Nuklid berechnet werden. Für die Berechnung des Dosiswertes einer solchen Kombination wurden die jeweils anderen Altersgruppen, Organe, Pfade und Nuklide durch das Nullsetzen der Dosiskoeffizienten bzw. Dosisleistungskoeffizienten ausgeblendet. Die Ergebnisse der DARTM-Rechnungen wurden gemäß einer Dateinamenskonvention abgespeichert. Durch mehrfache Anwendung erhielt man die gewünschte Aufspaltung.

Die Ausgabeschnittstelle in AUSBRDOS für die Dosiswerte wurde so gestaltet, dass die separate Ausgabe für die jeweilige Altersgruppe, das Organ, den Pfad und das Nuklid erfolgte und dabei die Benutzung derselben Konvention für die Dateinamen zu Grunde lag.

Die so berechneten Dosisfelder wurden dann einzeln verglichen und für jeden dieser Vergleiche statistische Kennwerte (Maximum 1, Maximum 2, Mittelwert, Standardabweichung, maximale Abweichung, Abweichung im Maximum und Verschiebung des Maximums) ermittelt. Auf der Basis dieser Vergleiche wurden dann entsprechende Tabellen und Grafiken generiert.

Für den Vergleich der berechneten Dosis der Referenzperson (Teilaufgabe 2) wurden die Dosisbeiträge der einzelnen Nuklide in jedem Gitter summiert und spezifisch für den jeweiligen Pfad, die Altersgruppe und das Organ abgelegt. Die Maxima und deren Lage wurden mit den Angaben in der DARTM-Ergebnisdatei verglichen. Durch die anschließende Summierung über alle Pfade wurde dann die maximale Dosis der Referenzperson durch die Angabe des Maximalwertes bei der Ausschöpfung des Grenzwertes für das Organ und die Altersgruppe ermittelt. Durch eine Summierung der Dosisbeträge eines Nuklides an den Stellen der Maximalwerte eines Pfades konnten dann für diese Kombination von Altersgruppe und Organ die Beiträge der einzelnen Nuklide an dieser Gesamtdosis angegeben werden.

4. DURCHFÜHRUNG

Die Durchführung der Arbeiten richtete sich nach der im vorherigen Abschnitt beschriebenen Methodik.

[1)] Radonfolgeprodukt

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

Zu Beginn des Vorhabens wurden die im Abschnitt 2.1 beschriebenen Unterlagen gesichtet und hinsichtlich Ihrer Relevanz für die Aufgaben analysiert. Daraus wurde der für das Vorhaben relevante Stand von Wissenschaft und Technik generiert.

Die Validierungsstrategie basierte auf der Durchführung von Einzelrechnungen durch die Ausblendung der anderen Pfade/Nuklide. Diese Einzelrechnungen wurden dann verglichen. Durch dieses Verfahren kam es zur Quantifizierung der Dosisbeiträge auch bei sonst nicht dominanten Pfaden/Nukliden. Zur Verfolgung dieser Strategie diente zum einen ein batch-fähiger Editor für die Datei mit den Dosiskonversionsfaktoren des BfS. Zum anderen ermöglichte eine Schnittstelle der ARTM-Ausbreitungsrechnungen zum Dosismodell RAUMKA die Berechnung der Dosisbeiträge auf Basis der ARTM-Ergebnisse. Die Ausgabe der Dosiswerte erfolgte ebenfalls im dmna-Format von ARTM.

4.2 VERGLEICHSRECHNUNGEN

4.2.1 Dosisbeiträge an den Referenzpunkten

Für alle Kombinationen aus Altersgruppe, Organ, Pfade und Nuklid wurden mit RAUMKA und DARTM einzelne Dateien mit den horizontalen Ergebnisfeldern erzeugt. Diese wurden dann verglichen und für jedes dieser Felder statistische Kenngrößen erstellt.

4.2.2 Dosis der Referenzperson

Hier wurden die mit RAUMKA berechneten Dosisbeiträge der einzelnen Nuklide in jedem Gitter summiert und spezifisch für den jeweiligen Pfad, die Altersgruppe und das Organ abgelegt. Die Maxima und deren Lage wurden anschließend mit den Angaben in der DARTM-Ergebnisdatei verglichen.

5. ERGEBNISSE

5.1 AUFARBEITUNG DES FÜR DAS VORHABEN RELEVANTEN STANDES VON WISSENSCHAFT UND TECHNIK, STRATEGIE

Die Ergebnisse dieses Arbeitspaketes wurden in einem separaten Bericht beschrieben. Hierin wird der Stand von Wissenschaft und Technik dargelegt, die Verifikationsstrategie erläutert und die entwickelten Tools und Schnittstellen beschrieben.

5.2 VERGLEICHSRECHNUNGEN DETAILLIERTER DOSISAUSGABEN

Der Vergleich der detaillierten Dosisausgaben an den Referenzpunkten erfolgte in zwei Iterationsschritten.

5.2.1 Ergebnisse des Iterationsschrittes 1

Im Iterationsschritt 1 wurden erste Verifikationsrechnungen zwischen dem Modell DARTM (in der Version 1.07) und dem Dosismodell des Forschungszentrums Jülich (AUSBRDOS) sowie dem Modell zur AVV der GRS gemacht. Es wurden zunächst leichte Abweichungen zwischen den erfassten Nukliden und den Parametern im Vergleich mit den veröffentlichten Angaben festgestellt. Ebenso gab es Abweichungen in den zugrunde liegenden Zerfallskonstanten und den Integrationszeiten. Die Unterschiede bei der Berechnung der Gammasubmersion, der Gammabodenstrahlung und der Inhalation sind gering. Bei der Ingestion und bei der Betasubmersion gab es zum Teil größere Unterschiede.

In der Tabelle 1 sind die Abweichungen zwischen DARTM und AUSBRDOS im 1. Iterationsschritt angegeben. Die Abweichungen schwanken je nach Nuklid und Pfad zwischen gering (< 1 %), mäßig (1 % - 10 %) bis zu stark (> 10 %).

Tabelle 1: Abweichungen zwischen DARTM und AUSBRDOS im 1. Iterationsschritt

Bezeichnung	Inhalation	Ingestion	γ-Submersion	β-Submersion	γ-Boden-strahlung
H-3 W	gering	stark			
H-3 G	gering	stark			
H-3 RB	gering	stark			
C-14 R	gering	gering		gering	
C-14 GB	gering	stark		gering	
Kr-85 E			gering	gering	
I-131 L	gering	mäßig	gering	gering	gering
I-131 R	gering	mäßig	gering	gering	gering
Cs-137 A-2	gering	mäßig	gering	gering	gering
Cs-137 A-4		mäßig	gering	gering	gering
Rn-222 E			gering	gering	
Po-218 A				stark	
Bi-214 A	gering	stark		stark	
Po-214 A					
Pb-214 A	gering	stark		stark	
Pb-210 A	gering	stark		stark	
Ne-20 E					
U-238 A-2	gering	mäßig	gering		gering

W Wasser
G gasförmig
RB organisch gebunden
R organisch

GB gasförmig als CO2
E Edelgas
L elementar
A Aerosol (mit Korngrößenklassen)

Vor der abschließenden Verifikation im Iterationsschritt 2 wurden die folgenden Punkte abgeklärt:

- zu verwendende Nuklidtabellen, Parameter, Zerfallskonstanten und Integrationszeiten
- Verfahrensweise bei der Berechnung der Dosis durch Betasubmersion bei Nukliden des RN-Postprozessors
- Verfahrensweise bei der Berechnung der Dosis durch Ingestion von Muttermilch durch Inhalation der Mutter bei Nukliden des RN-Postprozessors
- Verfahrensweise bei der Berechnung der Dosis durch Ingestion von Muttermilch durch Inhalation der Mutter bei Nukliden H-3 G und H-3 RB
- Verfahrensweise bei der Berechnung der Dosis durch Ingestion von H-3 W
- Verfahrensweise bei der Berechnung der Dosis durch Ingestion von C-14 GB.

5.2.2 Ergebnisse des Iterationsschrittes 2

Im Iterationsschritt 2 wurden Verifikationsrechnungen zwischen dem Modell DARTM und dem Dosismodell des Forschungszentrums Jülich (AUSBRDOS) sowie dem Modell DARTM zum Modell der AVV der GRS durchgeführt. Gravierende Abweichungen ergeben sich nur noch in beiden Fällen bei den Nukliden des RN-Postprozessors. Zum einen berechnet DARTM keine Betasubmersionsdosis für diese Nuklide. Zum anderen wird dort der Ingestionsbeitrag über die Inhalation der Mutter bei Säugling von DARTM nicht berechnet.

In der Tabelle 2 sind die Abweichungen zwischen DARTM und AUSBRDOS im 2. Iterationsschritt angegeben. Starke Abweichungen ergeben sich nur noch bei den Radonfolgeprodukten Po-218, Bi-214, Pb-214 und Pb-210 bei der Ingestion und der Betasubmersion.

Tabelle 2: Abweichungen zwischen DARTM und AUSBRDOS im 2. Iterationsschritt

Bezeichnung	Inhalation	Ingestion	γ-Submersion	β-Submersion	γ-Boden-strahlung
H-3 W	gering	gering			
H-3 G	gering	gering			
H-3 RB	gering	gering			
C-14 R	gering	gering		gering	
C-14 GB	gering	gering		gering	
Kr-85 E			gering	gering	
I-131 L	gering	gering	gering	gering	gering
I-131 R	gering	gering	gering	gering	gering
Cs-137 A-2	gering	gering	gering	gering	gering
Cs-137 A-4		gering	gering	gering	gering
Rn-222 E			gering	gering	
Po-218 A				stark	
Bi-214 A	gering	stark		stark	
Po-214 A					
Pb-214 A	gering	stark		stark	
Pb-210 A	gering	stark		stark	
Ne-20 E					
U-238 A-2	gering	gering	gering		gering

W Wasser
G gasförmig
RB organisch gebunden
R organisch

GB gasförmig als CO2
E Edelgas
L elementar
A Aerosol (mit Korngrößenklassen)

5.3 DOSIS DER REFERENZPERSON

Für den betrachteten Fall wurden Dosisberechnungen mit DARTM (Version 4.01) bzw. DARTM (Version 5.01), dem Modell AUSBRDOS und dem GRS-Modell zur AVV durchgeführt und daraus die Dosis für die Referenzperson nach der Strahlenschutzverordnung bestimmt.

Die von DARTM nicht berücksichtigten Nuklide des RN-Postprozessors bei der Betasubmersionsdosis und dem Ingestionsbeitrag über die Inhalation der Mutter beim Säugling ergeben in diesem vom BfS definierten Beispiel nur einen sehr kleinen Beitrag zur jeweiligen Gesamtdosis. Bei der Betasubmersion liegt er etwa bei 0,4 %, bei der Ingestion bei etwa 0,01 %. Ein Vergleich der Dosiswerte der Referenzperson ist damit durchführbar.

In der Abbildung 1 ist der Vergleich der Dosiswerte der Referenzperson von DARTM(V4.01) mit dem Modell AUSBRDOS als Korrelationsgrafik für alle berechneten Pfade, Organe und Altersgruppen dargestellt. Für alle Werte stimmen die von DARTM und dem Modell AUSBRDOS berechneten Dosisbeiträge und Summen überein. Der Korrelationskoeffizient liegt bei $r^2 > 0{,}999$.

Obwohl es bei der Behandlung der Ingestion von Muttermilch methodische Unterschiede bei den Aufpunkten zur Suche der Dosis der Referenzperson zwischen DARTM (Unterscheidung von 5 Aufpunkten) und AUSBRDOS bzw. dem GRS-Modell zur AVV (Unterscheidung von 10 Aufpunkten) gibt, gab es bei der Ermittlung der Dosis der Referenzperson nur geringfügige Abweichungen (< 1%).

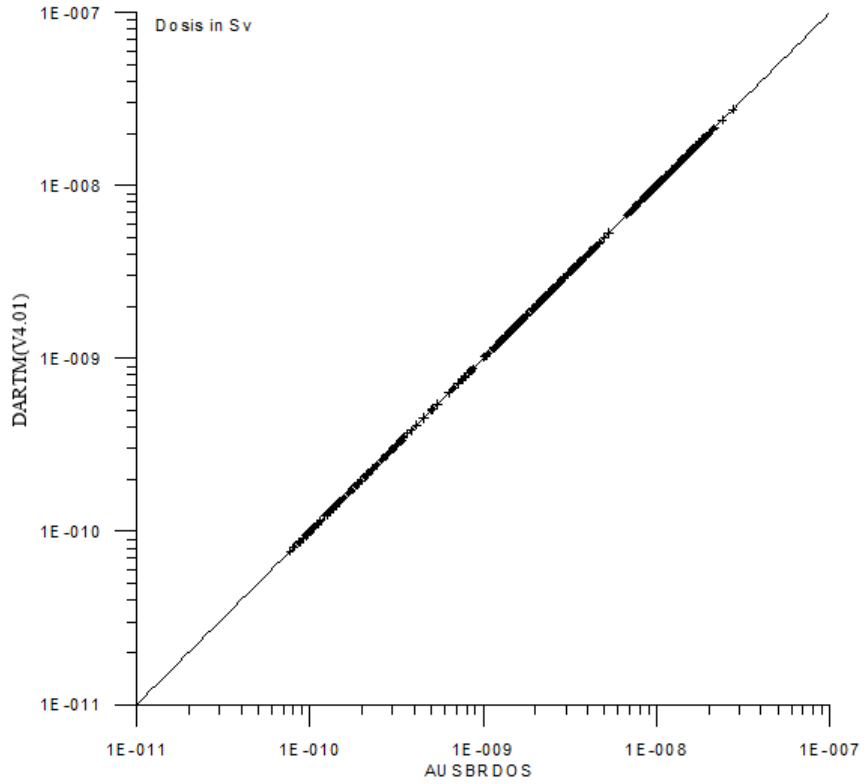


Abbildung 1: Vergleich der Dosiswerte von DARTM(V4.01) mit dem Modell AUSBRDOS

Da alle Aufpunkte für die Referenzpersonen auf dem Gitter 1 der ARTM-Rechnungen lagen, konnte die korrekte Identifizierung von möglichen Aufpunkten auf anderen Gittern nicht überprüft werden.

5.4 NOCH BESTEHENDE ABWEICHUNGEN

Zum Ende des Vorhabens bestehen noch die folgenden Abweichungen:

- Methodische Unterschiede bei den Aufpunkten zur Suche der Dosis der Referenzperson.
  Dieser Punkt wird vom BfS geklärt und ggf. in einer nächsten Version von DARTM umgesetzt.
- Unterschiede bei den Halbwertszeiten bei einigen Nukliden.
  Die Halbwertszeiten werden mit Hinweis auf die Karlsruher Nuklidkarte 6. Auflage 1995 belassen.
- Keine Berechnung der Betasubmersionsdosis und des Dosisbeitrags über die Ingestion von Muttermilch (über die Inhalation der Mutter) in DARTM bei den Nukliden des RN-Postprozessors.
  Dieser Punkt wird vom BfS in einer nächsten Version von DARTM umgesetzt.

Insgesamt ergeben sich durch diese genannten Abweichungen nur geringe Differenzen (< 1 %) in der Dosis der Referenzperson.

Bis auf die noch bestehenden Abweichungen lieferten DARTM, AUSBRDOS und das GRS-Modell zur AVV für das definierte Szenario annähernd die gleichen Dosiswerte für alle Nuklide, Pfade, Organe und Altersgruppen. Da das Nuklidspektrum einen großen Bereich der Methodik der Dosisberechnung abdeckte und alle Sonderbehandlungen enthielt, wurde durch die Vergleichsrechnungen mit zweien in Deutschland zur Dosisberechnung angewendeten Modellen eine deutliche Qualitätsverbesserung von DARTM erreicht.

6. UMSETZUNG DER ERGEBNISSE

Die Verifizierung qualifiziert das Dosismodul DARTM für den behördlichen Einsatz, z. B. für Genehmigungszwecke oder zur retrospektiven Dosisberechnung.

Themenbereich 07
Vorhaben mit allgemeiner Bedeutung für den Strahlenschutz

Subject area 07
Projects of general importance to radiation protection

Thema

Fortschreibung der Untersuchung und Bewertung der tätigkeitsbezogenen Strahlenexposition in Anlagen nach AtG, standortnahen Zwischenlagern für radioaktive Abfälle und nichtkerntechnischen Einrichtungen nach StrlSchV und RöV

Subject

Update and evaluation of task-related exposure in nuclear facilities and other radiation relevant installations under the aspect of optimisation

Kennzeichen	**Beginn**	**Ende**	**Fördermittel**
3612S20001	01.11.2012	30.09.2015	EUR 372.006,-

Forschungs- / Auftragnehmer
Gesellschaft für Anlagen- und Reaktorsicherheit (GRS) gGmbH

Projektleitung	**Fachbetreuung BfS**	**verantwortlich für den Text**
Dr. T. Stahl	L. Kammerer / AG-SG 2.4	Dr. T. Stahl

1. ZIELSETZUNG

Eine optimierte Arbeitsplanung und -durchführung und die systematische Auswertung gemachter Erfahrungen kann bei Tätigkeiten in kerntechnischen Anlagen, insbesondere in Kernkraftwerken in Betrieb, Nachbetrieb und Stilllegung zu beträchtlichen Dosiseinsparungen führen. Um entsprechende Methoden hierzu weiterentwickeln zu können, sind detaillierte Kenntnisse der Expositionsursachen und deren gegenseitiger Abhängigkeiten unabdingbare Voraussetzungen. Dazu sind u. a. gezielte Analysen der durchgeführten Tätigkeiten und der damit einhergehenden Strahlenexposition erforderlich, die hinsichtlich des erforderlichen Datenmaterials über Daten der amtlichen Personendosimetrie hinausgehen.

Im Rahmen des Vorhabens wurden frühere Untersuchungen zur tätigkeitsbezogenen beruflichen Strahlenexposition in kerntechnischen Anlagen unter dem Gesichtspunkt der Optimierung fortgeschrieben. Betrachtet wurden deutsche Kernkraftwerke, Anlagen der Ver- und Entsorgung sowie deutsche standortnahe Zwischenlager für abgebrannte Brennelemente und radioaktive Abfälle. Grundlage der Untersuchungen waren fortlaufend gesammelte Daten und Informationen zur beruflichen Strahlenexposition in den kerntechnischen Anlagen, die die Datenreihen früherer Jahre fortsetzten und ergänzten sowie nationale und internationale Erfahrungen zum beruflichen Strahlenschutz. Des Weiteren wurden relevante Vorhabensergebnisse in den nationalen und internationalen Erfahrungsaustausch, insbesondere im Rahmen der Mitarbeit im *Information System on Occupational Exposure* (ISOE) der OECD Nuclear Energy Agency (NEA), eingebracht. Anfang 2015 wurde im Rahmen des ISOE die „*Working Group on Radiological Protection Aspects of Decommissioning Activities at Nuclear Power Plants* (WGDECOM)“ gegründet. Ziel dieser Arbeitsgruppe ist es, ein internationales Forum von Experten aufzusetzen, welches innerhalb des ISOE einen Prozess entwickeln soll, den Austausch von Daten und Erfahrungen des Strahlenschutzes bei der Vorbereitung und Durchführung von Stilllegungsprojekten von Kernkraftwerken zu stärken.

Im Nachgang zum kerntechnischen Unfall von Fukushima im März 2011 wurden weltweit verschiedene Initiativen begonnen, um entsprechende Ereignisse künftig zu vermeiden bzw. die radiologischen Folgen so gering wie möglich zu halten. Während sich viele Initiativen auf Maßnahmen des anlageninternen und anlagenexternen Notfallschutzes bezogen, gründete das ISOE Ende 2011 eine Expertengruppe *(Expert Group on Occupational Radiation Protection in Severe Accident Management and Post-Accident Recovery* – EG-SAM*)*, die sich mit Fragestellungen des Strahlenschutzes des Personals während kerntechnischer Unfälle beschäftigte. Auf Grund der herausgehobenen Bedeutung dieser Fragestellungen auch für deutsche Kernkraftwerke, wurden die im Vorgängervorhaben begonnenen Arbeiten in der ISOE EG-SAM fortgesetzt und abgeschlossen.

2. EINZELZIELSETZUNG

Die übergeordneten Zielsetzungen des Vorhabens wurden durch die Bearbeitung der nachstehenden, miteinander verknüpften Einzelziele umgesetzt.

2.1 SAMMLUNG, AUFBEREITUNG UND DOKUMENTATION DER TÄTIGKEITSBEZOGENEN STRAHLENEXPOSITION DES EIGEN- UND FREMDPERSONALS IN KERNTECHNISCHEN ANLAGEN DEUTSCHLANDS

Für deutsche kerntechnische Anlagen wurden Informationen und Daten, die für die Dokumentation und Auswertung der beruflichen Strahlenexposition in den Anlagen von Bedeutung sind, insbesondere unter dem Gesichtspunkt der durchgeführten Tätigkeiten für die Jahre 2011, 2012 und 2013 erhoben, aufbereitet und in jährlichen Berichten dokumentiert. Die erhobenen Daten stammen aus der betrieblichen Dosimetrie der Anlagen und weisen einen Detailierungsgrad auf, der höher ist als derjenige der Daten der amtlichen Strahlenschutzüberwachung.

2.2 ANALYSE TÄTIGKEITSBEZOGENER EXPOSITIONSDATEN

Anhand der Informationen und Daten wurden die Zusammenhänge zwischen der beruflichen Strahlenexposition und den sie beeinflussenden Faktoren untersucht und Möglichkeiten zur Reduktion der Strahlenexposition dargestellt. Schwerpunkt der Analyse waren die einzelnen durchgeführten Tätigkeiten und die sie begleitenden technischen und arbeitsorganisatorischen Strahlenschutzmaßnahmen. Soweit im Hinblick auf Fragen der Optimierung und Dosisreduzierung sinnvoll, wurden hierbei Teilaspekte der durchgeführten Tätigkeiten im Detail analysiert.

2.3 VERGLEICH DER ERGEBNISSE AUF NATIONALER UND INTERNATIONALER EBENE

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

2.4 BEWERTUNG DER TÄTIGKEITSBEZOGENEN EXPOSITIONSDATEN UND ABLEITUNG VON VORSCHLÄGEN ZUR OPTIMIERUNG DER ARBEITSEINSÄTZE UND ARBEITSMITTEL

Auf der Basis der erhobenen Daten wurden Vorschläge zur Verbesserung des Arbeitsschutzes abgeleitet.

2.5 ASPEKTE DES STRAHLENSCHUTZES BEIM EINSATZ AUSLÄNDISCHER FREMDARBEITER UND IM FALLE VON KERNTECHNISCHEN UNFÄLLEN

Unter Berücksichtigung der Erfahrungen aus der Sammlung und Analyse der Expositionsdaten sowie des gezielten Erfahrungsaustauschs auf nationaler und internationaler Ebene wurden Fragen im Zusammenhang mit dem Strahlenschutz ausländischen Fremdpersonals bearbeitet.

Darüber hinaus wurden im internationalen Dialog, insbesondere im Rahmen der Mitarbeit in der Expertengruppe EG-SAM des ISOE, bisherige Maßnahmen zum beruflichen Strahlenschutz bei kerntechnischen Unfällen und in der sich hieran anschließenden Phase erfasst, analysiert und etwaiges Verbesserungspotential identifiziert. Die Ergebnisse flossen in den nationalen Erfahrungsaustausch ein und wurden für die deutschen Anlagen aufbereitet. Im Gegenzug wurden regulatorische Ansätze in Deutschland und Vorgehensweisen in der Praxis der deutschen Kernkraftwerke in die Expertengruppe eingebracht.

3. METHODIK

3.1 UNTERSUCHUNG DER BERUFLICHEN STRAHLENEXPOSITION IN KERNTECHNISCHEN ANLAGEN

Die Daten zur Fortschreibung der Zeitreihen für Kernkraftwerke wurden mit Hilfe des Datenerfassungssystems des ISOE erhoben. Darüber hinaus wurden für Teilbereiche die Daten aus weiteren Quellen und durch ergänzende Anfragen bei den jeweiligen Anlagen angereichert. Die bei der Auswertung und Analyse gewonnenen Ergebnisse wurden für die verschiedenen Themenbereiche in Berichten dokumentiert. Die in Abschnitt 2.3 ebenfalls angesprochene Zusammenarbeit mit dem Ausland wurde schwerpunktmäßig durch Teilnahme an Sitzungen und Veranstaltungen des ISOE als zentrale internationale Einrichtung zum beruflichen Strahlenschutz in Kernkraftwerken wahrgenommen. Aspekte der Optimierung wurden bei der Diskussion der Daten fortlaufend verfolgt.

3.2 ASPEKTE BEIM EINSATZ AUSLÄNDISCHER FREMDARBEITER UND IM FALLE VON KERNTECHNISCHEN UNFÄLLEN

Grundlage für die Bearbeitung der Zielsetzungen waren Recherchen und ein Erfahrungsaustausch innerhalb von ISOE, insbesondere durch die Teilnahme an den Sitzungen der ISOE-Expertengruppe EG-SAM.

4. DURCHFÜHRUNG

4.1 Untersuchung der beruflichen Strahlenexposition in kerntechnischen Anlagen

Die Daten der kerntechnischen Anlagen eines Jahres wurden jeweils im Folgejahr in den Anlagen erhoben. Für Kernkraftwerke in Betrieb und Stilllegung wurden die ISOE-Datenerfassungssoftware und für die Anlagen der Ver- und Entsorgung standardisierte Datenerfassungsbögen eingesetzt, die im Rahmen früherer Datenerfassungen mit diesen Anlagen abgestimmt wurden. Darüber hinaus wurden ergänzende Daten und Informationen erfasst und die jährlichen Betriebsberichte der Kernkraftwerke in Betrieb und Stilllegung ausgewertet.

4.2 Aspekte beim Einsatz ausländischer Fremdarbeiter und im Falle von kerntechnischen Unfällen

Im Rahmen einer Recherche wurde zunächst der aktuelle Sachstand zum Einsatz ausländischer Fremdarbeiter auf nationaler Ebene und – soweit möglich – internationaler Ebene erhoben und um Ergebnisse aus einer Literaturrecherche ergänzt. Es wurde ein Informations- und Erfahrungsaustausch innerhalb von ISOE angestrebt und die Ergebnisse im Rahmen eines Workshops im Juni 2015 mit den Betreibern diskutiert.

Unter Beteiligung der GRS wurden im Spätherbst 2011 die Zielsetzungen der ISOE-Expertengruppe EG-SAM ausgearbeitet und die Arbeitsgruppe mit Zustimmung des Leitungsgremiums des ISOE, dem ISOE Management Board, Ende 2011 gegründet. Seitdem nahm der Auftragnehmer kontinuierlich an den Arbeitssitzungen teil. Zur Vorbereitung deutscher Beiträge zu den unterschiedlichen Kapiteln des geplanten EG-SAM-Berichtes wurden Arbeitsgespräche zwischen den deutschen Vertretern in der Expertengruppe durchgeführt und fachliche Beiträge zum Bericht geliefert. Gleichzeitig wurde die redaktionelle Zuständigkeit des Kapitels „Overall Approach of Worker Protection“ übernommen. Der fertiggestellte Bericht wurde im November 2014 auf der Sitzung des ISOE Management Boards verabschiedet.

5. ERGEBNISSE

Die bislang vorliegenden Ergebnisse des Vorhabens werden nach der Struktur der Einzelzielsetzungen zusammengefasst:

5.1 SAMMLUNG, AUFBEREITUNG UND DOKUMENTATION DER TÄTIGKEITSBEZOGENEN STRAHLENEXPOSITION DES EIGEN- UND FREMDPERSONALS IN KERNTECHNISCHEN ANLAGEN DEUTSCHLANDS

Die langjährigen Zeitreihen liegen bis 2013 vor. Die nach Abschnitt 2.1 vorgesehenen Jahresberichte mit Übersichten über die berufliche Strahlenexposition in deutschen Kernkraftwerken bis zum Jahr 2013 und der kombinierte Bericht zur beruflichen Strahlenexposition in Anlagen der Ver- und Entsorgung für die Jahre 2012 und 2013 wurden erstellt. Diese Berichte sind aus Datenschutzgründen nicht öffentlich.

5.2 ANALYSE TÄTIGKEITSBEZOGENER EXPOSITIONSDATEN

Die Daten zur tätigkeitsbezogenen Exposition bis zum Jahr 2013 wurden ausgewertet und die Ergebnisse wurden in einem Bericht dokumentiert. Neben den Analysen der Tätigkeiten wurden auch Expositionssituationen nach Tätigkeitsgruppen analysiert, d. h. es wurden Personengruppen (z. B. Strahlenschützer, Gerüstbauer) betrachtet, um auf alternative Weise einen Optimierungsbedarf im Strahlenschutz zu identifizieren.

5.3 VERGLEICH DER ERGEBNISSE AUF NATIONALER UND INTERNATIONALER EBENE

Der Vergleich der Expositionen auf internationaler Ebene wurde unter Nutzung der Daten des Jahres 2013 fortgeschrieben. Weiterhin erfolgte ein internationaler Erfahrungsaustausch hinsichtlich der Vorbereitung und Durchführung von Stilllegungsprojekten von Kernkraftwerken im Rahmen der Mitarbeit in der WGDECOM.

5.4 BEWERTUNG DER TÄTIGKEITSBEZOGENEN EXPOSITIONSDATEN UND ABLEITUNG VON VORSCHLÄGEN ZUR OPTIMIERUNG DER ARBEITSEINSÄTZE UND ARBEITSMITTEL

Die tätigkeitsbezogenen Expositionsdaten wurden hinsichtlich unterschiedlicher Aspekte, wie zum Beispiel des Einflusses von Systemdekontaminationen auf die Strahlenexposition des Primärkreislaufs, bewertet.

5.5 ASPEKTE BEIM EINSATZ AUSLÄNDISCHER FREMDARBEITER UND IM FALLE VON KERNTECHNISCHEN UNFÄLLEN

Die Vorgehensweise der Betreiber, den Strahlenschutz von ausländischem Fremdpersonal sicherzustellen, wurde dargelegt. Mit Bestätigung und Verabschiedung des fertiggestellten Berichtes durch das ISOE Management Board Ende 2014 wurde die Arbeit in der Arbeitsgruppe EG-SAM abgeschlossen.

6. UMSETZUNG DER ERGEBNISSE

Es ist vorgesehen, die Sammlung und Analyse der Expositionsdaten zur tätigkeitsbezogenen beruflichen Strahlenexposition in kerntechnischen Anlagen fortlaufend weiterzuführen. Ebenso wird die Mitarbeit in den Gremien und Arbeitsgruppen des ISOE fortgesetzt. Beispielsweise sollen durch die Teilnahme an der WGDECOM deutsche Erfahrungen in den internationalen Erfahrungsaustausch und umgekehrt internationale Erfahrungen in den deutschen Erfahrungsaustausch eingebracht werden. Aggregierte Daten aus diesem Vorhaben fließen u. a. in die Jahresberichte des BMUB „Umweltradioaktivität und Strahlenbelastung“ ein. Darüber hinaus ermöglichen die Ergebnisse die Beantwortung spezieller Fragen im Bereich beruflicher Strahlenschutz, die mit anderen Datenquellen nur unzureichend geklärt werden können.

Thema

Untersuchungen zur Strahlenexposition der Augenlinse von beruflich strahlenexponiertem Personal

Subject

Studies on the radiation exposure of the eye lens of radiation-exposed workers

Kennzeichen	**Beginn**	**Ende**	**Fördermittel**
3613S40011	01.01.2014	30.06.2015	EUR 118.202,-

Forschungs- / Auftragnehmer
Karlsruher Institut für Technologie (KIT)

Projektleitung	**Fachbetreuung BfS**	**verantwortlich für den Text**
J. Strohmaier	L. Kammerer / AG-SG 2.4	J. Strohmaier, Chr. Naber, L. Kammerer

1. ZIELSETZUNG

In der europäischen Richtlinie 2013/59 Euratom DES RATES vom 5. Dezember 2013 wurde der Organ- Äquivalentdosisgrenzwert für die Augenlinse bei beruflicher Strahlenexposition von 150 mSv auf 20 mSv im Kalenderjahr herabgesetzt. Zum Schutz von beruflich strahlenexponiertem Personal und um adäquat auf die Absenkung des Grenzwertes für die Schutzgröße der Augenlinse reagieren zu können, ist es notwendig, über genügend Kenntnisse und fundierte Daten über die Höhe der Strahlenexposition der Augenlinse zu verfügen. Im Rahmen dieser Untersuchung sollte eine verbesserte Datenlage geschaffen sowie untersucht werden, für welche Berufsgruppen und welche Tätigkeiten eine höhere Strahlenexposition der Augenlinse auftreten kann und in welcher Größenordnung diese liegt.

2. EINZELZIELSETZUNG

Grundsätzlich war das Vorhaben in drei Arbeitspakete (AP) strukturiert.

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

Zunächst wurden wissenschaftliche Publikationen, die sich mit der Thematik Augenlinsendosimetrie befassen, zusammengetragen. Diese sollten katalogisiert und kategorisiert werden. Auch die bisher von amtlichen Messstellen ermittelten Dosiswerte für die Augenlinse wurden für dieses Vorhaben betrachtet und dienten als Grundlage für den bestehenden Kenntnisstand der Strahlenexposition unterschiedlicher Berufsgruppen. Anhand der Literaturrecherche und dem bestehenden Kenntnisstand wurden mindestens 8 Tätigkeiten identifiziert, bei denen potentiell eine höhere Strahlenexposition der Augenlinse und damit eine höhere Dosisbelastung zu erwarten war. Für diese identifizierten Tätigkeiten wurde eine realistische Abschätzung der Strahlenexposition der Augenlinse mittels einer Messkampagne durchgeführt.

Die Ermittlung der Augenlinsendosis erfolgte unter Berücksichtigung der SSK-Stellungnahme „Überwachung der Augenlinsendosis“ [*Strahlenschutzkommission: Überwachung der Augenlinsendosis. Stellungnahme der Strahlenschutzkommission mit wissenschaftlicher Begründung, Bundesanzeiger Nr. 17 vom 01.02.2011*] sowie neueren Erkenntnissen und Empfehlungen [*Behrens, Dietze: „Monitoring the Eye Lens: which dose quantity is adequate?“ Phys. Med. Biol. 55 4047-4062, 2010*]. Die geeignete Messgröße zur Ermittlung der Augenlinsendosis ist die Augenlinsen-Personendosis Hp(3) bzw. die Oberflächen-Personendosis Hp(0,07) in der Einheit Sv bzw. mSv. Dabei ist zu beachten, dass die Oberflächen-Personendosis nur in Photonen-Strahlenfeldern eine gute Abschätzung liefert und in Beta-Strahlenfeldern nicht geeignet ist.

2.2 EXPERIMENTELLE ERMITTLUNG DER AUGENLINSENDOSIS FÜR AUSGEWÄHLTE TÄTIGKEITEN (AP 2)

Zur Durchführung der experimentellen Ermittlung der Augenlinsendosis für die in Arbeitspaket 1 identifizierten Tätigkeiten konnten 5 Institutionen gewonnen werden. Dabei handelte es sich um 4 Kliniken und 1 Kernkraftwerk im Rückbau. Insgesamt nahmen 74 Personen an der Untersuchung teil. Zu den Teilnehmern zählten 26 Ärzte, 34 Assistenzärzte und medizinisches Personal und 14 Facharbeiter im Bereich Dekontaminationstätigkeiten.

Für die Untersuchung standen 21 unterschiedliche Arbeitsplätze in den Kliniken zur Verfügung. Die Arbeitsplätze im Kernkraftwerk wurden aus organisatorischen Gründen als ein Arbeitsplatz gewertet. Im Vorfeld der Untersuchung fanden Begehungen an diesen Arbeitsplätzen statt um sich einen Eindruck der Expositionsbedingungen wie auch zum baulichen Strahlenschutz machen zu können. Die in Arbeitspaket 1 identifizierten Personen erhielten Informationen und eine Einweisung zur Tragerichtung der Augenlinsendosimeter. Hierzu wurden Informationsschreiben und Protokollvorlagen zur Erhebung der Häufigkeit der Tätigkeiten sowie ein Plan für den Dosimeterwechsel erstellt.

Ziel der Messungen im Rahmen des zweiten Arbeitspaketes war es, einen möglichst repräsentativen Dosiswert für die Augenlinse über ein Kalenderjahr abschätzen sowie die Dosisrelevanz einzelner Tätigkeiten bestimmen bzw. verifizieren zu können. Im Rahmen der Dosisermittlung sollten persönliche, tätigkeitsbezogene sowie räumliche Einflüsse untersucht werden.

2.3 ERARBEITUNG VON EMPFEHLUNGEN ZUM SCHUTZ DER AUGENLINSE (AP 3)

Im Rahmen des Arbeitspaketes 3 sollte eine Entscheidungsmatrix erstellt werden, anhand der Risikokollektive innerhalb der beruflich strahlenexponierten Personen identifiziert werden konnten. Für Berufsgruppen und Tätigkeiten, die auf Grund der Ergebnisse dieser Untersuchung als besonders exponiert eingestuft werden können, sollten Empfehlungen zum Schutz der Augenlinse veröffentlicht werden.

3. METHODIK

Das Verfahren zur „Ermittlung der Augenlinsen-Personendosis“ basiert auf dem langjährig angewandten Verfahren der Teilkörperdosimetrie „Bestimmung der Oberflächen-Personendosis mittels Fingerringdosimeter“ und wurde durch Modifikation entsprechend angepasst. Das verwendete Augenlinsendosimeter wurde im Festkörperdosimetrielabor des KIT entwickelt und zur experimentellen Ermittlung der Augenlinsendosis für das Arbeitspaket 2 eingesetzt. Die Dosimeter bestehen aus einem Detektor, einer Filterkombination und einer Umhüllung, die einerseits zur Halterung aber auch gleichzeitig zum Schutz vor Kontaminationen jeglicher Art dient. Als Detektoren werden Thermolumineszenzdetektoren (TLD) eingesetzt, die je nach Einsatzbereich paarweise über den Augen oder einzeln an der Schläfe, angebracht an einem Stirnband, getragen werden können. Dabei ist die Ausrichtung der Dosimeter am Stirnband zur Strahleneinfallsrichtung möglich, um eine repräsentative Exposition zu gewährleisten. Neben der Optimierung des Dosimeters auf die Messgröße der Augenlinsen-Personendosis $H_p(3)$ zeichnet sich das Dosimeter durch eine in einem weiten Energiespektrum relativ konstante Energieabhängigkeit aus. Bei Energien kleiner 100 keV ist das Dosimeter konservativ ausgelegt. Besonders im medizinischen Bereich kann von einem niederenergetischen Spektrum ausgegangen werden, da hier vor allem die Streustrahlung durch den Patienten und die Einrichtung die Augenlinsenexposition ausmacht.

Bei der Entwicklung wurde neben der akkuraten Dosisermittlung auch großes Augenmerk auf die Praktikabilität gesetzt, um so eine hohe Teilnahmebereitschaft zu erreichen. Dabei spielt der Tragekomfort und damit die Größe des Dosimeters, das Gewicht und die Flexibilität in Bezug auf die Ausrichtung des Dosimeters zur Strahleneinfallsrichtung eine große Rolle sowie die Tatsache, dass die Teilnehmer durch das Dosimeter im Sichtfeld nicht behindert werden und das Dosimeter auch von Brillenträgern ohne Einschränkungen getragen werden kann. Neben der Befestigung am Stirnband kann das Dosimeter an einer Klammer befestigt an herkömmlichen Brillen oder Bleiglasbrillen getragen werden, um so die Abschirmung durch die Brille zu berücksichtigen.

Die Kalibrierung der Dosimeter erfolgte im akkreditierten Kalibrierlabor des KIT. Dabei wurden die Dosimeter am ISO-Quaderphantom in der Messgröße $H_p(3)$ mit einer definierten Dosis bestrahlt und anschließend ausgewertet. Für jeden Detektor wurde ein individuelles Ansprechvermögen berücksichtigt.

Die Auswertung der Detektoren erfolgte im Festkörperdosimetrielabor des KIT. Hierzu wurde ein bewährtes Verfahren angewendet, bei dem die Detektoren mit einer Heizrate von 10 °C/s erhitzt werden und das dabei ausgesandte Licht, welches proportional zu der im Detektor absorbierten Energie durch ionisierende Strahlung ist, zeit- bzw. temperaturaufgelöst gemessen, als sogenannte Glowkurve dargestellt und digitalisiert abgespeichert wird.

4. DURCHFÜHRUNG

4.1 MESSKONZEPT

Zur Ermittlung der Augenlinsendosis war ein mehrstufiges Messkonzept vorgesehen.

In der ersten Phase wurden wöchentlich personenbezogene Dosimeter ausgegeben, die von den Teilnehmern über die gesamte Woche bei sämtlichen durchgeführten Tätigkeiten getragen wurden. Dies war sinnvoll, um erste Erfahrungen bezüglich einer sinnvollen Mindestexposition der Dosimeter zu machen. Der Aufwand für die Teilnehmer war dabei vergleichsweise gering, was die Akzeptanz der Messkampagne steigerte. Zudem wurde in der ersten Phase eine möglichst realistische Abschätzung einer mittleren monatlichen Teilkörperexposition der Augenlinse erhoben. Insgesamt erfolgten die Messungen über mindestens vier Wochen in dieser Phase.

In Phase 2 wurden pro Institution mehrere Personen ausgewählt (abhängig von den Ergebnissen aus Phase 1). Diesen Personen wurde für jede Art von Tätigkeit ein zugeordnetes und entsprechend beschriftetes Dosimeter ausgehändigt. D. h., wenn ein Arzt beispielsweise sowohl Perkutane Transluminale Angioplastien (PTA) als auch Embolisationen durchführte, bekam er für jede Tätigkeit ein eigenes Dosimeter. Der Überwachungszeitraum belief sich in dieser Phase ebenfalls auf eine Woche über insgesamt mindestens 4 Wochen. In Phase 3 sollte (abhängig von den Ergebnissen aus Phase 2) pro Person eine Tätigkeit ausgewählt werden, die an unterschiedlichen Arbeitsplätzen durchgeführt wurde. Pro Arbeitsplatz wurde ein Dosimeter ausgegeben. D. h., wenn ein Arzt eine Tätigkeit in verschiedenen Operationsräumen (OP) durchführt, bekam er für jeden OP ein eigenes Dosimeter. Im Verlauf der ersten Phasen zeigte sich jedoch, dass sich der Einfluss des Arbeitsplatzes nicht einzeln betrachten ließ, da beispielsweise der Einfluss des Patienten als Streukörper deutlich höher war als der des Arbeitsplatzes. Da der Patient und der Eingriff an unterschiedlichen Arbeitsplätzen nie identisch sein konnten, wurde beschlossen, die zweite Phase anstatt der ursprünglich geplanten vier Wochen für acht Wochen durchzuführen.

Da sich die Expositionsbedingungen im kerntechnischen zum medizinischen Bereich stark unterscheiden, wurden für diese Bereiche individuelle Messkonzepte geplant und entwickelt. Auf Grund der sehr niedrigen Dosen, die im kerntechnischen Bereich zu erwarten waren, wurde die zunächst geplante Überwachungszeit von 7 Tagen über insgesamt 10 Wochen auf 14 Tage über insgesamt 20 Wochen verlängert. Im Vorfeld der Messkampagne erwies sich die Suche nach geeigneten Teilnehmern in diesem Bereich als schwierig. Da die dosisrelevanten Tätigkeiten in der Regel von Fremdfirmenpersonal durchgeführt wurden, war der organisatorische und administrative Aufwand höher als im medizinischen Bereich. Auch die zugunsten der Messergebnisse verlängerte doppelte Überwachungszeit führte zu einer Verzögerung der Messkampagne.

5. ERGEBNISSE

Für die Literaturrecherche in Arbeitspaket 1 wurden über 167 wissenschaftliche Paper und Veröffentlichungen zusammengetragen, die sich mit der Thematik Augenlinsendosis befassen und bis September 2016 publiziert wurden. Als Grundlage wurden die Veröffentlichungen des FP 7 Projekts ORAMED (Optimization of Radiation Protection of Medical Staff) herangezogen. Die zusammengetragenen Fachartikel liegen als PDF-Dateien vor und sind in der Excel-Datei Literaturkatalog.xls katalogisiert. Der Literaturkatalog bietet eine übersichtliche Darstellung und ermöglicht eine schnelle Suche der 167 Fachartikel nach Autor, Titel, Journal oder auch nach der Thematik. Des Weiteren können alle frei zugänglichen Publikationen direkt über den Literaturkatalog geöffnet werden.

Alle Fachartikel wurden thematisch kategorisiert. So lassen sich über eine einfache Filterfunktion schnell alle Publikationen zu einem bestimmten Thema anzeigen. Die Kategorien sind unterteilt in die Themen Kalibrierung, Medizinischer Bereich, Medizin/Korrelation zu Patientendosen, Empfehlungen zur Überwachung, Grenzwerte für die Augenlinse, Retrospektive Dosimetrie, Abschirmung, Konversionskoeffizienten, Simulation und Review.

Auf Grundlage der Literaturrecherche wurden Tätigkeiten identifiziert, die bei den Teilnehmern im Rahmen des Arbeitspaketes 2 dosimetrisch überwacht wurden. Diese sind in Tabelle 1 aufgeführt.

Tabelle 1: Tabellarische Auflistung der Tätigkeiten, die mit der Messkampagne untersucht wurden

Bereich	**Tätigkeiten**	**Abkürzung**	**Beschreibung**	
interventionelle Radiologie / Kardiologie	Implantation von Herzschrittmachern, implantierbare Defibrillatoren	PM/ICD		
	transjugulärer intrahepatischer portosystemischer Shunt	TIPS	künstliche Verbindung zwischen Pfortader und Lebervene	
	Embolisation	EMB	künstlicher Verschluss von Blutgefäßen	
	perkutane transluminale Angioplastie	PTA	Verengung oder Verschließung von Blutgefäßen	
	perkutane transluminale koronare Angioplastie	PTCA	Aufweitung von Herzkranzgefäßen	
	Angiographie	ANG	Darstellung von Gefäßen	
	Koronarangiographie	CA	Darstellung der Herzkranzgefäße	
	Gallengangeingriffe	Galle		
Bereich	**Tätigkeiten**	**Abkürzung**	**Nuklid**	**$E_{\beta,Max\ in\ MeV}$**
Nuklearmedizin	selektive interne Radiotherapie	SIRT	Y-90	2,3
	Radiosynoviorthese	RSO	Re-186	1,1
			Y-90	2,3
	Präparation Positronen-Emissions-Tomographie	PET	F-18	E_γ = 511 keV
			Ga-68	E_γ = 511 keV
Bereich	**Tätigkeiten**	**Abkürzung**		
kerntechnische Anlagen	Reinigungs- und Raumdekontaminationsarbeiten	DECONT		

Die Messergebnisse und Hochrechnungen der Augenlinsendosis auf Jahreswerte aus Arbeitspaket 2 zeigen, dass im kerntechnischen Bereich nicht mit Grenzwertüberschreitungen zu rechnen ist. Ebenfalls konnte hier eine relativ gute Korrelation zwischen den Messwerten der Augenlinsendosis und den Werten des aktiven Ganzkörperdosimeters aus der betrieblichen Dosimetrie festgestellt werden.

Im medizinischen Bereich dagegen zeigte die Hochrechnung auf eine jährliche Dosis, dass bei einem Drittel der Teilnehmern Dosiswerte größer 20 mSv zu erwarten sind. Die kumulierten Monatswerte aus der Übersichtsmessung in der ersten Phase zeigt die Verteilung in Abbildung 1. Der maximal gemessene Wert lag kumuliert für einen Teilnehmer bei 8,52 mSv/Monat bei einem Median von 0,20 mSv/Monat.

Die in Phase 2 ermittelte tätigkeitsspezifische Dosisverteilung ist als Boxplot-Diagramm in Abbildung 2 dargestellt. Jede Box stellt folgende statistischen Werte dar: Die unteren und oberen Grenzen der Box markieren das 1. und das 3. Quantil, die horizontale Linie in der Box entspricht dem Median, die Antennen unter- bzw. oberhalb der Box dem Minimal- bzw. Maximalwert, da auch die Ausreißer mit höherer Dosis berücksichtigt werden sollten. Der maximal ermittelte Dosiswert lag bei 1,12 mSv/Prozedur bei der Durchführung einer Embolisation. Der Median der tätigkeitsspezifischen Dosisverteilung liegt bei 0,03 mSv/Prozedur.

Im Rahmen der Auswertung konnte weder eine Korrelation zwischen den ermittelten Augenlinsendosen und der Anzahl der Interventionen noch zwischen den Augenlinsendosen und dem Dosis-Flächen-Produkt (DFP) hergestellt werden (siehe Abbildung 3). Die Ergebnisse dieser Untersuchung haben gezeigt, dass sehr viele Parameter Einfluss auf die Augenlinsendosis haben, die sich im Vorfeld nur sehr schwer abschätzen lassen, und somit eine monatliche Überwachung der Augenlinsendosis zu empfehlen ist.

Bei der Vor-Ort-Begehung der Arbeitsplätze wurde festgestellt, dass in den Kliniken ausreichend persönliche Schutzausrüstung (PSA) in Form von Bleiglasbrillen vorhanden war. Diese wurden nach eigener Aussage von den Teilnehmern nicht getragen. Dies sollte zukünftig in den Bereichen der interventionellen Radiologie und der Kardiologie zwingend optimiert werden. Ein in der Strahlenschutzbrille integriertes Dosimetriesystem wäre hier wünschenswert. Weiter sollte eine Sensibilisierung bezüglich der Verwendung von PSA und weiteren Strahlenschutzvorrichtungen in regelmäßigen Strahlenschutzunterweisungen erzeugt werden. Generell ist eine Definition der Leistungsmerkmale für $H_p(3)$-Dosimeter in einer entsprechenden Norm notwendig.

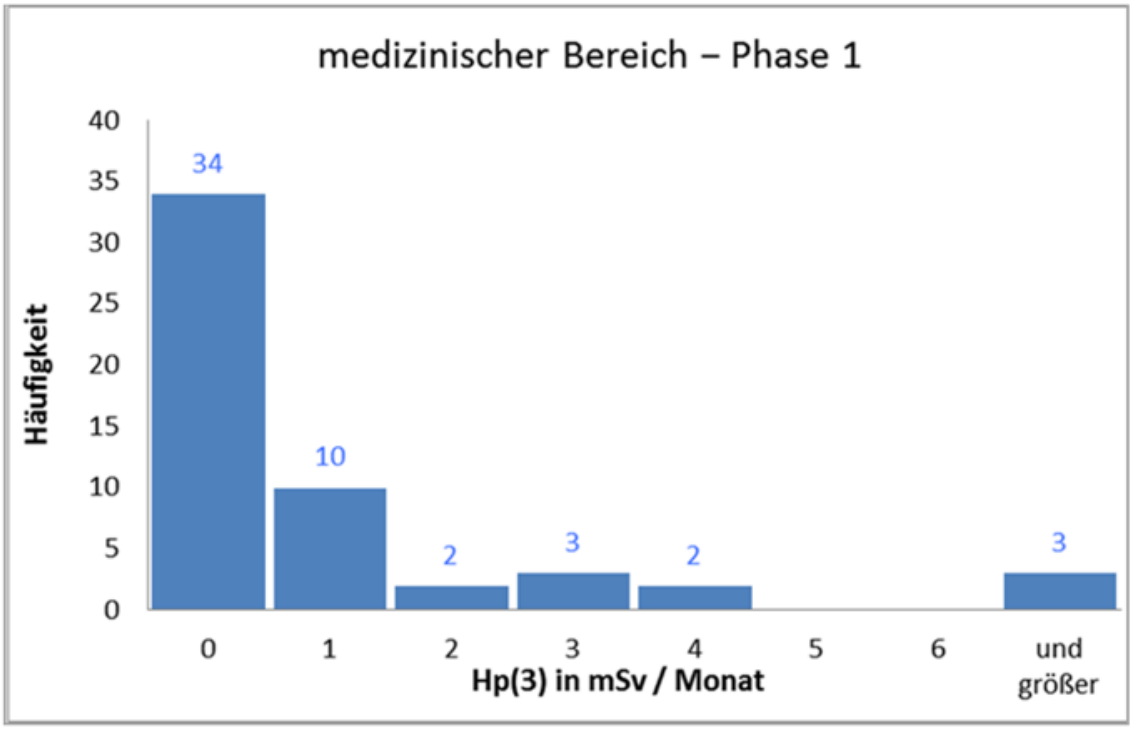


Abbildung 1: Häufigkeitsverteilung der kumulierten Wochenwerte über alle Tätigkeiten in Phase 1 der experimentellen Untersuchung

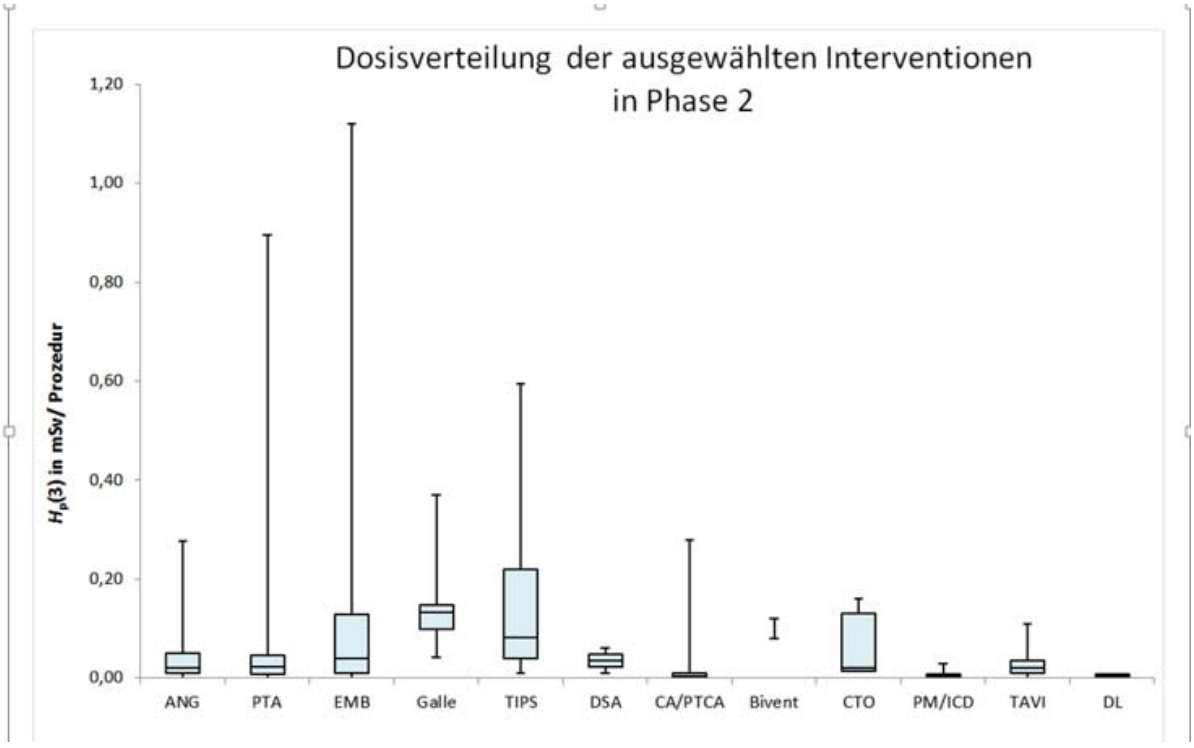


Abbildung 2: Boxplot-Diagramm der Dosisverteilung als $H_p(3)$ in mSv pro Prozedur in Abhängigkeit ausgewählter Tätigkeiten

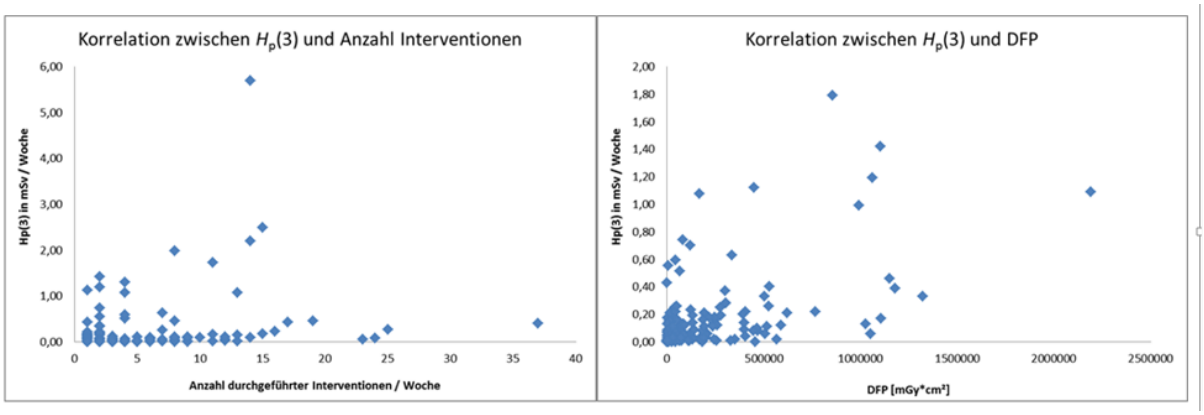


Abbildung 3: Korrelation zwischen der ermittelten Dosis und Anzahl der Interventionen bzw. DFP

6. UMSETZUNG DER ERGEBNISSE

Durch die Absenkung des Jahresgrenzwertes für die Augenlinse von 150 mSv auf 20 mSv gewinnt die Dosimetrie des Auges zunehmend an Bedeutung. Im Rahmen des Vorhabens werden neben der Ermittlung von typischen Dosiswerten bei ausgewählten Tätigkeiten, für die bisher kaum Informationen vorlagen, konkrete Maßnahmen für den operativen Strahlenschutz empfohlen.

Thema

Überarbeitung der Strahlenschutzverordnung bezüglich der Regelungen zur Freigabe künstlicher radioaktiver Stoffe zur Umsetzung der neuen Euratom-Grundnormen in deutsches Recht - Konzept zur Umsetzung

Subject

Revision of the radiation protection ordinance with respect to clearance of material with artificial contamination for the transposition of the new Euratom Basic Safety Standards into German legislation - concept for implementation

Kennzeichen	**Beginn**	**Ende**	**Fördermittel**
3614R03520	01.09.2014	31.08.2016	EUR 128.782,-

Forschungs- / Auftragnehmer
Brenk Systemplanung GmbH, Aachen

Projektleitung	**Fachbetreuung BfS**	**verantwortlich für den Text**
Dr. S. Thierfeldt	Dr. R. Merk / SW 1.6	Dr. S. Thierfeldt, Dr. R. Kunz

1. ZIELSETZUNG

Bedingt durch die im Dezember 2013 erfolgte Verabschiedung der neuen europäischen Grundnormen im Strahlenschutz (Euratom-Grundnormen, Richtlinie 2013/59/Euratom des Rates vom 5. Dezember 2013) wird sich in Deutschland eine Neustrukturierung des Strahlenschutzrechts ergeben. Die Thematik ist insofern besonders in Deutschland von Bedeutung, als sie zeitlich mit dem Ausstieg aus der Nutzung der Kernenergie zusammenfällt. Der Rückbau kerntechnischer Anlagen wird auch zu großen Mengen potenziell freigebbaren Materials führen. In den Euratom-Grundnormen ist für die Freigrenzen und die uneingeschränkte Freigabe ein gemeinsamer Wertesatz vorgesehen. Die Zahlenwerte basieren auf den Empfehlungen SR 44 (Safety Reports Series No. 44) und RS-G-1.7 (Safety Guide No. RS-G-1.7) der IAEA.

Deutschland hat mit den derzeitigen Regelungen in § 29 i. V. m. Anl. III und IV StrlSchV sehr detaillierte Regelungen zur zweckgerichteten Freigabe. Die Euratom-Grundnormen sehen neben den konkreten Regelungen für die uneingeschränkte Freigabe auch die Beibehaltung der zweckgerichteten Freigabe in den Mitgliedsstaaten vor. Dieses Forschungsvorhaben (FV) untersuchte, ob die in Deutschland vorhandenen Regelungen zur zweckgerichteten Freigabe kompatibel sind mit den Vorgaben der Euratom-Grundnormen.

2. EINZELZIELSETZUNG

2.1 PRÜFUNG DER FREIGABEWERTE DER ANL. III TAB. 1 SP. 10A STRLSCHV

In diesem Punkt wurde geprüft, ob die bei der Freigabe von Metall zum Einschmelzen entstehenden Stoffe (Produktmetall sowie die Nebenprodukte Schlacke und Staub) in der in Abschnitt 1 beschriebenen Weise kompatibel zu den neuen Freigrenzen der Euratom-Grundnormen sind. Sofern Konflikte identifiziert wurden, wurden diese benannt und es wurde untersucht, wie Kompatibilität wiederhergestellt werden kann.

2.2 WERTE ZUR UNEINGESCHRÄNKTEN FREIGABE VON BAUSCHUTT, BODENAUSHUB, BODENFLÄCHEN UND GEBÄUDEN

In diesem Punkt erfolgte eine analoge Prüfung zu Punkt 2.1 bezüglich der Kompatibilität der Materialien aus der Freigabe von Bauschutt und Bodenaushub unter Anwendung der Freigabewerte (FGW) nach Anl. III Tab. 1 Sp. 6 StrlSchV, der Freigabe von Bodenflächen unter Anwendung der Freigabewerte nach Anl. III Tab. 1 Sp. 7 StrlSchV und des Bauschutts, der aus dem Abriss von Gebäuden anfällt, die unter Anwendung der FGW nach Anl. III Tab. 1 Sp. 10 StrlSchV freigegeben wurden.

2.3 FREIGABE VON FLÜSSIGKEITEN

Gegenstand dieses letzten Punkts war zunächst die Prüfung der Möglichkeit zur Entwicklung abdeckender Szenarien zur Freigabe von Flüssigkeiten (im Unterschied zu Ableitungen nach § 44 StrlSchV). Im Unterschied zu den bestehenden Freigaberegelungen gem. § 29 Abs. 2 StrlSchV für nicht-wässrige Flüssigkeiten sollten auch Flüssigkeiten auf Wasserbasis (wie z. B. verdünnte Säuren oder Laugen) betrachtet werden, da

es hierbei zu Aufkonzentrationen kommen kann. Sofern es gelang, abdeckende Szenarien für solche Flüssigkeiten zu erstellen, erfolgte anschließend ein Vergleich von auf dieser Basis neu entwickelten abdeckenden FGW mit den neuen Freigrenzen der Euratom-Grundnormen.

3. METHODIK

3.1 PRÜFUNG DER FREIGABEWERTE DER ANL. III TAB. 1 SP. 10A STRLSCHV

Zur Berechnung wird zunächst untersucht, für welche Radionuklide und unter welchen Bedingungen es bei Anwendung der FGW in Anl. III Tab. 1 Sp. 10a StrlSchV und sämtlicher in Anl. IV Teile A und G StrlSchV formulierten Randbedingungen zu einer Überschreitung der neuen Freigrenzen der Euratom-Grundnormen im Schmelzgut (Produkt) kommen kann. Hierbei wird in mehreren Stufen vorgegangen:

- Die FGW nach Sp. 10a werden direkt mit den neuen Freigrenzen für jedes Nuklid verglichen.
- Für die verbleibenden Nuklide wird der Vermischungsfaktor 1:10 nach Anl. IV Teil G Nr. 3 StrlSchV berücksichtigt.
- Für die verbleibenden Nuklide wird untersucht, ob ihre Aktivität als Bestandteil von Nuklidvektoren für die massenmäßig bedeutsamen Stoffströme der Freigabe aus Kernkraftwerken durch die Aktivität von Schlüsselnukliden begrenzt ist (Bsp.: Ni-63 kann seinen hohen Freigabewert nie ausschöpfen, da es mit Co-60 korreliert ist).
- Für dieselben Nuklide erfolgt bei Herkunft aus nach § 7 StrlSchV genehmigtem Umgang eine Untersuchung der maximal vorliegenden Massen und ein Vergleich mit den Grundannahmen des radiologischen Modells für die Exposition und der Ausschöpfung des Dosisrichtwerts 10 µSv/a.
- Für die immer noch verbleibenden Nuklide wird untersucht, welche Konservativitäten durch die Messverfahren gem. DIN 25457 Teile 1 und 4 entstehen. Derartige Konservativitäten führen dazu, dass der nominelle Ausschöpfungsgrad der FGW durch die real vorhandene Aktivität zwangsläufig deutlich unterschritten wird. Ist der sich ergebende Wert der real höchstens vorhandenen Aktivität niedriger als die Freigrenze, besteht für das betreffende Nuklid kein Konflikt.

Nach Durchlaufen dieses mehrstufigen Verfahrens kann entschieden werden, ob Nuklide existieren, für die ein Konflikt mit den neuen Freigrenzen auftreten könnte.

3.2 WERTE ZUR UNEINGESCHRÄNKTEN FREIGABE VON BAUSCHUTT, BODENFLÄCHEN UND GEBÄUDEN

Für Bauschutt und Bodenaushub sowie Bodenflächen gem. Punkt 2.2 erfolgt eine analoge Untersuchung, wie sie für Metallschrott in Punkt 3.1 dargestellt wurde, unter Einbeziehung der jeweiligen Randbedingungen nach Anl. IV Teile A, F bzw. E StrlSchV.

Auch für Gebäude zum Abriss bzw. für daraus hervorgehenden Bauschutt erfolgt eine analoge Untersuchung unter Einbeziehung der jeweiligen Randbedingungen nach Anl. IV Teil D und Umrechnung von flächenbezogen angegebenen FGW in massenbezogene Werte analog zur Formel in Anl. IV Teil E Nr. 5, so dass ein Vergleich der Werte überhaupt möglich ist.

3.3 FREIGABE VON FLÜSSIGKEITEN

Die Aufstellung abdeckender Szenarien für (alle Arten von) Flüssigkeiten erfolgt analog zur Vorgehensweise in RP 65, RP 122 Teil 1 oder SR 44, indem versucht wird, einige wenige abdeckende Szenarien zu finden, die alle Expositionsmöglichkeiten abdeckend beschreiben. Hierbei werden auch Aufkonzentrationen und Filtrationen berücksichtigt. Sofern ein solcher Szenariensatz erstellt werden kann, werden FGW auf Basis eines Richtwerts von 10 µSv/a für die effektive Individualdosis in gleicher Weise wie in den genannten Untersuchungen berechnet.

4. DURCHFÜHRUNG

4.1 PRÜFUNG DER FREIGABEWERTE DER ANL. III TAB. 1 SP. 10A STRLSCHV

Die Prüfung für den Satz der FGW der Anl. III Tab. 1 Sp. 10a StrlSchV zur Metallrezyklierung wurde durchgeführt. Hierbei wurde der - ggf. bei Aufgabenstellung und in der Anfangsphase des Vorhabens nicht ausrei-

chend gewürdigte - Umstand berücksichtigt, dass SR 44 sowie RS-G-1.7 und somit auch die neuen Euratom-Grundnormen nicht davon ausgehen, dass die Nebenprodukte Schlacke und Staub aus dem Einschmelzvorgang die berechneten Freigrenzen unterschreiten. Vielmehr wird hierbei das jeweils individuelle Aufkonzentrationsverhalten aller Radionuklide in beiden Stoffen durch Auswertung der Massenanteile im Schmelzprozess sowie der Partitionierungsfaktoren in vollem Umfang berücksichtigt und in die Modellierung bezüglich des Dosisrichtwerts 10 µSv/a einbezogen. Es ist somit aus den Szenarien in SR 44 sowie RS-G-1.7 intrinsischen Gründen nicht möglich zu zeigen, dass für alle Radionuklide die Aktivität in Schlacken und Stäuben die neuen Freigrenzen der Euratom-Grundnormen unterschreiten.

4.2 WERTE ZUR UNEINGESCHRÄNKTEN FREIGABE VON BAUSCHUTT, BODENFLÄCHEN UND GEBÄUDEN

Die Betrachtung und Modellierung der FGW für Bauschutt wurde unter Anwendung der in Punkt 3.2 genannten Methodik durchgeführt und abgeschlossen. Wegen der Gleichartigkeit der radiologischen Modelle erfolgte die Gruppierung der Arbeiten dabei wie folgt:

- Behandlung der uneingeschränkten Freigabe von Bauschutt und Bodenaushub sowie von Gebäuden gemeinsam mit der Freigabe von Gebäuden zum Abriss
- Behandlung der Freigabe von Bodenflächen separat.

Beide Gruppen von Freigaben wurden in einem gemeinsamen Bericht behandelt. Die Vorgehensweise zur Bewertung erfolgte jeweils in einem mehrstufigen Prozess:

- Bauschutt und Gebäude: Zunächst wurden FGW für Radionuklide, für die in den Spalten 6, 8 und 10 keine FGW vorliegen, die aber für diese Freigabeoptionen relevant sind, anhand der identischen Szenarien ergänzt, die auch für die generische Berechnung verwendet wurden. Im nächsten Schritt wurden die Wertesätze der genannten FGW mit den neuen Freigrenzen unmittelbar verglichen. Geeignete Abklingzeiten wurden berücksichtigt. In einem weiteren Schritt wurden für diejenigen Radionuklide, für die nicht bereits im vorherigen Schritt Kompatibilität gezeigt werden konnte, berücksichtigt, dass diese nur in bestimmten maximalen Anteilen in Nuklidvektoren auftreten können oder aber in nur geringen Mengen vorliegen.
- Bodenflächen: Die Vorgehensweise bestand analog derjenigen bei Bauschutt und Gebäuden aus der Ergänzung fehlender FGW, gefolgt vom unmittelbaren Vergleich der Wertesätze und der Berücksichtigung weiterer Randbedingungen für diejenigen Radionuklide, für die nicht unmittelbar Kompatibilität gezeigt werden konnte.

4.3 FREIGABE VON FLÜSSIGKEITEN

Für wässrige Flüssigkeiten sowie Öle und organische Flüssigkeiten wurden alle bisher in Deutschland und seitens der IAEA vorliegenden radiologischen Modellierungen ausgewertet. Hierauf aufbauend wurden Szenarien für wässrige Flüssigkeiten erstellt, die eine Aufkonzentration ausschließen (Verregnen auf Grün- oder sonstigen Freiflächen, Abgabe in Vorfluter). Diese Szenarien kommen einer uneingeschränkten Freigabe wässriger Flüssigkeiten so nahe wie irgend möglich.

5. ERGEBNISSE

5.1 PRÜFUNG DER FREIGABEWERTE DER ANL. III TAB. 1 SP. 10A STRLSCHV

In dem in Punkt 3.1 genannten mehrstufigen Verfahren konnte dargestellt werden, dass für kein Radionuklid bei Freigabe unter Anwendung der FGW nach Anl. III Tab. 1 Sp. 10a StrlSchV ein Konflikt mit den neuen Freigrenzen nach Anh. VII Tab. A der Euratom-Grundnormen besteht. Es sind daher aus radiologischer Sicht weder Anpassungen der FGW der Sp. 10a noch der Randbedingungen in Anl. IV Teil G notwendig.

5.2 WERTE ZUR UNEINGESCHRÄNKTEN FREIGABE VON BAUSCHUTT, BODENFLÄCHEN UND GEBÄUDEN

In dem in Punkt 3.2 genannten mehrstufigen Verfahren konnte dargestellt werden, dass für kein Radionuklid bei Freigabe unter Anwendung der FGW nach Anl. III Tab. 1 Sp. 6, 7, 8 und 10 StrlSchV für Bauschutt, Bodenflächen und Gebäuden (zur Folgenutzung bzw. zum Abriss) ein Konflikt mit den neuen Freigrenzen nach

Anh. VII Tab. A der Euratom-Grundnormen besteht. Eine Einschränkung bei der Anwendung der genannten Freigabewerte ist daher auch zukünftig aus radiologischer Sicht nicht erforderlich.

5.3 FREIGABE VON FLÜSSIGKEITEN

Die radiologische Modellierung für wässrige Flüssigkeiten (Wasser) ergibt, dass die Werte nach Anl. VII Tab. 4 Sp. 3 StrlSchV als Freigabewerte geeignet sind, wenn das Wasser zur Verregnung auf Grünflächen oder vergleichbaren Zwecken bzw. zur Ableitung in die Kanalisation oder eine Kläranlage freigegeben wird und die Gesamtmenge nicht mehr als 100 m^3 pro Jahr beträgt. Auf diese Weise wird die Möglichkeit einer späteren Aufkonzentration wirksam ausgeschlossen. Die Freigabe ist in dieser Hinsicht als „uneingeschränkt“ zu bezeichnen.

Für Öle und organische Flüssigkeiten erweisen sich die bestehenden Festlegungen für die uneingeschränkte Freigabe (Anl. III Tab. 1 Sp. 5 StrlSchV bzw. zukünftig Anh. VII Tab. A Teil 1 der EU-Grundnormen) weiterhin als geeignet.

6. UMSETZUNG DER ERGEBNISSE

Die Ergebnisse des Forschungsvorhabens sind von direkter Bedeutung für die Umsetzung der Euratom-Grundnormen in deutsches Recht, welche gegenwärtig durch das Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit (BMUB) ausgeführt wird. Die Resultate liegen den entsprechenden Fachreferaten des BMUB vor bzw. wurden in kommentierter Form durch die BfS-Fachbegleitung den Fachreferaten vorgeführt und diskutiert. Die Vorhabensberichte geben, wie bei Ressortforschungsvorhaben allgemein üblich, die Auffassungen und Meinungen des Auftragnehmers wieder, jedoch haben umfangreiche Stichproben von Einzelergebnissen durch die Fachbegleitung stattgefunden. Auf diese Weise war neben der eigentlichen Fachbegleitung und Fachdiskussion eine weitere Stufe der Qualitätssicherung gegeben. Die Ergebnisse und Empfehlungen konnten vielfach bereits mit Erfahrungen aus der Vollzugspraxis abgeglichen werden. Die Resultate des Vorhabens werden auf Jahre hinaus eine wertvolle und anderweitig nur unter hohem Aufwand zusammentragbare Informationsquelle darstellen, die über die Berichtsveröffentlichung somit auch der Öffentlichkeit zur Verfügung stehen wird.

Thema

Überarbeitung der Strahlenschutzverordnung bezüglich der Freigrenzen von radioaktiven Stoffen zur Umsetzung der neuen Euratom-Grundnormen in deutsches Recht

Subject

Revision of the radiation protection ordinance with respect to the exemption values for radioactive substances for the transposition of the new Euratom Basic Safety Standards into German legislation

Kennzeichen	**Beginn**	**Ende**	**Fördermittel**
3614S70051	01.08.2014	28.02.2016	EUR 220.174,-

Forschungs- / Auftragnehmer
Brenk Systemplanung GmbH, Aachen

Projektleitung	**Fachbetreuung BfS**	**verantwortlich für den Text**
Dr. S. Thierfeldt	Dr. R. Merk / SW 1.6	Dr. S. Thierfeldt, Dr. R. Kunz

1. ZIELSETZUNG

Auf Grund der im Dezember 2013 erfolgten Verabschiedung der neuen europäischen Grundnormen im Strahlenschutz (Euratom-Grundnormen) wird sich in Deutschland eine Neustrukturierung des Strahlenschutzrechts ergeben. In den Euratom-Grundnormen ist für die Freigrenzen und die Freigabewerte ein gemeinsamer Wertesatz vorgesehen, der auf den Empfehlungen Safety Guide RS-G-1.7 und Safety Report 44 (SR 44) der IAEA basiert. Für Radionuklide, für die in den Euratom-Grundnormen keine Freigrenzen bereitgestellt werden, sollten im Rahmen des vorliegenden Forschungsvorhabens (FV) solche in der gleichen Weise wie SR 44 der IAEA abgeleitet werden.

2. EINZELZIELSETZUNG

2.1 BERECHNUNG NEUER FREIGRENZEN UND VERGLEICH

Da die Berechnung von Freigrenzen in SR 44 nur für solche Radionuklide erfolgte, für die auch in den gegenwärtigen Grundnormen der IAEA Freigrenzen existieren (im Wesentlichen der Satz von Freigrenzen der Empfehlung RP 65 der Europäischen Kommission), enthalten die neuen Euratom-Grundnormen ebenfalls nur Freigrenzen bzw. Freigabewerte für ca. 250 Radionuklide. Dieses FV erweitert den Satz von Freigrenzen bzw. Freigabewerten auf die vollständige Liste der Anl. III Tab. 1 StrlSchV (ca. 800 Radionuklide).

2.2 UNTERSUCHUNG VON FACHLICHEN RANDBEDINGUNGEN

Zu den fachlichen Randbedingungen gehört die Rolle der natürlich vorkommenden Radionuklide, die in SR 44 und RS-G-1.7 nur pauschal mit nicht auf Szenarien basierten Freigrenzen/Freigabewerten von 10 Bq/g bzw. 1 Bq/g aufgeführt sind, die Betrachtung des zweiten Szenariensatzes, der sog. „Low-probability"-Szenarien in SR 44, die Untersuchung der Behandlung verschiedener Stoffsorten, insbesondere flüssiger Abfälle, in den Szenarien, und die Behandlung der Tochternuklide bei der Berechnung der Freigrenzen/Freigabewerte.

2.3 ANALYSE DER KONSEQUENZEN EINER ANWENDUNG NEUER FREIGRENZEN

Die Analyse der Konsequenzen einer Anwendung neuer Freigrenzen bezog sich insbesondere auf die Bewertung der Auswirkungen des neuen Satzes von Freigrenzen der Euratom-Grundnormen auf die Vollzugspraxis, d. h. wie sich der bisherige operationelle oder administrative Aufwand im Bereich der Industrie sowie der Medizin und Forschung darstellt und mit welchem Aufwand künftig zu rechnen wäre. Des Weiteren bezog sich diese Analyse auf den Umgang mit Funden radioaktiver Stoffe im Sinne von § 71 StrlSchV.

2.4 PRÜFUNG DER DEN BISHERIGEN WERTEN ZUGRUNDE LIEGENDEN SZENARIEN

In diesem Rahmen wurde die chronologische und fachliche Entwicklung der bisherigen Expositionsszenarien zu Freigrenzen und zur uneingeschränkten Freigabe zusammengetragen und erläutert. Analog wurde die parallel verlaufende Entwicklung der rechtlichen Situation in Deutschland zusammengetragen. Die Expositionsszenarien in diesem Zusammenhang wurden mit denjenigen aus den SR 44 und RP 65 verglichen und es

wurden evtl. Inkonsistenzen herausgearbeitet. In diesem Fall wurde geprüft, ob durch die Umsetzung der Euratom-Grundnormen Abhilfe geschaffen werden kann oder ob weitere Ergänzungen zu den Regelungen der EU-Grundnormen im neuen Strahlenschutzrecht erforderlich wären.

3. METHODIK

3.1 BERECHNUNG NEUER FREIGRENZEN UND VERGLEICH

Die Berechnung des vollständigen Satzes von Freigrenzen erfolgt zur Sicherstellung der Kontinuität der Werte mit exakt denselben Szenarien, Parameterwerten und Randbedingungen, die auch in SR 44 angewendet wurden.

3.2 UNTERSUCHUNG VON FACHLICHEN RANDBEDINGUNGEN

Die in 2.2 genannten fachlichen Randbedingungen wurden z. T. durch Vergleich von Szenarien und Parametern für die beiden Sätze von Szenarien, z. T. durch Untersuchung von erweiternden Szenarien, für weitere Stoffsorten untersucht. Für die Diskussion des Begriffs „moderate quantities“ erfolgte eine Sichtung aller vorliegenden Primärliteratur sowie die Analyse der den betreffenden Szenarien zugrunde liegenden Annahmen (Parameter).

3.3 ANALYSE DER KONSEQUENZEN EINER ANWENDUNG NEUER FREIGRENZEN

Zur Analyse der Konsequenzen einer Anwendung neuer Freigrenzen erfolgte die Abfrage der Auswirkungen der in 2.3 genannten Änderungen in verschiedenen Bereichen, in denen genehmigter Umgang mit Radionukliden erfolgt bzw. in denen eine Freistellung von einer solchen Genehmigung erfolgte. Insbesondere wurde erfragt, ob sich die Notwendigkeit der Genehmigung bzw. die Freistellung auf Grund massenbezogener Freigrenzen oder der Freigrenzen für die Gesamtaktivität ergibt. Daneben wurden die typischen Funde radioaktiver Stoffe im Sinne von § 71 StrlSchV analysiert und der Aktivitätsgehalt von Gegenständen des täglichen Bedarfs im Hinblick auf evtl. Überschreitungen der neuen Freigrenzen der Euratom-Grundnormen untersucht.

3.4 PRÜFUNG DER DEN BISHERIGEN WERTEN ZU GRUNDE LIEGENDEN SZENARIEN

Zu diesem Punkt erfolgten im Wesentlichen eine Durchsicht aller Szenarien und ein Vergleich der Parameterwerte, jeweils unter Berücksichtigung des Geltungsbereichs.

4. DURCHFÜHRUNG

4.1 BERECHNUNG NEUER FREIGRENZEN UND VERGLEICH

Ein vollständiger Satz von Freigrenzen/Freigabewerten liegt für alle ca. 800 Nuklide vor. Für sehr kurzlebige Radionuklide (Halbwertszeit im Bereich von Tagen und kürzer) wurde formal die Berechnung analog zu den Radionukliden mit längeren Halbwertszeiten durchgeführt. Da sich auf Grund der Annahmen zum radioaktiven Zerfall vor Beginn des jeweiligen Szenarios und während dessen Dauer allerdings für sehr kurzlebige Radionuklide keine sinnvollen Berechnungsergebnisse erzielen lassen, wurde in diesem Fall empfohlen, die bisherigen massenbezogenen Freigrenzen (Anl. III Tab. 1 Sp. 3 StrlSchV) anzuwenden.

Die Ergebnisse wurden nach verschiedenen Gesichtspunkten (führende Szenarien, Abhängigkeit von den Halbwertszeiten usw.) ausgewertet und in Berichtsform dargestellt.

4.2 UNTERSUCHUNG VON FACHLICHEN RANDBEDINGUNGEN

Die Untersuchungen zu Punkt 2.2 wurden begleitend zu der Berechnung des neuen Wertesatzes durchgeführt. Es handelt sich z. T. um notwendige Voraussetzungen für die Berechnung Freigrenzen/Freigabewerte (z. B. Festlegung der Vorgehensweise zur Einbeziehung von Tochternukliden, Umgang mit Radionukliden mit sehr kurzer Halbwertszeit usw.). Diese Randbedingungen wurden dargestellt und die Ergebnisse zu Punkt 2.2 wurden in einem Bericht gemeinsam mit denjenigen zu Punkt 2.1 zusammengestellt und an das BfS übergeben.

4.3 ANALYSE DER KONSEQUENZEN EINER ANWENDUNG NEUER FREIGRENZEN

Die Analyse der Konsequenzen einer Anwendung neuer Freigrenzen befasste sich mit der Zusammenstellung der Bedeutung von Freigrenzen in den gegenwärtigen Regelungen von StrlSchV und AtG, insbesondere bezüglich der Definition des Begriffes „radioaktiver Stoff“ gem. § 2 Abs. 2 AtG und Funden gem. § 71 StrlSchV sowie der Ausgestaltung von Genehmigungen insb. nach § 7 StrlSchV. Der Aktivitätsgehalt in Gegenständen und Stoffen im Alltag, insbesondere solchen, die die neuen Freigrenzen überschreiten, sowie die Vorgehensweise nach Funden von Aktivität in Schrotten, wurden detailliert dargestellt. Zur Diskussion um die mögliche Verwendung bzw. Verwertung von Schrott oder Produkten mit erhöhtem Aktivitätsgehalt, die seit ca. 1 Jahrzehnt in der Fachwelt stattfindet, wurden Lösungsansätze vorgestellt. Empfehlungen für die Ausgestaltung von Regelungen in Bezug auf Freigrenzen in einer Novellierung der Strahlenschutzgesetzgebung wurden erarbeitet.

4.4 PRÜFUNG DER DEN BISHERIGEN WERTEN ZUGRUNDE LIEGENDEN SZENARIEN

Zur Prüfung der den bisherigen Werten für die uneingeschränkte Freigabe und den Freigrenzen (RP 65) zugrunde liegenden Szenarien auf Konsistenz und Vollständigkeit wurde zunächst die Wechselwirkung der gegenwärtigen rechtlichen Situation bei Freigrenzen und der uneingeschränkten Freigabe in Deutschland umrissen. Typische Expositionssituationen, auf die sich die Freigrenzen für „moderate amounts“ (RP 65, Anl. III Tab. 1 Sp. 2 und 3 StrlSchV) beziehen, und solche, auf denen die Freigabewerte für die uneingeschränkte Freigabe (Anl. III Tab. 1 Sp. 5 StrlSchV) beruhen, wurden dargestellt. Begründungen für den abdeckenden Charakter der abdeckenden Szenarien für die uneingeschränkte Freigabe wurden gegeben.

5. ERGEBNISSE

5.1 BERECHNUNG NEUER FREIGRENZEN UND VERGLEICH

Die Berechnung der neuen Freigrenzen ist abgeschlossen (auf Grund des Umfangs kann die Tabelle hier nicht wiedergegeben werden). Ein vollständiger Satz von Freigrenzen/Freigabewerten liegt für alle ca. 800 Nuklide vor. Dieser Wertesatz entspricht exakt der Vorgehensweise gem. SR 44. Eine Konsistenzprüfung erfolgte dadurch, dass die in SR 44 vorhandenen Werte reproduziert werden konnten. Für sehr kurzlebige Radionuklide (Halbwertszeit im Bereich von Tagen und kürzer) wurde formal die Berechnung analog zu den Radionukliden mit längeren Halbwertszeiten durchgeführt. Da sich auf Grund der Annahmen zum radioaktiven Zerfall vor Beginn des jeweiligen Szenarios und während dessen Dauer allerdings für sehr kurzlebige Radionuklide keine sinnvollen Berechnungsergebnisse erzielen lassen, wurde in diesem Fall empfohlen, die bisherigen massenbezogenen Freigrenzen anzuwenden. Die Ergebnisse wurden nach verschiedenen Gesichtspunkten (führende Szenarien, Abhängigkeit von den Halbwertszeiten usw.) ausgewertet und in Berichtsform dargestellt.

5.2 UNTERSUCHUNG VON FACHLICHEN RANDBEDINGUNGEN

Im Rahmen der bereits untersuchten Randbedingungen ist vor allem hervorzuheben, dass für Radionuklide mit kurzer Halbwertszeit die Anwendung der bisherigen massenbezogenen Freigrenzen notwendig ist, da keine sinnvollen Werte auf Basis der Szenarien nach SR 44 berechnet werden können. Für Radionuklide, die in SR 44 und RS-G-1.7 ausschließlich als „natürlich“ behandelt wurden, liegen nun ebenfalls auf der Basis von Szenarien vom Dosisrichtwert 10 µSv/a abgeleitete Werte vor.

5.3 ANALYSE DER KONSEQUENZEN EINER ANWENDUNG NEUER FREIGRENZEN

Die Konsequenzen der Anwendung der neuen Freigrenzen der Strahlenschutz-Grundnormen der EU zeigt, dass eine einfache Übernahme der neuen Werte für die bestehenden Werte nach Anl. III Tab. 1 Sp. 3 StrlSchV (d. h. vollständige Streichung der „alten“ Freigrenzen) bei Beibehaltung aller hierzu gültigen Regelungen zu unübersehbaren Konsequenzen im Strahlenschutzrecht führen würde. Der Begriff „radioaktiver Stoff“ und die hieraus folgenden Geltungsbereiche einzelner Regelungen, die Grenzen für Funde nach § 71 StrlSchV, aber auch Anforderungen im Transport und bei Lagerungen würden sich vollständig verschieben und Aktivitätsbereiche einbeziehen, für die diese Regelungen ursprünglich nicht konzipiert waren.

Die Absenkung der Freigrenzen im Hinblick auf § 71 StrlSchV würde zur Folge haben, dass eine große Anzahl von Stoffen und Gegenständen des Alltags diese Freigrenzenwerte überschreiten und somit einen Verlust an Rechtssicherheit mit sich bringen würde. Bei derartig niedrigen Aktivitäten ist allerdings weder ein messtech-

nischer Nachweis mit vertretbarem Aufwand möglich, noch ist ein Gewinn an Sicherheit oder eine Reduktion der Exposition der Bevölkerung hiermit verbunden.

Aktivitäten, die sich in Gegenständen des Alltags (metallischen Halbzeugen und Produkten) ergeben könnten, haben keinerlei Bezug zu den Szenarien für die Herleitung von Freigrenzen und sollten daher besser über Regelungen gem. Teil 4 der StrlSchV geregelt werden, die dafür bereits das notwendige Regelwerk weitgehend umfassen.

5.4 PRÜFUNG DER DEN BISHERIGEN WERTEN ZUGRUNDE LIEGENDEN SZENARIEN

Für die Szenarien für die Herleitung der bisherigen Freigrenzen (RP 65, Anl. III Tab. 1 Sp. 3 StrlSchV) wurde der Schluss gezogen, dass sie damals wie heute die Expositionen in Labors, der Industrie oder beim sonstigen Umgang mit radioaktiven Stoffen angemessen beschreiben und keiner Revision bedürfen. Sie sind allerdings nicht für große Mengen anwendbar, also beispielsweise nicht für Industriebetriebe o. ä., in denen große Lagerbereiche mit etlichen 100 Mg radioaktiver Stoffe existieren könnten. Dies ist allerdings auch explizit vom Geltungsbereich der Szenarien ausgeschlossen.

Die Szenarien zur Herleitung der Freigabewerte in Anl. III Tab. 1 Sp. 5 StrlSchV erfüllen die durch die SSK in ihrer Empfehlung „Ermittlung der Strahlenexposition“ (verabschiedet auf der 263. Sitzung am 12. September 2013) aufgestellten Anforderungen und Bewertungsgrundsätze und sind daher ebenfalls als adäquat zu bezeichnen.

6. UMSETZUNG DER ERGEBNISSE

Die Ergebnisse des Forschungsvorhabens sind von direkter Bedeutung für die Umsetzung der Euratom-Grundnormen in deutsches Recht, welche gegenwärtig durch das Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit (BMUB) ausgeführt wird. Die Resultate liegen den entsprechenden Fachreferaten des BMUB vor bzw. wurden in kommentierter Form durch die BfS-Fachbegleitung den Fachreferaten vorgeführt und diskutiert. Die Vorhabensberichte geben, wie bei Ressortforschungsvorhaben allgemein üblich, die Auffassungen und Meinungen des Auftragnehmers wieder, jedoch werden vielfach die erarbeiteten Ergebnisse durch vorliegende unabhängige Arbeiten des Auftraggebers bestätigt. Diese werden durch die neuen Ergebnisse weiter verfeinert, ergänzt und erweitert. Auf diese Weise war neben der eigentlichen Fachbegleitung und Fachdiskussion eine weitere Stufe der Qualitätssicherung gegeben. Die Ergebnisse des Vorhabens werden auf Jahre hinaus eine wertvolle und anderweitig nur unter hohem Aufwand zusammentragbare Informationsquelle darstellen, die über die Berichtsveröffentlichung somit auch der Öffentlichkeit zur Verfügung stehen wird.

Thema

Untersuchung und Bewertung des Detrimentbegriffs im Strahlenschutz

Subject

Exploration and assessment of the concept of "detriment" in radiation protection

Kennzeichen	Beginn	Ende	Fördermittel
3615S72264	01.08.2015	31.01.2016	EUR 56.784,-

Forschungs- / Auftragnehmer
Technische Hochschule Mittelhessen, Institut für Medizinische Physik und Strahlenschutz, Gießen

Projektleitung	Fachbetreuung BfS	verantwortlich für den Text
Prof. Dr. J. Breckow	Dr. M. Schnelzer / AG-SG 1.3	Prof. Dr. J. Breckow

1. ZIELSETZUNG

Im Rahmen des Vorhabens wurden die dem Detriment-Begriff zugrunde liegenden Konzepte unter Berücksichtigung der zeitlichen Entwicklung strahlungsunabhängiger Gesundheitsparameter kritisch untersucht und bewertet. Zusätzlich wurde geprüft, ob es relevante alternative Konzepte gibt. Ziel war es, die Voraussetzung zu schaffen, das Konzept an den aktuellen wissenschaftlichen Stand anzupassen.

2. EINZELZIELSETZUNG

2.1 DARSTELLUNG DES ICRP-DETRIMENT-MODELLS

Ziel war die Herausarbeitung der grundlegenden Konzepte, die zur Definition des Detriments geführt haben, sowie deren historische Entwicklung. Insbesondere wurde das Detriment als Funktion der verschiedenen Eingangsgrößen beschrieben und diskutiert. Es wurde beschrieben, welche Motive bestanden und weiterhin bestehen, ein Schadensmaß zu definieren, in das sowohl fatale („tödliche“) als auch nicht-fatale („nicht-tödliche“) Anteile des stochastischen Risikos eingehen. Es wurde das von der ICRP entwickelte Modell des Detriments und seine Parameter sowie dessen historische Entwicklung eingehend beschrieben.

2.2 ZEITLICHE ENTWICKLUNG DES DETRIMENTS

Ziel war es außerdem festzustellen, wie sich insbesondere die von Strahlung unabhängigen Eingangsgrößen seit der Festlegung in der ICRP-Veröffentlichung 103 verändert haben und inwiefern die dort getroffenen Annahmen auf die Situation in Deutschland zutreffen. Die Auswirkung eventueller Veränderungen und Unterschiede auf das Detriment wurden bestimmt und diskutiert.

2.3 ALTERNATIVE MODELLE ZUR BESCHREIBUNG DES SCHADENSMAßES

Ferner war das Ziel, die Gegenüberstellung von Risikovergleichen bzw. Grenzwertvergleichen im Strahlenschutz relativ zu anderen Bereichen, beispielsweise des Umweltschutzes, zu ermöglichen.

3. METHODIK

Es wurde eine ausführliche Datenrecherche durchgeführt bezüglich der Gesundheitsdaten, die in das Detriment Eingang finden. Insbesondere wurden Daten zur zeitlichen Entwicklung von Krebsraten für verschiedene Krebsarten bzw. Organe herangezogen. Datenquellen waren u. a. das Statistische Bundesamt, das Robert-Koch-Institut (RKI) in Berlin, das Saarländische Krebsregister sowie das National Cancer Institute und das Research Data Center der USA. Aus den Mortalitäts- und Inzidenzdaten wurden jahresweise im Zeitraum von 1980 bis 2012 und für 12 einzelne Krebsarten die Letalitätsfaktoren sowie der absolute und der mittlere Verlust an Lebenserwartung berechnet. Aus diesen Parametern wurde das Detriment nach ICRP 103 bestimmt.

Es wurde die zeitliche Entwicklung des Detriments sowie beispielhaft einiger ausgewählter Krebserkrankungen innerhalb der Beobachtungszeit (1980-2012) und auch die Abhängigkeit des Detriments vom Letalitätsfaktor auf der Basis des aktuellen Stands der Detriment-Berechnung bestimmt. Schließlich wurde untersucht,

ob es andere Modelle außerhalb des Strahlenschutz-Bereichs gibt, welche auch eine Schadensgewichtung beschreiben und deshalb mit möglichen Modifikationen für das ICRP-Modell relevant sein können.

4. DURCHFÜHRUNG

4.1 BESTIMMUNG DER PARAMETER FÜR DAS DETRIMENT

In die Definition des Detriments gemäß des Modells von ICRP 103 gehen verschiedene Parameter ein, die nicht von der Strahlung, sondern von der Schwere des Schadens oder von medizinischen Fortschritten in der Krebsdiagnostik und -therapie abhängig sind. Zu diesen gehören der zu erwartende Verlust an Lebenszeit, die Letalität und der Verlust an Lebensqualität. Diese strahlungsunabhängigen Parameter und deren Änderung wurden untersucht. Die Eintrittswahrscheinlichkeit der einzelnen Krebsarten wurde als konstant (und wie in ICRP 103 angegeben) angenommen. Es wurde davon ausgegangen, dass sich nur die Schadenshöhe innerhalb der Beobachtungszeit geändert hat. Um die zeitliche und eventuell regionale Entwicklung des Schadenmaßes zu untersuchen, wurden diese Parameter und das Einzel-Detriment für jede Krebsart jahresweise berechnet. Schließlich wurde der Wert für das Gesamtdetriment pro Jahr berechnet und alle Werte über das gesamte definierte Zeitintervall verglichen.

5. ERGEBNISSE

5.1 ZEITLICHE ENTWICKLUNG DES DETRIMENTS

Ein wichtiger Parameter, der das Detriment bestimmt, ist die Letalität bzw. der Letalitätsfaktor, der das Verhältnis von Mortalitätsrate zu Inzidenzrate widergibt. Der Letalitätsfaktor k kann zwischen k=0 (kein Erkrankter stirbt an der Erkrankung) und k=1 (jede Erkrankung führt zum Tod) liegen. Um den Einfluss der Letalität auf das Detriment zu untersuchen, wurde zunächst in einer theoretischen Betrachtung das Gesamtdetriment (für alle Krebsarten) als Funktion des Letalitätsfaktors aufgetragen (Abbildung 1).

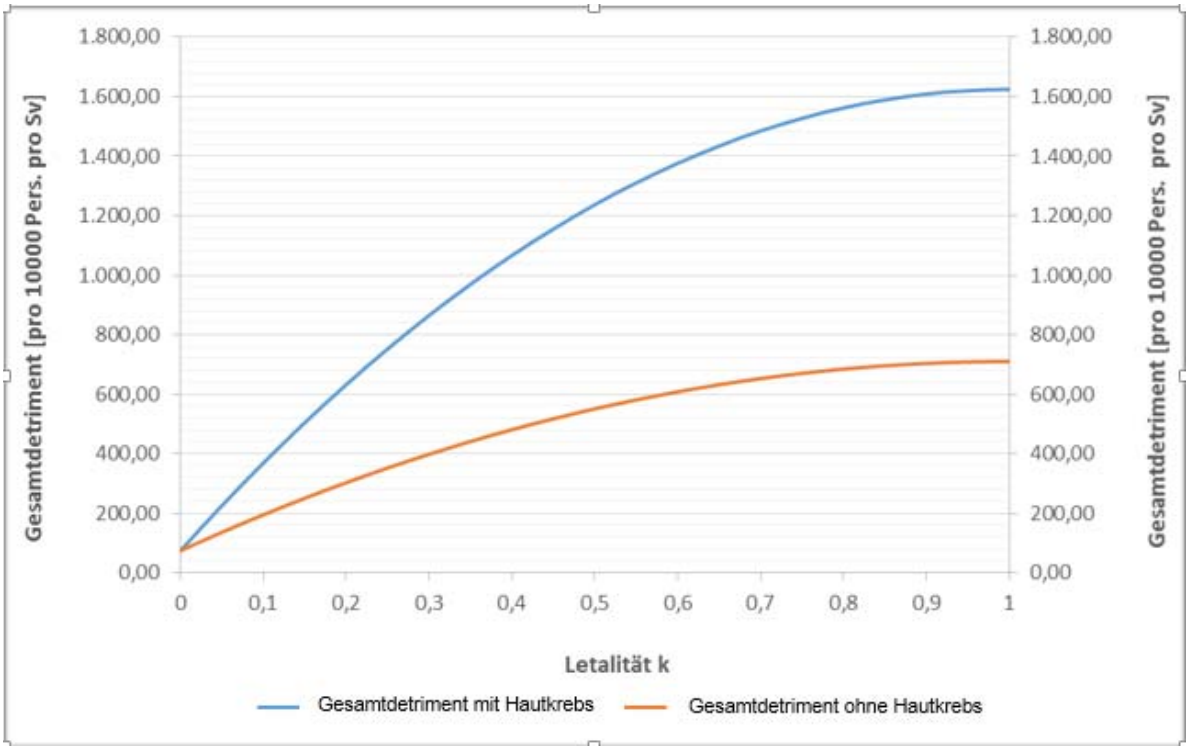


Abbildung 1: Abhängigkeit des Detriments vom Letalitätsfaktor nach dem ICRP 103-Modell. Es ist das Detriment als Summe über alle Krebsarten (Gesamtdetriment mit Hautkrebs) und als Summe über alle Krebsarten ohne Hautkrebs (Gesamtdetriment ohne Hautkrebs) dargestellt.

Wären alle Krebsarten tödlich, so ergibt das ICRP-Modell ein über 20-fach höheres Detriment für Krebs als wenn Krebs überhaupt nicht zum Tode führen würde. Schließt man Hautkrebs mit seiner außerordentlich geringen Letalität aus, so ergibt sich ein 10-fach größeres Detriment.

Exemplarisch wurde für Deutschland und für die USA untersucht, ob es einen Trend bei der zeitlichen Entwicklung des Detriments über den Zeitraum von 1980 bis 2012 gibt, der beispielsweise auf Grund von verbesserten Heilungschancen und Behandlungsmöglichkeiten von Krebserkrankungen zu einem reduzierten Schadensmaß geführt haben könnte. Dafür wurde das Detriment jahresweise für jede Krebsart berechnet und daraus das Gesamtdetriment pro Jahr ermittelt. Für Deutschland sind die Ergebnisse in Abbildung 2 dargestellt. Das Gesamtdetriment hat sich innerhalb der Beobachtungszeit (1980-2012) in Deutschland von 698 pro 10 000 pro Sv im Jahr 1980 auf 564 pro 10 000 pro Sv im Jahr 2012 verringert (ca. um 20 %). Unter Ausschluss von Hautkrebs betrug die Verringerung von 571 pro 10 000 pro Sv (1980) auf 514 pro 10 000 pro Sv (2012) lediglich 12 %. Der Letalitätsfaktor hat sich innerhalb des auch für das Detriment betrachteten Zeitraums von 1980 bis 2012 ebenfalls verringert. Die Letalität nahm von 0,61 im Jahr 1980 auf 0,34 im Jahr 2012 ab. Dies entspricht einer Abnahme von ca. 45 %. Bemerkenswert ist die deutlich stärkere Abnahme der Letalität im Vergleich zum Detriment im gleichen Zeitraum.

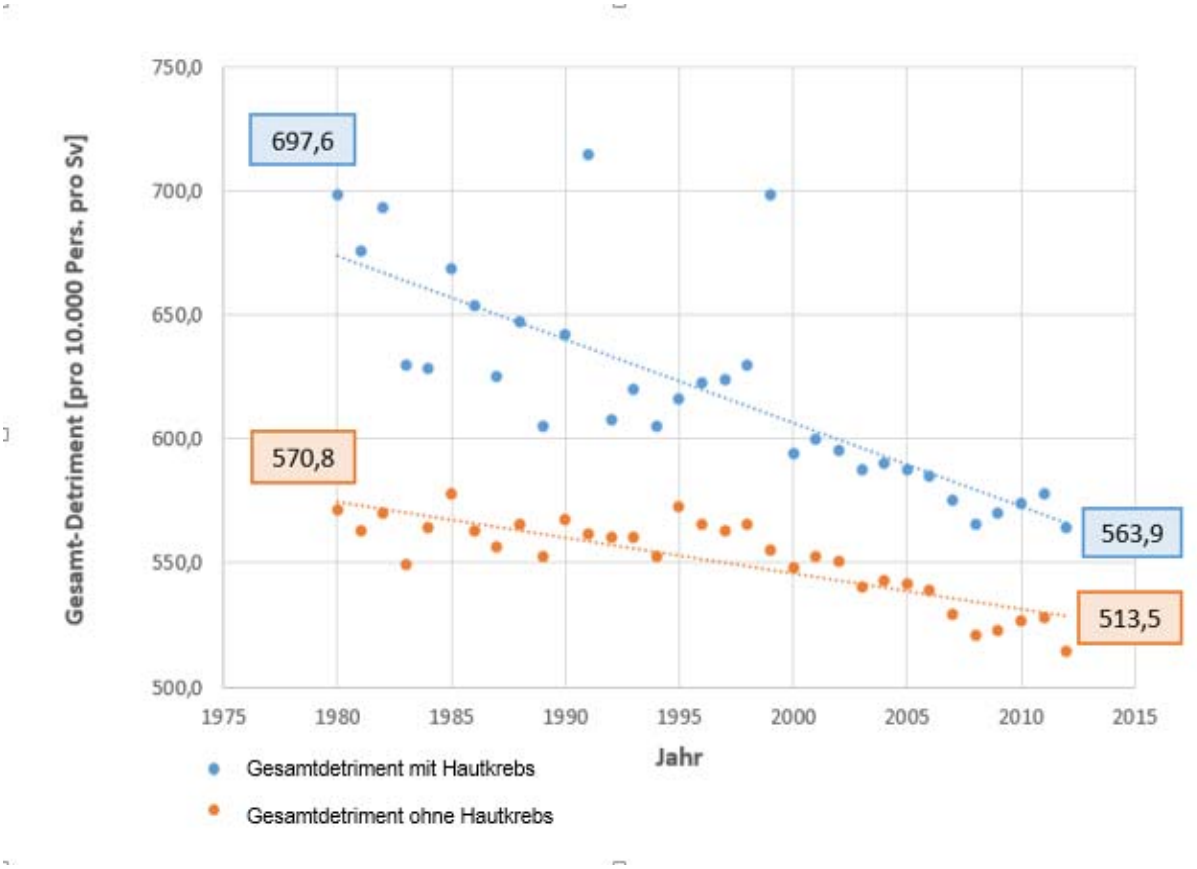


Abbildung 2: Zeitlicher Verlauf des Gesamtdetriments der gesamten Bevölkerung innerhalb der Beobachtungszeit (1980-2012) in Deutschland

Für die USA ergibt sich ein ähnliches Bild. Das Gesamtdetriment für die Gesamtheit aller Krebsarten in den USA hat sich innerhalb der Beobachtungszeit von 1980 bis 2012 von 945 pro 10 000 pro Sv im Jahr 1980 auf 653 pro 10 000 pro Sv im Jahr 2012 verringert. Dies entspricht einer Abnahme von ca. 31 %. Das Gesamtdetriment unter Ausschluss von Hautkrebs verringerte sich im gleichen Zeitraum um ca. 12 % von 519 pro 10 000 pro Sv im Jahr 1980 auf 458 pro 10 000 pro Sv im Jahr 2012 (Abbildung 3). Der Letalitätsfaktor hat sich innerhalb der gleichen Beobachtungszeit (1980-2012) von 0,49 auf 0,38 verringert (ca. 24 %).

5.2 ALTERNATIVMODELLE ZUR BESCHREIBUNG DER SCHADENSENTWICKLUNG

Es wurde untersucht, ob es neben dem ICRP-Detriment-Model für den Strahlenschutz weitere Methoden in anderen Bereichen (z. B. im Arbeitsschutz, im Gesundheitswesen, in der Ökonomie oder im Umweltschutz)

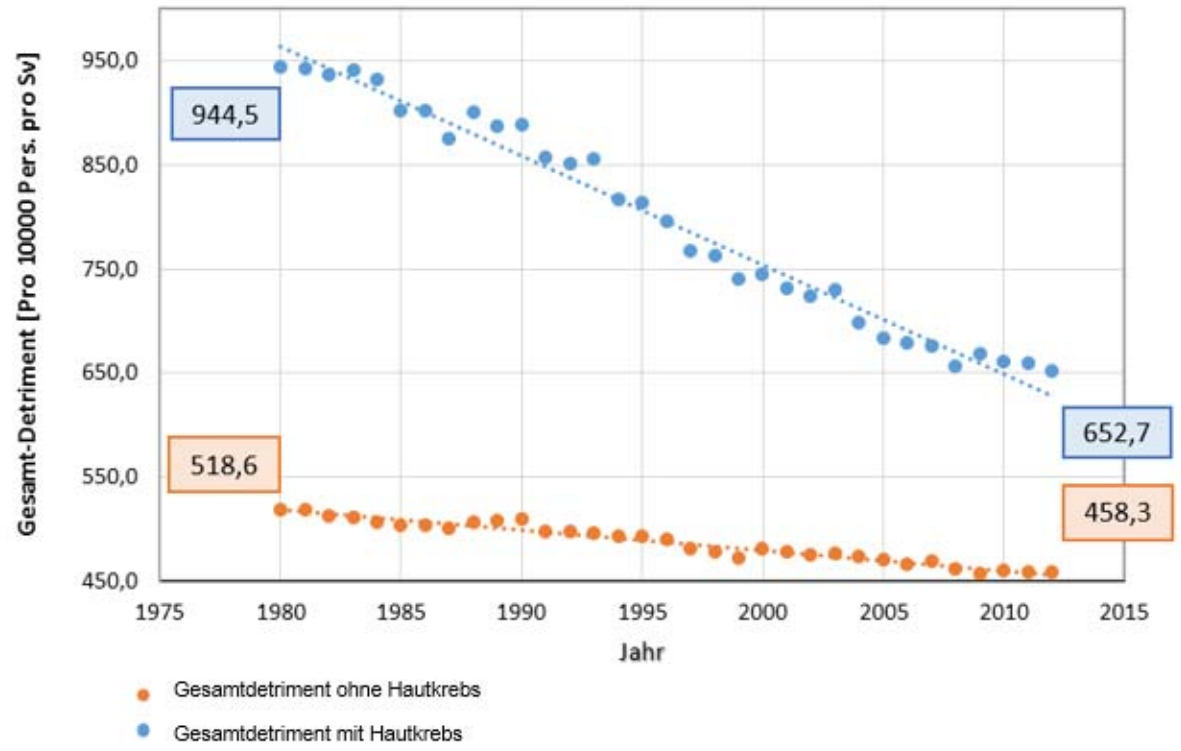


Abbildung 3: Zeitlicher Verlauf des Gesamtdetriments der gesamten Bevölkerung von 1980-2012 in den USA

gibt, die den Vergleich verschiedener Erkrankungen bzw. Schadenseffekte ermöglichen. Außerdem sollte geprüft werden, ob eventuell andere Methoden relevant für mögliche Modifikationen des Detriment-Modells sein können.

In verschiedenen Bereichen kommen zur Bewertung von Gesundheitsauswirkungen bzw. Krankheitsbelastungen durch Umwelt-, Ernährungs- oder Arbeitseinflüsse unterschiedliche Kennzahlen wie beispielsweise die Health-Adjusted Life Expectancy (HALE), die Quality Adjusted Life Years (QALY) oder die Disability Adjusted Life Years (DALY) zum Einsatz. Diese Methoden werden überwiegend in den Bereichen Medizin, Soziologie und Ökonomie verwendet.

Die als „Gesundheitsmaß“ dienenden Kenngrößen QALY und DALY sind in ihrer Struktur und bezüglich ihres Anwendungszwecks dem ICRP-Detriment-Konzept zwar durchaus ähnlich. In ihrer Ausprägung und in den Einzelheiten ihrer Definition bestehen jedoch erhebliche Unterschiede. Dies drückt sich bereits in der Einheit der Kenngrößen aus: Während das Detriment ein dimensionsloser Faktor zum Risikokoeffizienten darstellt, sind QALY und DALY Zeitangaben mit der Einheit Jahre. Somit ist allein aus diesem Grund ein unmittelbarer Vergleich nicht möglich. Prinzipiell wäre es jedoch mit Modifikationen in den Modellen durchaus möglich, daraus ein gemeinsames Modell zu bilden oder ein Modell an die anderen entsprechend anzupassen.

6. UMSETZUNG DER ERGEBNISSE

Da das Detriment eine zentrale Größe für Risikoangaben im Strahlenschutz ist, sind ein vertieftes Verständnis dieses Konzepts und die Überprüfung der Aktualität der zugrunde liegenden Maßnahmen von großer Bedeutung für die Risikobewertung im Strahlenschutz. Die Strahlenschutzkommission empfahl 2014 in ihrer Stellungnahme zum Dosis- und Dosisleistungsfaktor (DDREF) die Parameter, die in die Berechnung des Detriments eingehen, an den wissenschaftlichen Stand anzupassen. Die vorliegende Aufarbeitung des Konzepts und seine zusammenfassende Darstellung stellen in dieser Hinsicht einen ersten Schritt dar.

Thema

4. Internationales Seminar „Strahlenunfallmedizin in Forschung und Praxis“: Gesundheitsfolgen 30 Jahre nach Tschernobyl, 5 Jahre nach Fukushima

Subject

4th International Seminar „Radiation Emergency Medicine in Research and Practice“: Health effect 30 years after Chernobyl, 5 years after Fukushima

Kennzeichen	Beginn	Ende	Fördermittel
3616I02211	01.05.2016	31.10.2016	EUR 23.972,-

Forschungs- / Auftragnehmer
Klinik und Poliklinik für Nuklearmedizin der Universität Würzburg

Projektleitung	Fachbetreuung BfS	verantwortlich für den Text
Prof. Dr. Chr. Reiners	A. Erzberger / AG-SG 2.1	Dr. R. Schneider, Prof. Dr. Chr. Reiners

1. ZIELSETZUNG

Nach den drei vorangegangenen Internationalen Seminaren „Strahlenunfallmedizin in Forschung und Praxis“ in den Jahren 2005, 2007 und 2010 mit den Schwerpunktthemen „Akutes Strahlensyndrom“ „Lokales Strahlensyndrom“ und „Inkorporation von Radionukliden“ setzte das 4. Internationale Seminar „Strahlenunfallmedizin in Forschung und Praxis“ die Seminarreihe im Jahr 2016 fort. Anlässlich der 30. bzw. 5. Jahrestage der Kernkraftwerksunfälle in Tschernobyl und Fukushima standen als Schwerpunktthema die gesundheitlichen Folgen 30 Jahre nach Tschernobyl und fünf Jahre nach Fukushima im Mittelpunkt des 4. Internationalen Seminars.

2. EINZELZIELSETZUNG

Mit der Durchführung des Seminars wurden drei Zielsetzungen verfolgt:

Erstens sollte das Seminar einen umfassenden Überblick über Erfahrungen und Lehren aus vergangenen Strahlenunfällen geben und damit der Fort- und Weiterbildung im medizinischen Strahlenunfallmanagement dienen.

Zweitens sollte mit der Vorstellung neuester Forschungsergebnisse der aktuelle Stand der Forschung auf dem Gebiet der Strahlenunfallmedizin präsentiert werden.

Und drittens sollte das 4. Internationale Seminar ein Forum für den internationalen Austausch unter Experten mit unterschiedlichem wissenschaftlichem und beruflichem Hintergrund bieten und Diskussionen über verschiedene Erfahrungen und Kenntnisse sowie offene Fragen zu den gesundheitlichen Folgen 30 Jahre nach Tschernobyl und fünf Jahre nach Fukushima ermöglichen. Von größter Bedeutung war in diesem Zusammenhang der Wissensaustausch mit den russischen und japanischen Kollegen, deren große Erfahrung und Fachwissen einen wesentlichen Beitrag zu Vorsorge und Bewältigung von Strahlenunfällen leisten.

3. METHODIK

Inhaltlich und organisatorisch wurde das 4. Internationale REMPAN (Radiation Emergency Medical Preparedness and Assistance Network)-Seminar in enger Kooperation mit der Burnasyan Federal Medical Biophysical Center (FMBC) der Federal Medical-Biological Agency (FMBA) in Moskau, Russland, vorbereitet, organisiert und durchgeführt. Das FMBC unter der Leitung von Dr. A. Bushmanov ist wie die Klinik und Poliklinik für Nuklearmedizin des Universitätsklinikums Würzburg ein Kollaborationszentrum innerhalb des REMPAN-Netzwerks der WHO (World Health Organisation).

Das Vorhaben wurde in vier Arbeitsschritten durchgeführt.

3.1 PLANUNG

- Bildung des wissenschaftlichen Programmkomitees, Erstellung des Konzepts, Auswahl der Vortragsthemen, Strukturierung in einzelne Sitzungen

- Ermittlung und Einladung der russischen, deutschen/internationalen Referenten und Co-Chairs.

3.2 VORBEREITUNG

- Erstellung der Anmeldeformulare, Adressenrecherche und E-Mail-Verteiler anzuschreibender Teilnehmer, Versendung der Einladungen
- Erstellung des Anmeldeformulars und der Ankündigung als Flyer, Erstellung und Veröffentlichung des Programms auf den Webseiten des Universitätsklinikums Würzburg, Verwaltung der Anmeldungen
- Erstellung und Druck des endgültigen Programms, des Seminarposters, der Namensschilder und des englischsprachigen Zertifikats
- Beantragung von Fortbildungspunkten bei der Bayerischen Landesärztekammer (BLÄK)
- Reservierung des Tagungsorts, Organisation von Bewirtung, Hotelunterbringung und Flughafentransfer
- Unterstützung der russischen Teilnehmer bei der Visumbeschaffung.

3.3 DURCHFÜHRUNG

- Veranstaltung des zweitägigen Seminars am 16.06. und 17.06.2016.

3.4 NACHBEREITUNG

- Zusammenstellung und Bereitstellung der Vorträge als Download auf der Webseite des REMPAN-Zentrums Würzburg
- Erstellung, Druck und Versand des Tagungsbands mit Kurzzusammenfassungen der Beiträge (Proceedings).

4. DURCHFÜHRUNG

Das 4. Internationale Seminar fand am 16. und 17.06.2016 in Würzburg statt. Unter den ca. 70 Teilnehmern befanden sich Teilnehmer aus 16 Ländern (Australien, Belgien, Belarus, Frankreich, Großbritannien, Kroatien, Norwegen, Österreich, der Schweiz, Japan, den Niederlanden, Schweden, der Ukraine und den USA sowie aus Deutschland und Russland).

Von den eingeladenen 23 Referenten stammten 10 aus Russland, vier aus Japan, drei aus Deutschland und je ein Referent aus Frankreich, Großbritannien, Belarus, der Schweiz, der Ukraine und den USA, darunter auch eine Vertreterin der WHO. Unter den deutschen und internationalen Referenten und Vorsitzenden befanden sich Vertreter von Bundesbehörden, Universitäten und Fachinstituten, der IARC (International Agency for Research on Cancer) und WHO sowie Mitglieder des WHO REMPAN-Netzwerks. Die russischen Referenten und Vorsitzenden stammen aus vier Forschungszentren, dem Burnasyan Federal Medical Biophysical Center in Moskau, dem Urals Research Center for Radiation Medicine (URCRM) in Chelyabinsk, dem A. Tsyb Medical Radiological Research Center in Obninsk und dem Biophysical Science Center in Seversk. Die Japanischen Referenten kamen aus drei Forschungszentren, der Fukushima Medical University in Fukushima, dem National Institute of Radiological Science in Chiba und dem Atomic Bomb Disease Institute in Nagasaki.

Geleitet wurden die Sitzungen gemeinsam von je einem russischen und einem deutschen/internationalen Vorsitzenden.

In fünf Sitzungen wurden folgende Themenbereiche vorgestellt:

- Diagnose und Behandlung von Strahlenerkrankungen
- Strahlenunfallmanagement
- Schilddrüsenkrebs nach Tschernobyl
- Patienten-Nachsorge und Monitoring nach Tschernobyl und Fukushima
- Biodosimetrie.

Die erste Sitzung des 4. Internationalen Seminars war der Diagnose und Behandlung von Strahlenerkrankungen gewidmet. A. Bushmanov präsentierte im ersten Vortrag das medizinische Management nach Tschernobyl. Anschließend gab V. Krasnyuk einen Überblick zum Thema Sensitivität und Spezifität medizinischer Tests zur Früherkennung des akuten Strahlensyndroms nach Tschernobyl und I. Galstyan sprach über lokale Strahlenschäden bei Patienten ausTschernobyl. Zum Abschluss der ersten Sitzung präsentierte A. Akleyev

Ergebnisse zu gesundheitlichen Auswirkungen einer akzidentellen Strahlenexposition der russischen Bevölkerung.

Die fünf Beiträge der zweiten Sitzung befassten sich mit dem Thema Strahlenunfallmanagement. Zunächst gab N. Takamura einen Überblick über die Risikokommunikation in Fukushima. Der Vortrag von S. Suzuki behandelte insbesondere das Thema Ultraschall-Screening bei Kindern und Jugendlichen nach Fukushima. S. Shinkarev präsentierte im dritten Vortag eine Vergleichsanalyse von Gegenmaßnahmen zur Reduzierung der Strahlenexposition der Bevölkerung nach den Unfällen vonTschernobyl und Fukushima sowie zur Abschätzung der Schilddrüsendosis. Anschließend gab U. Welte einen Überblick über Lehren aus Tschernobyl und Fukushima und deren Bedeutung für die Notfallvorsorge in Deutschland. Das nationale Strahlenunfall- und epidemiologische Register als Quelle für objektive Informationen über Gesundheitsfolgen nach dem Unfall in Tschernobyl standen im Fokus des Vortrags von M. Maksyutov. Im abschließenden Vortrag der zweiten Sitzung und des ersten Seminartages gab A. Kretov einen umfassenden Überblick über strahlenbedingte Krankheiten bei Liquidatoren als Folge des Unfalls von Tschernobyl.

Die dritte Sitzung am zweiten Seminartag war dem Thema Schilddrüsenkrebs nach Tschernobyl gewidmet. Einen allgemeinen Überblick über das strahleninduzierte Schilddrüsenkarzinom, insbesondere die Epidemiologie, gab A. Kesminiene. V. Drozd stellte in einer Präsentation die Inzidenz des Schilddrüsenkarzinoms unter Berücksichtigung des Störfaktors Nitrat im Trinkwasser vor. L. Zablotska sprach über neueste Erkenntnisse aus Belarus zum Schilddrüsenkrebs und anderen Schilddrüsenerkrankungen nach Tschernobyl.

In der vierten Sitzung zu Patientennachsorge und Gesundheitsmonitoring nach Tschernobyl und Fukushima erläuterte zunächst R. Powles die Sichtweise der European Society of Blood and Marrow Transplantation (EBMT). Die Suche nach Antworten auf offene Fragen in der Langzeitnachsorge der überexponierten Bevölkerung stand im Mittelpunkt des Vortrags von Z. Carr. M. Akashi trug einen Erfahrungsbericht über das Follow-up bei TEPCO Arbeitern vor und R. Takhauov erläuterte Gesundheits-Monitoring-Systeme bei Tschernobyl-Liquidatoren und der Bevölkerung der Region Tomsk. Thema des folgenden Referates von A. Biryukov waren Erfahrungen und Ergebnisse der medizinischen Überwachungen von Arbeitern der Atomindustrie, die bei den Aufräumarbeiten in Tschernobyl teilnahmen. Abschließend sprach A. Kumagai über das umfassende Gesundheitsmanagement in fünf Jahren nach dem Unfall in Fukushima.

Die fünfte und letzte Sitzung des Seminars befasste sich mit der Biodosimetrie. Thema des Referats von V. Nugis waren zytogentische Untersuchungen an Patienten, die während des Unfalls in Tschernobyl mit unterschiedlich hohen Dosen exponiert wurden. U. Eberlein und M. Port sprachen in einem gemeinsamen Vortrag über die physikalische und biologische DNA-Dosimetrie (Gamma-H2AX) nach Radioiodtherapie eines Schilddrüsenkarzinoms. Im letzten Vortrag der Sitzung und des Seminars stellte N. Maznyk die zytogenetische Biodosimetrie bei Evakuierten und Liquidatoren der Tschernobyl-Region vor und berichtete über Erfahrungen und Lehren daraus.

5. ERGEBNISSE

In über 20 Vorträgen vermittelte das Seminar dem internationalen Teilnehmerkreis unterschiedliche Aspekte des Themengebietes der gesundheitlichen Folgen 30 Jahre nach Tschernobyl und fünf Jahre nach Fukushima. Das Spektrum reichte von Diagnose und Behandlung von Strahlenerkrankungen, Erfahrungen aus früheren Strahlenunfällen, Forschungsergebnissen aus Russland und Japan an unterschiedlichen Patientenkollektiven bis zur Präsentation verschiedener Methoden zur Dosisabschätzung und Biodosimetrie.

Das Seminar gab einen umfassenden Überblick über den aktuellen Stand der Forschung im Bereich des Strahlenunfallmanagements und leistete mit den vorgestellten Erfahrungen aus früheren Strahlenunfällen einen Beitrag zu Fort- und Weiterbildung auf diesem Gebiet.

Hervorzuheben ist die offene Kommunikation mit den Teilnehmern aus der GUS, die ein Charakteristikum für das Format der Internationalen Moskau-Würzburg Symposien ist. Darüber hinaus stehen die Präsentationen und der Tagungsband mit den Erkenntnissen und Informationen aus dem Seminar in elektronischer und Papierform einer breiten Öffentlichkeit zur Verfügung.

6. UMSETZUNG DER ERGEBNISSE

Der Gesamtüberblick über Erfahrungen und Lehren aus den Unfällen von Tschernobyl und Fukushima fließt in die medizinische Notfallvorsorge in Deutschland ein.

Themenbereich 08
Nichtionisierende Strahlung

Subject area 08
Non-ionising radiation

Thema

Einfluss hochfrequenter elektromagnetischer Felder auf die Gehirnaktivität, Schlaf und kognitive Leistungsfähigkeit älterer Frauen

Subject

Effect of high frequency electromagnetic fields on brain activity, sleep and cognitive performance in elderly women

Kennzeichen	**Beginn**	**Ende**	**Fördermittel**
3614S30012	15.08.2014	30.04.2016	EUR 349.143,-

Forschungs- / Auftragnehmer
Kompetenzzentrum Schlafmedizin, Charité - Universitätsmedizin, Campus Benjamin Franklin, Berlin

Projektleitung	**Fachbetreuung BfS**	**verantwortlich für den Text**
Prof. Dr. H. Danker-Hopfe	PD Dr. B. Pophof / AG-SG 1.4	Prof. Dr. H. Danker-Hopfe, Dr. H. Dorn

1. ZIELSETZUNG

Ziel des Forschungsvorhabens war es zu prüfen, ob hochfrequente elektromagnetische Felder, die von Mobil- und Digitalfunk-Endgeräten ausgehen, die Gehirnaktivität im Wachzustand und im Schlaf sowie die kognitive Leistungsfähigkeit von Frauen in fortgeschrittenem Erwachsenenalter (ab 60 Jahre) beeinträchtigen können. Bisher publizierte Effekte traten häufiger bei niedrigeren Frequenzen und höheren SAR-Werten auf, deswegen sollte mit GSM (900 MHz, 2W/kg) und TETRA (400 MHz, 6W/kg) exponiert werden.

Es sollte geklärt werden, welche physiologischen Änderungen bei zulässigen Expositionen auftreten, welcher Wirkungsmechanismus verantwortlich ist und welche individuellen Ausgangssituationen eine Empfindlichkeit fördern.

2. EINZELZIELSETZUNG

Zu untersuchen war die nächtliche Schlafqualität sowie tagsüber die mittels Elektroenzephalographie (EEG) gemessene Hirnaktivität und die kognitive Leistungsfähigkeit unter einer mehrstündigen Exposition mit simulierten Signalen der Endgeräte nach dem GSM- und dem TETRA-Standard. Das Schlaf-EEG sollte als Modell für eine gut untersuchte und durch die Umgebung wenig beeinflusste Gehirnaktivität dienen. Um den Einfluss des Gebrauchs von Telefonen bzw. Funkgeräten kurz vor dem Schlafengehen auch zu erfassen, begann die Exposition 30 min vor dem Ausschalten der Beleuchtung. Tagsüber wurden während einer mehrstündigen Exposition die kognitive Leistungsfähigkeit (Reaktionszeiten, Gedächtnis, Wachsamkeit) und das Wach-EEG untersucht. Die Aufarbeitung der Literatur zum Thema, die Entwicklung der Expositionsanlage, die Einrichtung von Messplätzen sowie das Einholen eines Ethikvotums erfolgten in einem Pilotprojekt zu diesem Forschungsvorhaben.

2.1 DOSIMETRISCHE ANALYSE UND TECHNISCHE BETREUUNG DER EXPOSITIONSANLAGE

Die in diesem Projekt eingesetzte Expositionsanlage wurde im Rahmen des Pilotprojektes von der Firma Seibersdorf Labor GmbH entwickelt. Für die Befeldung des Kopfes der Probanden wurden elektromagnetische Felder verwendet, wie sie bei Gebrauch von GSM900-Mobiltelefonen und Endgeräten des TETRA-Funks entstehen. Im Rahmen der doppelt-verblindeten Studie wurden bei sitzenden bzw. schlafenden Probanden möglichst gut definierte Expositionen erzeugt, wie sie hinsichtlich der Feldverteilung und Energieabsorption bei Benutzung von GSM900- und TETRA-Endgeräten im Bereich des Ohres auftreten können. Als Zielwerte der maximalen lokalen (über 10 g Gewebe gemittelten) spezifischen Absorptionsrate (SAR) im Kopf der Probanden wurden 2 W/kg (GSM900) bzw. 6 W/kg (TETRA) festgelegt. Die dosimetrische Charakterisierung der Expositionsanlage umfasste eine Basisdosimetrie und Unsicherheitsanalyse, eine Hirnregion-spezifische dosimetrische Analyse (inkl. thermischer Berechnungen) und eine messtechnische Erfassung der Hintergrundfelder am Probandenplatz.

2.2 PROBANDENREKRUTIERUNG

Es wurde eine Stichprobe von 30 gesunden Frauen im Alter von 60 bis 80 Jahren untersucht. Alle eingeschlossenen Probandinnen mussten Rechtshänderinnen und Nichtraucherinnen sein. Um an der Studie teilnehmen zu können, durften die Probandinnen keine Medikamente einnehmen, die auf das zentrale Nervensystem wirken. Sie durften weder zum Zeitpunkt der Studienteilnahme noch in der Vorgeschichte (subjektiv) eine Schlafstörung oder eine psychische Erkrankung (gehabt) haben. Akute schwerwiegende körperliche Erkrankungen wurden als Ausschlusskriterium behandelt. Alle Probandinnen mussten eine normale Tag/Nachtorganisation aufweisen und durften unter keiner stärkeren Beeinträchtigung des Seh- und Hörvermögens leiden. Im Ruhe-EEG mit geschlossenen Augen mussten alle Probandinnen einen Alpha-Rhythmus als Grundrhythmus zeigen.

2.3 DATENERHEBUNG

Alle eingeschlossenen Probandinnen mussten insgesamt je neun Studiennächte und -tage im Labor absolvieren. Die Studie folgte einem randomisierten, doppelblinden, placebo-kontrollierten cross-over-Design.

3. METHODIK

3.1 EXPOSITION UND DOSIMETRIE

Für die effiziente doppelt verblindete und randomisierte Befeldung der Probanden wurde eine Doppel-Expositionsanlage entwickelt. Diese Anlage erlaubt die parallele Befeldung des Probandenkollektivs an zwei unabhängigen Testplätzen, d. h., die gesamte Hardware der Anlage ist zweifach ausgeführt. Auch die zugehörige Steuer- und Monitoringsoftware ist zweifach (auf zwei unterschiedlichen Laptops) vorhanden, wobei zur Sicherstellung der Konsistenz des Befeldungsschemas beide Softwaremodule auf einen zentralen Datensatz für die Zulosung und Speicherung der Expositionsdaten zugreifen. Die Befeldung der Probanden erfolgt mittels einer planaren, an der linken Kopfseite im Bereich des Ohres fixierten Dual-Band-Antenne, so dass die Expositionsbedingungen GSM und TETRA doppelblind appliziert werden konnten.

Zur Ermittlung der notwendigen Antenneneingangsleistung, um die festgelegten Zielexpositionswerte im Kopf der Probanden zu erreichen, wurden die folgenden Unsicherheitsquellen berücksichtigt:

- Unsicherheiten des numerischen Quellenmodells
- Variation der Antennenposition am Kopf (Auswirkung auf die SAR-Verteilung)
- Variationen der Antennenanpassung zufolge Variationen der Antennenposition
- Anatomische Unterschiede zwischen Probanden
- biologischer Schwankungsbereich der dielektrischen Gewebeparameter
- Schwankungsbereich der Hautfeuchte
- Einfluss von Feuchteschwankungen der Textilummantelung der Antenne
- Einfluss der EEG-Elektroden.

Zur Bestimmung der elektromagnetischen Hintergrundimmissionen in den geschirmten Probandenräumen im Frequenzbereich von 0 Hz bis 250 MHz (magnetisches Feld) bzw. 5 Hz bis 3 GHz (elektrisches Feld) wurden Messungen in mehreren Positionen im Aufenthaltsbereich der Probanden, insbesondere in Situationen, wie sie während der Experimente vorherrschen, durchgeführt. Die Zimmerbeleuchtung war jeweils angeschaltet.

3.2 REKRUTIERUNG UND UNTERSUCHUNG DER PROBANDINNEN

Die Probandinnen wurden für diese Studie mit folgenden Verfahren rekrutiert:

- Teilnahme an früheren Studien
- Mund-zu-Mund Propaganda
- Flyer Seniorensport
- Anzeige auf eigener Homepage, über den E-Mail-Verteiler des Vereins zur Förderung der Seniorenuniversität Berlin e.V. (pro seniores) und auf Probanden.info.

3.3 UNTERSUCHUNG DER PROBANDEN

Nach erfolgreichem Screening und Einschluss in die Studie durchliefen alle Probandinnen drei Untersuchungsbedingungen (GSM 900 MHz, 2W/kg; TETRA 6W/kg; Sham) jeweils dreimal in zufälliger Reihenfolge (randomisiert, placebokontrolliert). Für die Exposition wurde eine speziell für dieses Projekt entwickelte, am Kopf zu tragende Antenne verwendet. Nach einer Gewöhnungsnacht und einem Gewöhnungstag verbrachte jede Versuchsperson neun Nächte im Schlaflabor und absolvierte an neun Nachmittagen eine Reihe unterschiedlicher Aufmerksamkeits- und Gedächtnistests. Dabei wurde gleichzeitig ein EEG abgeleitet. Der Abstand zwischen den Testungen betrug ca. eine Woche. Welche Expositionsbedingung an welchem Testtag bzw. in welcher Testnacht vorlag, wusste weder die Versuchsperson noch die Person, welche die Tests bzw. die Nachtableitung durchführte (doppelblind). Alle Probandinnen durchliefen alle Expositionsbedingungen (cross-over Design).

4. DURCHFÜHRUNG

4.1 PROBANDINNEN

Die Überprüfung der Ein-und Ausschlusskriterien erfolgte in einem umfangreichen Screeningverfahren. Ein Telefoninterview zu Beginn der Rekrutierungsphase gab neben den festgelegten Teilnahmevoraussetzungen auch Aufschluss über das Konsumverhalten alkoholischer und koffeinhaltiger Getränke, über das aktuelle gesundheitliche Befinden, über eine mögliche Medikamenteneinnahme und über das Schlafverhalten der Probandinnen. In zweiten Schritt der Rekrutierungsphase wurden die Teilnahmekriterien anhand validierter Fragebögen zur Schlafqualität (Pittsburgh Schlafqualitätsindex; PSQI), zur Tageschläfrigkeit (Epworth Schläfrigkeitsskala; ESS), zur Morgen-Abendtyp-Bestimmung (MAB) sowie zur Abschätzung depressiver (Selbstbeurteilungs-Depressions-Skala; SDS) und klinisch relevanter ängstlicher Zustände (Selbstbeurteilungs-Angst-Skala; SAS) geprüft. Als nächstes folgte eine medizinische Untersuchung bei der Studienärztin. Dieses Arztgespräch umfasste eine neurologisch-psychiatrisch-internistische Untersuchung sowie ein Elektrokardiogramm und ein Wach-EEG. Bei Verdacht auf eine schlafbezogene Atmungsstörung wurde ein ambulantes Apnoe-screeninggerät eingesetzt. Im letzten Schritt der Rekrutierungsphase wurden die Probandinnen dann zu einer Screeningnacht einbestellt, die der Abklärung von etwaigen Schlafstörungen sowie der Eingewöhnung an die Laborbedingungen dienen sollte. Diese Nacht durfte keinen Anhalt für das Vorliegen einer schlafbezogene Atmungs- oder Bewegungsstörung ergeben.

4.2 ABLAUF DER STUDIE

Während des Nachtschlafes wurden die Gehirntätigkeit an 19 Ableitpositionen, Augenbewegungen, Muskelaktivität und Herzaktivität sowie in der Eingewöhnungsnacht auch die Atmung und Beinbewegungen erfasst. Daraus lassen sich Informationen zur Schlafstruktur, wie Anteile an Tiefschlaf, leichtem Schlaf und Traumschlaf sowie Zeit bis zum Einschlafen und Wachzeit in der Nacht ableiten. Zusätzlich wurde das Auftreten besonderer Muster im Schlaf (z. B. Schlafspindeln) erfasst sowie die Zusammensetzung des Schlaf-EEGs nach verschiedenen Frequenzen.

In den Tagesuntersuchungen, die am Nachmittag stattfanden, wurden Messungen zur tonischen und phasischen Aktivität sowie Tests zu verschiedenen Komponenten von Aufmerksamkeit und zum Arbeitsgedächtnis durchgeführt. Während der gesamten Untersuchungszeit wurde die Gehirnaktivität an 19 Ableitpositionen aufgezeichnet. Es wurden die Testleistungen und die Gehirnaktivität bei der Durchführung bestimmter Aufgaben und im Ruhezustand ausgewertet.

Um eine gegenseitige Beeinflussung der EEG-Aufzeichnung und der Hochfrequenzexposition zu vermeiden, wurden die EEG-Geräte mit Filtern und Abschirmungen ausgestattet und es wurden spezielle Messfühler zur Signalaufzeichnung entwickelt.

5. ERGEBNISSE

5.1 ERGEBNISSE DER DOSIMETRISCHEN CHARAKTERISIERUNG DER EXPOSITIONSANLAGE

Nach Konzeptionierung und Aufbau der Expositionsanlage sowie Validierung des Antennenmodells erfolgten umfangreiche numerische Berechnungen für die detaillierte Analyse und Unsicherheitsabschätzung bezüglich der Absorption im Kopf der Probanden. Die ermittelte resultierende Gesamtunsicherheit der Exposition (SAR 10 g im Gehirn) beträgt < ±40 % für TETRA-Exposition und < ±45 % für GSM900-Exposition.

Darüber hinaus wurden numerische Berechnungen der Gewebetemperaturerhöhungen zufolge der Exposition bzw. des Tragens der Antenne durchgeführt. An der Hautoberfläche (zwischen Antenne und Hautoberfläche) konnten die numerischen Berechnungen validiert werden. Die an der Hautoberfläche berechneten bzw. gemessenen Temperaturerhöhungen während der Exposition betrugen weniger als 1 °C (TETRA) bzw. weniger als 0,8 °C (GSM900). Im temporalen Kortex (Gehirnregion mit größter Absorption) lagen die berechneten Temperaturerhöhungen zufolge der Exposition bei weniger als 0,05 °C (TETRA) bzw. 0,025 °C (GSM900).

Die Messungen der Hintergrundfelder am Probandenplatz ergaben, dass die statische magnetische Flussdichte in allen untersuchten Positionen im Normalbereich des statischen Erdmagnetfeldes, d. h. zwischen 40 und 50 µT lag. Außer bei 50 Hz lagen alle Immissionen im Frequenzbereich zwischen 5 Hz und 3 GHz unterhalb der Nachweisgrenzen der verwendeten Messgeräte, was die Effektivität der Abschirmmaßnahmen in den Probandenräumen bestätigt.

5.2 REKRUTIERUNG

Für die Studie haben sich insgesamt 123 Interessentinnen gemeldet. Davon haben 68 Frauen die Fragebögen ausgefüllt, die notwendig sind, um zu überprüfen, ob sie für eine Studienteilnahme geeignet sind. Die restlichen 55 hatten nach einem ausführlichen informierenden Telefongespräch entweder kein Interesse mehr oder sie erfüllten Kriterien, die mit einer Studienteilnahme nicht vereinbar waren. Nach Durchsicht der Fragebögen wurden 49 Frauen zur medizinischen Voruntersuchung eingeladen, bei 19 lagen Ausschlusskriterien vor. Alle Frauen, die zur medizinischen Voruntersuchung eingeladen wurden, sind auch zur Gewöhnungsnacht aufgenommen worden. 30 von ihnen konnten nach der Gewöhnungsnacht in die Studie eingeschlossen werden. Bei 14 Probandinnen wurden Anzeichen für eine Schlafstörung festgestellt und 5 Probandinnen haben die Studie vorzeitig beendet.

Die eingeschlossenen 30 Probandinnen waren im Durchschnitt 67,8 ± 5,7 Jahre alt. Im Mittel brauchten die Frauen bei der Gewöhnungsnacht 17,8 min ± 14,2 min zum Einschlafen. Die Schlafeffizienz in dieser ersten Nacht lag bei durchschnittlich 83,3 % ± 6,8 %. Bei allen Frauen waren der Apnoe-Hypopnoe-Index unter 15 pro Stunde und der Index für periodische Beinbewegungen mit Arousal unter 20 pro Stunde.

5.3 UNTERSUCHUNG DER PROBANDINNEN

5.3.1 Ergebnisse zum Schlaf

Aus den Schlafaufzeichnungen kann eine Fülle an Daten gewonnen werden, die die sogenannte Schlafarchitektur beschreiben. Hier wurden die gesamte Schlafzeit, die Schlaf- und REM-Latenzen, die Schlafeffizienz, der Anteil Wach nach Schlafbeginn sowie die Dauer der Schlafstadien (drei Stadien, die sich in der Tiefe des Schlafes unterscheiden und ein REM-Schlafstadium; REM = rapid eye movement) in Minuten und deren Anteil von der gesamten Nacht in Prozent für die Auswertung herangezogen. Die Ergebnisse der Untersuchung eines möglichen Expositionseffektes auf die Gehirnaktivität im Schlaf zeigten nur sehr geringe Auswirkungen auf die Struktur des Schlafes. Lediglich die Schlaf- und REM-Latenzen liegen unter den Expositionsbedingungen statistisch signifikant verändert vor (Schlaf-Latenz: $F(2,58)=6,00$, $p=0,0498$; REM-Latenz: $F(2,58)=6,17$, $p=0,0457$). Beim paarweisen Vergleich wird deutlich, dass die REM-Latenz unter der TETRA-Exposition verkürzt ist.

Die Auswertung der Schlafdaten auf mikrostruktureller Ebene erfolgte für die gesamte Nacht. Es wurde zum einen überprüft, ob die Expositionsbedingungen einen Einfluss auf die Schlafspindeldichte (Anzahl Schlafspindeln pro 30 Sekunden N2-Schlaf) an den Ableitpositionen C3 und C4 haben. Die statistische Analyse ergab, dass die Schlafspindeldichte durch die Exposition keine statistisch signifikanten Veränderungen aufwies.

Zum anderen wurde das Schlaf-EEG quantitativ mittels Powerspektralanalyse ausgewertet. Dafür wurden die Powerspektralwerte des NREM[1)]- und des REM-Schlafes jeweils in vier verschiedene Frequenzbänder (Delta, Theta, Alpha und Beta1) eingeteilt. Die Auswertung erfolgte für die gemessenen EEG-Aktivitäten an 6 der 19 Ableitpositionen. Bei einem paarweisen Vergleich zwischen den einzelnen Expositionsbedingungen konnte für den NREM-Schlaf eine statistisch signifikante Abnahme der EEG-Power im Theta-Frequenzband und im Alpha-Frequenzband jeweils an der Ableitposition F3 infolge einer GSM-Exposition im Vergleich zu Sham festgestellt werden (Theta: $p=0,0384$; Alpha: $p=0,0113$). Während im NREM-Schlaf unter der TETRA-Exposition im Vergleich zu Sham keine statistisch signifikanten Variationen in den untersuchten Frequenzbändern beobachtet werden konnten, zeigte sich beim Vergleich zwischen den beiden Verum-Expositionsbedingun-

[1)] non-rapid eye movement

gen eine erhöhte EEG-Power unter der TETRA-Exposition im Beta1-Frequenzband an der Ableitposition O2 (p=0,0384). Statistisch signifikante Unterschiede in den EEG-Aktivitäten des REM-Schlafes ergaben sich nur beim Vergleich zwischen den beiden Verum-Expositionsbedingungen. So lagen an der Ableitposition F3 die EEG-Power im Alpha-Frequenzband und im Beta1-Frequenzband unter der TETRA-Exposition erhöht vor (Alpha: p=0,0427; Beta1: p=0,0197). Zusätzlich konnte ein entsprechender Expositionseffekt auch auf die EEG-Power im Beta1-Frequenzband an der Ableitposition C3 ermittelt werden (p=0,0197).

5.3.2 Ergebnisse zur Gehirnaktivität und zu kognitiven Leistungen im Wachzustand

Die Tagesuntersuchungen starteten mit dem Pupillographischen Schläfrigkeitstest, der ein nichtinvasiver Test zur Objektivierung des Grades der zentralnervösen Aktivierung und somit indirekt auch der Schläfrigkeit ist. Über eine Dauer von elf Minuten wird in einem komplett abgedunkelten Raum das Pupillenverhalten gemessen. Ein statistisch signifikanter Effekt der Expositionsbedingungen auf den Pupillenunruheindex (PUI), welcher die Veränderungen der Pupillenweite in Millimeter pro Minute angibt, konnte nicht festgestellt werden.

Der darauf folgende Alpha Attenuation Test stellt ebenfalls eine physiologische Methode zur Erfassung von Variationen im Grad der Schläfrigkeit dar. Für die Auswertung wurden die okzipitale Alpha-Aktivität bei geöffneten und bei geschlossenen Augen sowie der sich daraus ergebende Koeffizient (AAC) herangezogen. Letzterer kann als Indikator physiologischer Schläfrigkeit betrachtet werden. Weder die GSM- noch die TETRA-Exposition hatte einen statistisch signifikanten Einfluss auf die untersuchten Ergebnisparameter.

Direkt im Anschluss erfolgte ein fünf-minütiges Ruhe-EEG, welches spontane Schwankungen der Hirnstromaktivität im Ruhezustand (ohne Intervention) bei geschlossenen Augen misst. Für die Auswertung wurden die Frequenzen des EEGs nach den Empfehlungen der Internationalen Pharmaco-EEG-Gesellschaft (IPEG) zusammengefasst. Bei einer paarweisen Betrachtung zwischen den Expositionsbedingungen zeigte sich, dass die GSM-Exposition im Vergleich zur Shambedingung zu keinen statistisch signifikanten Unterschieden in den untersuchten Frequenzbändern an allen 19 Ableitelektroden führte. Unter der TETRA-Exposition im Vergleich zu Sham lag die EEG-Aktivität an der Ableitposition Pz im Alpha1-Frequenzband (p= 0,0291) und an den Ableitpositionen C4 und T4 im Alpha2-Frequenzband (p= 0,0248; p= 0,0092) statistisch signifikant erhöht vor. Eine statistisch signifikante Abnahme der EEG-Power im Beta2-Frequenzband unter der TETRA-Exposition im Vergleich zu Sham konnte an der Ableitposition F8 beobachtet werden (p= 0,0229). Beim Vergleich zwischen den beiden Verum-Expositionsbedingungen zeigte sich unter TETRA eine erhöhte EEG-Aktivität im Delta-Frequenzband an der Ableitposition F3 (p= 0,0497) und im Alpha1-Frequenzband an der Ableitposition Pz (p= 0,0455).

Neben der spontanen Hirnaktivität können mittels EEG auch Aktivitätsmuster abgeleitet werden, die im Zusammenhang mit einem bestimmten Ereignis, z. B. einer Reizdarbietung, auftreten. Die Verarbeitung der physikalischen Parameter des Reizes wird dabei überwiegend in so genannten evozierten oder exogenen Potentialen ausgedrückt und geht mit relativ kurzen Latenzen einher. Komplexere Verarbeitungsprozesse, die eher unabhängig von der Beschaffenheit des Reizes sind und hinsichtlich psychologischer Faktoren variieren können, spiegeln sich in ereigniskorrelierten oder endogenen Potentialen wider. Bestimmte endogene Potentiale können aber auch vor einem Ereignis beobachtet werden, wenn mit Ereignis nicht die Reizdarbietung, sondern die Reaktion auf einen Reiz gemeint ist. Diese Potentiale werden als langsame Hirnpotentiale bezeichnet. Sie reflektieren Informationsverarbeitungsprozesse, die zur Vorbereitung auf ein späteres, gezieltes Handeln notwendig sind.

In der vorliegenden Studie wurden entsprechende langsame Hirnpotentiale u. a. durch eine visuelle Folgereaktionsaufgabe erzeugt. Am Bildschirm wurde dafür eine symbolisierte Uhr dargestellt, deren Uhrzeiger sich gegen den Uhrzeigersinn drehte. Per Tastendruck sollte dieser Zeiger nach drei kompletten Umläufen so genau wie möglich in der 12-Uhr-Position gestoppt werden. Die Amplitude des erzeugten langsamen Hirnpotentials wies an keiner der 13 betrachteten Ableitpositionen unter der Exposition statistisch signifikante Veränderungen auf. Ebenso war die Genauigkeit gemessen in absoluter Winkelabweichung, mit der der Zeiger in der 12-Uhr-Position gestoppt wurde, nicht statistisch signifikant durch die Expositionsbedingungen beeinflusst.

In einem weiteren Test zu langsamen Hirnpotentialen wurde der Einfluss der Expositionsbedingungen auf die *contingent negative variation* oder auch Erwartungswelle überprüft. Dafür wurde mittels einer symbolisierten Uhr ein Warnreiz-Zielreiz-Paradigma angewendet. Das Erscheinen des Zeigers in der 12-Uhr-Position stellte den Warnreiz und das Loslaufen des Zeigers den Zielreiz dar. Die Exposition hatte an keiner der 6 betrachteten Ableitpositionen einen statistisch signifikanten Effekt auf die zwischen diesen beiden Reizen zu beobachtende zunehmende Negativierung des EEGs. Die Reaktionszeiten beim Stoppen eines Zeigers unterschieden sich ebenfalls nicht statistisch signifikant zwischen den Expositionsbedingungen.

Das Bereitschaftspotential ist ein langsames Hirnpotential, welches vor einer selbstinitiierten Bewegung entsteht. Eine einfache Tastendruckaufgabe ist ausreichend, um dieses Potential zu untersuchen. Für die Auswertung wurden das eigentliche (frühe) Bereitschaftspotential, das sich in einer langsam ansteigenden Negativierung bis kurz vor Bewegungsbeginn zu erkennen gibt, und der steile Anstieg unmittelbar vor der Bewegung, der die späte Komponente des Bereitschaftspotentials darstellt, herangezogen. Auch hier konnte an keiner der 6 betrachteten Ableitpositionen ein statistisch signifikanter Einfluss der Exposition auf die untersuchten Amplituden festgestellt werden.

Beim Test „Wahlreaktion auf Töne“, bei dem sich die Probandinnen auf abwechselnd vorgespielte hohe und tiefe Töne konzentrieren und auf diese mit geschlossenen Augen per Tastendruck reagieren sollten, zeigten der Mittelwert und die Standardabweichung der erfassten Reaktionszeiten sowie die Anzahl der Fehler keine statistisch signifikanten Veränderungen durch die Expositionsbedingungen.

Bei einem Oddball-Test, bei dem die Aufgabe darin bestand, immer dann eine Taste zu drücken, wenn ein hoher Ton zu hören war, zeigten sich beim Mittelwert der Reaktionszeit und der Anzahl der falschen Reaktionen auch keine statistisch signifikanten Unterschiede zwischen den Expositionsbedingungen.

Im Test zur Überprüfung des Arbeitsgedächtnisses wurde die sogenannte „n-back- Aufgabe“ verwendet. Dieser Test erforderte von der Versuchsperson, sich einerseits Informationen kurzfristig zu merken, gleichzeitig neue Informationen aufzunehmen und auf zuvor Gesehenes zu reagieren. In dieser Studie war ein maximaler Schwierigkeitsgrad von „2-back“ vorgesehen. Entsprechend wurden für die Auswertung die Anzahl der richtigen Reaktionen sowie der Mittelwert der Reaktionszeit für die Schwierigkeitsgrade „0-back“, „1-back“ und „2-back“ getrennt berechnet und analysiert. Zusammenfassend lässt sich sagen, dass die Expositionsbedingungen bei allen Schwierigkeitsgraden weder einen statistisch signifikanten Einfluss auf die Reaktionsgeschwindigkeit noch auf die Anzahl der richtigen Reaktionen hatten.

In einer Aufgabe zur geteilten Aufmerksamkeit mussten sich die Frauen gleichzeitig auf Kreuze, die auf dem Monitor erschienen, und auf hohe und tiefe Töne, die abwechselnd zu hören waren, konzentrieren. Immer dann, wenn vier Kreuze ein Quadrat bildeten oder die Tonabfolge unregelmäßig war, musste so schnell wie möglich eine Reaktionstaste gedrückt werden. Es wurden die Anzahl der richtigen Reaktionen auf die Kreuze, die ein Quadrat bilden (optischer Teil des Tests), und die Anzahl richtig erkannter Tonfolgen (akustischer Testteil) erfasst sowie die Reaktionsgeschwindigkeit mit der die Taste gedrückt wurde und deren Standardabweichung. Alle Werte wurden für die Teilaufgaben getrennt und für den gesamten Test berechnet. Keiner der insgesamt 12 untersuchten Werte unterschied sich statistisch signifikant zwischen den Expositionsbedingungen.

Im Vigilanztest ging es darum, über längere Zeit auf ein selten vorkommendes Ereignis schnell zu reagieren. In diesem Test war das seltene Ereignis ein größerer Ausschlag eines Balkens, der sich auf dem Monitor auf und ab bewegte. In diesem Test wurden die mittleren Reaktionsgeschwindigkeiten (arithmetisches Mittel und Median) und deren Standardabweichung sowie die Anzahl der richtig getätigten Tastendrucke erfasst, zum einen für die Dauer des gesamten Tests (ca. 10 Minuten) und zum anderen für die erste und die zweite Testhälfte getrennt. Der Median der Reaktionszeit war in den ersten fünf Minuten durch die Expositionsbedingungen statistisch signifikant beeinflusst ($F(2,58)=4,80$, $p=0,0118$). Ein paarweiser Vergleich zwischen den einzelnen Verumbedingungen und der Scheinbedingung ließ eine erhöhte Reaktionszeit unter der EMF-Befeldung erkennen.

Im Test zur selektiven Aufmerksamkeit wurde überprüft, wie gut die Frauen in der Lage waren, das plötzliche Auftauchen von Symbolen in einer bestimmten Zusammenstellung zu entdecken - in diesem Test drei Dreiecke, die mit der Spitze nach unten zeigen - und sich von den anderen Symbolen (Dreiecken, die mit der Spitze nach oben zeigen) nicht ablenken zu lassen. In einer schnellen Abfolge wurden wiederholt Reihen von sieben Dreiecken gezeigt, wobei in jedem Bild andere Dreiecke nach oben bzw. nach unten zeigten. Es wurden der Mittelwert und die Standardabweichung der Reaktionszeit sowie die Anzahl der richtigen Reaktionen erhoben. Keiner der drei untersuchten Werte wurde durch die Expositionsbedingungen statistisch signifikant verändert.

6. UMSETZUNG DER ERGEBNISSE

Im Ressortforschungsplan des BMUB 2016 wird eine ähnliche Studie an älteren Männern durchgeführt (3616S82430). Daten für junge Männer liegen bereits vor. Ein Vergleich aller Ergebnisse wird den Strahlenschutz der gesamten Bevölkerung verbessern; alters- oder geschlechtsspezifisch besonders empfindliche Gruppen werden identifiziert. Die Ergebnisse werden wissenschaftlich publiziert und werden der Überprüfung der Grenzwerte dienen.

Thema

Kosmetik, Wellness, Gesundheit - optische Strahlenquellen außerhalb der Medizin. Systematische Erfassung und Charakterisierung von Strahlenquellen und ihren Anwendungen im gewerblichen sowie im Heimbereich

Subject

Cosmetics, wellness, health - non medical optical radiation sources. Systematic identification and characterisation of optical radiation sources and their applications in the professional and home area

Kennzeichen	**Beginn**	**Ende**	**Fördermittel**
3614S80007	01.01.2015	31.10.2015	EUR 115.192,-

Forschungs- / Auftragnehmer
Institut für Lasertechnologien in der Medizin und Messtechnik an der Universität Ulm

Projektleitung	**Fachbetreuung BfS**	**verantwortlich für den Text**
D. Russ	Dr. M. Asmuß / AG-SG 1.5	D. Russ

1. ZIELSETZUNG

Immer häufiger werden Quellen optischer Strahlung vom ultravioletten bis zum infraroten Spektralbereich zu kosmetischen Zwecken oder im Wellnessbereich sowohl von kommerziellen Anbietern verwendet, aber auch für die Anwendung im Heimbereich angeboten. Ziel dieser Untersuchung war die systematische Erfassung und Charakterisierung optischer Strahlungsquellen im Spektralbereich zwischen 100 nm und 1 mm nach Herstellerangaben sowie deren Anwendungen außerhalb der Medizin. Dabei sollte besonderes Augenmerk auf Anwendungen gerichtet werden, die von Personen ohne medizinische Ausbildung durchgeführt werden. Die Anwendungen sollten beschrieben und mögliche Nebenwirkungen und Gefährdungen durch die Anwendung anhand wissenschaftlicher Publikationen bewertet und abgeschätzt werden. Die Geräte sollten, soweit es die verfügbaren technischen Daten zulassen, in Bezug auf die geltenden gesetzlichen Regelungen und Normen bewertet werden.

2. EINZELZIELSETZUNG

2.1 SYSTEMATISCHE RECHERCHE DER ANWENDUNGEN UND DER EINGESETZTEN UND VERFÜGBAREN GERÄTE

Eine systematische Recherche sollte unter Nutzung aller in Frage kommender Informationsquellen durchgeführt werden.

Auf dieser Recherche basieren:

- Erstellung eines Überblicks über Anwendungen und Einsatzbereiche optischer Strahlung am Menschen außerhalb der Medizin, verbunden mit einer Abschätzung der Relevanz im Hinblick auf die Strahlenexposition von Verbraucherinnen und Verbrauchern
- basierend auf dieser Recherche optische Charakterisierung eingesetzter Geräte und verwendeter optischer Strahlenquellen
- Einschätzung hinsichtlich der den Nutzern jeweils in Aussicht gestellten und auf Grund der physikalischen Gegebenheiten plausiblen Wirkungen
- soweit auf Basis der verfügbaren Informationen möglich, Bewertung der Anwendungen im Hinblick auf die Einhaltung geltender Normen, Grenzwerte und Empfehlungen der Internationalen Kommission zum Schutz vor nichtionisierender Strahlung (ICNIRP) sowie der EU.

2.2 SYSTEMATISCHE RECHERCHE GESUNDHEITSRELEVANTER AKUTER UND CHRONISCHER WIRKUNGEN BEI ANWENDUNGEN VON OPTISCHEN STRAHLUNGSQUELLEN

In vielen Fällen ist der Übergang von kosmetischen zu medizinischen Anwendungen optischer Strahlung fließend. Daher kann bei der Recherche gesundheitsrelevanter Wirkungen und Nebenwirkungen meist auf wissenschaftliche Publikationen zu den einzelnen Anwendungsgebieten in der Medizin zurückgegriffen werden.

In diesem Projektteil sollte die Datenlage in vorwiegend gutachtergestützten wissenschaftlichen Zeitschriften recherchiert und mögliche Risiken für den Anwender oder Kunden dargestellt werden.

3. METHODIK

3.1 SYSTEMATISCHE RECHERCHE DER ANWENDUNGEN UND DER EINGESETZTEN UND VERFÜGBAREN GERÄTE

Mit einer Recherche im Internet, einschlägigen Fachpublikationen und Messekatalogen sowie den Produktseiten bekannter Hersteller wurden die Anwendungen identifiziert, die im Bereich Kosmetik, Beauty, Wellness unter Anwendung von optischer Strahlung für gewerbliche und private Anwender angeboten und beworben werden. Basierend auf den Anwendungen wurden die jeweils für die Anwendung geeigneten Geräte recherchiert und charakterisiert. Dabei wurden, soweit dies möglich war, die Bedienungsanleitungen ausgewertet und die technischen Spezifikationen der Geräte aufgelistet. In Einzelfällen wurde der Hersteller oder einzelne Anwender auch telefonisch oder per E-Mail befragt.

3.2 SYSTEMATISCHE RECHERCHE GESUNDHEITSRELEVANTER AKUTER UND CHRONISCHER WIRKUNGEN BEI ANWENDUNGEN VON OPTISCHEN STRAHLUNGSQUELLEN

Für die Auswertung der Datenlage im Hinblick auf gesundheitsrelevante Nebenwirkungen der Anwendung optischer Strahlung wurde für die jeweiligen Anwendungen eine systematische Recherche der medizinischen Fachliteratur in den Literaturdatenbanken des amerikanischen National Institut of Health (PubMed) sowie der Literaturdatenbank Scopus durchgeführt. Daneben wurde noch die MAUDE-Datenbank der U.S. Food and Drug Administration (FDA) verwendet, in der von Anwendern Zwischenfälle bei der Verwendung von Geräten gemeldet werden können. Die bei der Recherche identifizierten Anwendungsfehler und Nebenwirkungen wurden auf die nicht medizinischen Anwendungen übertragen und bewertet.

4. DURCHFÜHRUNG

Um einen umfassenden Überblick über die für das Projekt relevanten Anwendungen zu erhalten, wurde zunächst das Angebot von Kosmetikstudios, Anbietern von Wellnessprodukten und Tattoostudios umfassend recherchiert. Anschließend wurde für jede gefundene Anwendung eine Produktrecherche durchgeführt und die optische Spezifikation der Produkte möglichst vollständig erfasst. Anhand dieser Daten erfolgte eine Einschätzung des Gefährdungspotentials der optischen Strahlung durch den Vergleich mit relevanten Regularien und Normen. Auf Grund der Vielfalt der optischen Strahlenquellen wurden auch die Charakteristika und die Unterschiede der verschiedenen Strahlenquellen erläutert. Die beabsichtigte Wirkungsweise und Wechselwirkung der optischen Strahlung mit dem Gewebe wurde für jede Anwendung beschrieben. Abschließend wurden für jede Anwendung die Risiken und Nebenwirkungen sowie mögliche Anwendungsfehler recherchiert und beschrieben.

5. ERGEBNISSE

Die Anwendungen optischer Strahlung zu kosmetischen oder Wellness-Zwecken lassen sich im Wesentlichen wie folgt gliedern:

- Lichttherapie/Tageslichtlampen
- Infrarotlampen und -kabinen
- Softlasertherapie/LLL[1)]-Akupunktur
- Hautverjüngung/Anti-Aging
- Lipolaser & Cellulite
- Tattooentfernung, Entfernung von Permanentmakeup, Pigmententfernung
- Epilation mit Laser-Geräten oder mit Intensiven gepulsten Lichtquellen = Intense-Pulse-Light (IPL)

Insgesamt wurden 226 Geräte recherchiert und technische Daten, soweit verfügbar, zusammengestellt. Soweit auf der Basis dieser Informationen möglich, wurden Geräte und Anwendungen charakterisiert.

[1)] Low Level Laser

Postulierte Wirkmechanismen sowie potentielle Gefährdungen wurden im Überblick zu den jeweiligen Bereichen diskutiert. Eine klare Trennung zwischen Geräten für den professionellen Anwenderbereich einerseits und Heimanwendungen andererseits war häufig nicht erkennbar. Als Orientierungshilfe wurde der Preis herangezogen, wobei ein Preis von weniger als 500 € als potentiell auch für die Heimanwendung interessant betrachtet wurde.

5.1 TAGESLICHTTHERAPIELAMPEN/LICHTDUSCHEN

Hier werden überwiegend Leuchtstoffröhren oder LEDs als Strahlenquelle eingesetzt. Sowohl im Preis-Segment über als auch unter 500 € sind die meisten recherchierten Produkte gemäß Herstellerangaben als Medizinprodukte (Klasse IIa) klassifiziert. Bei diesen Lampen ist wichtig, dass keine UV-Strahlung abgegeben bzw. diese herausgefiltert wird. Die verfügbaren Informationen bei den recherchierten Produkten beschränkten sich meist auf pauschale Angaben wie z. B. „UV- und IR-Emission für Auge und Haut unbedenklich“ oder „UV-Filter“ oder fehlen bei einigen Geräten ganz. Die gelisteten Geräte erreichen gemäß Herstellerangaben hohe Beleuchtungsstärken von 10 000 Lux und mehr, wobei allerdings die Wirksamkeit für den intendierten Zweck (Stimmungsaufhellung bei Lichtmangel, Milderung von z. B. „Winterdepression“) insbesondere vom Blaulichtanteil abhängt und ohne detailliertere Angaben zum Spektrum letztlich nicht beurteilt werden kann. Generell liegen jedoch Publikationen vor, die die prinzipielle Wirksamkeit derartiger Lampen belegen. Auf Grund der zugänglichen technischen Daten war eine Gefährdungsbeurteilung nicht möglich.

Im Sinne der Kundeninformation wünschenswert wäre die Angabe der Risikogruppe nach DIN EN 62471 - Photobiologische Sicherheit von Lampen und Lampensystemen (auch freie Gruppe oder RG 1), damit der Anwender das Risiko der Anwendung besser einschätzen kann.

5.2 LOW-LEVEL-LASER

Im weiten Feld der sogenannten „Low-Level-Laser“ (LLL)-Therapieanwendungen (u. a. Faltenreduktion, „Hautverjüngung“) sind sowohl die postulierte Wirkungsweise als auch die Wirksamkeit vieler Anwendungen häufig wissenschaftlich umstritten bzw. nicht wissenschaftlich geklärt. Geräte und Anwendungen sind jedoch weit verbreitet (allein in dieser Recherche 56 gelistete Geräte, sowohl für professionelle Anwender als auch für Heimanwendung). Eine tiefergehende Beurteilung der Wirksamkeit einerseits und des Gefährdungspotentials andererseits war auf Grund fehlender relevanter Informationen nicht möglich, jedoch lagen in den meisten Fällen Angaben zur Laserklasse vor (meistens 3B oder 3R, gefährlich für die Augen). Von den 41 gelisteten Diodenlasern war bei 26 die Klassifizierung als Medizinprodukt angegeben.

Bei vielen „Low-level“-Heimtherapiegeräten handelt es sich nicht um Laserquellen, sondern um Leuchtstoffröhren, Halogenlampen oder LEDs, allerdings werden auch Geräte bis Laser-Risikoklasse 3B angeboten.

Zur „Laserlipolyse“ werden gemäß dieser Recherche im professionellen Bereich Diodenlaser eingesetzt. Nur bei einem von 6 Geräten war die Laserklasse (Klasse 2) angegeben. Bei dem einzigen für diese Anwendung gelisteten Gerät für die Heimanwendung handelt es sich bei der Strahlenquelle um eine LED, nicht um einen Laser.

5.3 UV-C-LAMPEN

Ein Thema, das derzeit auch von der Europäischen Kommission diskutiert wird, sind UV-C-Desinfektionslampen in Verbraucherhand. In der vorliegenden Recherche wurden vier Geräte zur Oberflächendesinfektion gelistet. Bei keiner dieser für den Heimgebrauch beworbenen UV-C emittierenden Strahlenquellen wurden Hersteller-Angaben zur Bestrahlungsstärke oder anderen relevanten radiometrischen Größen gefunden. Als ähnlich dürftig erwiesen sich die Angaben zu Heimgeräten für das Aushärten von Nagellack, wobei meist Wellenlängen um 365 nm (UV-B) emittiert werden. Bei 5 von 11 gelisteten Geräten waren nicht einmal Angaben zu den abgegebenen Wellenlängen auffindbar. Wegen möglicher Risiken für die vorderen Augenmedien sollte ein direkter Blick in eine UV-C-Quelle vermieden bzw. die Augen durch eine geeignete Brille geschützt werden.

5.4 TATTOO-ENFERNUNG, EPILATION

Bei Lasern und inkohärenten Strahlenquellen professioneller Anwender, die zur Entfernung von Tattoos, Permanent-Makeup oder pigmentieren Hautveränderungen sowie zur dauerhaften Haarentfernung eingesetzt werden, handelt es sich um Quellen optischer Strahlung, deren Gefährdungspotential für die Augen und die Haut unstrittig ist, da für die Wirksamkeit eine entsprechende Energiedichte erforderlich ist. Angaben zur Energiedichte liegen bei den meisten (aber nicht bei allen) gelisteten Geräten vor. Die gelisteten professionellen Laserquellen gehören sämtlich der Laserklasse 4 (gefährlich für Augen und Haut) an. Bei den Epilier-

geräten für die Heimanwendung handelt es sich ganz überwiegend (11 von 13 gelisteten Geräten) um inkohärente Strahlenquellen (IPL-Geräte, „Blitzlampen“) und nur in zwei Fällen um Diodenlaser. Bei den meisten IPL-Geräten für die Heimanwendung werden Energiedichten von maximal 5 J/cm^2 aufgeführt, es finden sich aber auch Geräte, bei denen Angaben zur Energiedichte fehlen. Gleiches gilt für einen der beiden Diodenlaser, für das zweite Gerät werden Energiedichten von 7-22 J/cm^2 genannt. Bei allen Heimgeräten wird das Vorhandensein eines Auslöseschutzes angegeben, d. h. die Geräte sollten nur auslösen, wenn Hautkontakt gegeben ist. Damit soll der Augenschutz gewährleistet sein. Die Wirkung an der Haut ist davon jedoch unberührt. Für beide gelisteten Laser-Epiliergeräte für die Heimanwendung wird die Laserklasse 1 angegeben, obwohl zumindest bei einem Gerät explizit angeführt wird, dass ein Klasse 3B Laser enthalten ist, der an der Haut die entsprechenden Wirkungen hervorruft und mit entsprechenden Risiken verbunden ist. (Anmerkung: Die Bezeichnung „Laserklasse 1C“ war bei Erstellung der Recherche noch nicht zulässig und fand sich auch auf keinem der gelisteten Geräte).

Die bei diesen Anwendungen verwendeten Energiedichten können selbst bei bestimmungsgemäßer Verwendung unter bestimmten Bedingungen, die vom medizinischen Laien meist nicht sicher beurteilt werden können, zu Schäden und unerwünschten Nebenwirkungen führen. Bei einer vorbestehenden, nicht erkannten dermalen Erkrankung, wie z. B. einem malignen Melanom, kann die Anwendung von optischer Strahlung hoher Leistungs- oder Energiedichte durch die oberflächliche Veränderung der pigmentierten Hautveränderung die Diagnose und damit die notwendige Behandlung verzögern oder behindern.

5.5 INFRAROTLAMPEN

Bei den gelisteten Infrarotlampen fällt auf, dass bei keinem einzigen Gerät Angaben zu den spektralen Eigenschaften und bei den meisten Geräten auch keine Angaben zur Leistung auffindbar waren. Generell schützt im Normalfall das Wärmeschmerzempfinden vor zu starker Erwärmung des Gewebes. Alkohol, Drogen und Medikamente können das Schmerzempfinden jedoch herabsetzen und das Risiko für thermische Schäden erhöhen.

5.6 FAZIT

Nahezu alle betrachteten Geräte nehmen für sich in Anspruch, bei der Anwendung entweder physiologische oder physikalische Effekte im Körper hervorzurufen. Wenn dies der Fall ist, sollten derartige Geräte als medizinische Produkte angesehen und auch als solche zertifiziert werden.

Besonders kritisch im Hinblick auf die Nutzergefährdung werden die Epilation, die Tattooentfernung sowie in einigen Fällen auch die Softlasertherapie eingeschätzt. Die bei diesen Anwendungen verwendeten Energiedichten können selbst bei bestimmungsgemäßer Verwendung unter bestimmten Bedingungen, die vom medizinischen Laien meist nicht sicher beurteilt werden können, zu Schäden und unerwünschten Nebenwirkungen führen. Bei einer vorbestehenden, nicht erkannten dermalen Erkrankung, wie z. B. einem malignen Melanom, kann die Anwendung von optischer Strahlung hoher Leistungs- oder Energiedichte auf Grund oberflächlicher Veränderung der pigmentierten Hautveränderung die Diagnose und damit die notwendige Behandlung verzögern oder behindern.

Eine weitergehende systematische Beurteilung des Wirkungs- und Gefährdungspotentials der Geräte war auf Grund fehlender Informationen zu relevanten Parametern nicht möglich.

6. UMSETZUNG DER ERGEBNISSE

Die umfangreiche Recherche stellt verfügbare Informationen über Indikationen und technische Daten für insgesamt 226 optische Strahlung emittierende Geräte aus den unterschiedlichsten Anwendungsbereichen außerhalb der Medizin zusammen. Wie sich im Projekt herausstellte, sind die Herstellerangaben zu den technischen Details bei weitem nicht ausreichend für eine systematische Beurteilung des Wirkungs- und Gefährdungspotentials oder um vom Hersteller vorgenommene Klassifizierungen nachvollziehen zu können. Hier zeigt die Recherche erhebliche Defizite im Hinblick auf Verbraucherinformationen auf.

Trotz dieser Einschränkungen liefert die Arbeit Informationen über postulierte Wirkungsmechanismen und mögliche Risiken in den unterschiedlichen Verwendungsgebieten und ermöglicht eine Orientierung über auf dem Markt befindliche Geräte und Anwendungen. Ein Anspruch auf Vollständigkeit kann angesichts der Vielfalt auf diesem Gebiet nicht erhoben werden. Desgleichen muss eine solche Recherche notwendigerweise eine Momentaufnahme des Marktes sein.

Thema

Weiterführende Untersuchungen zur Dosimetrie einer tierexperimentellen Studie an Labornagern mit hochfrequenten elektromagnetischen Feldern

Subject

Refined evaluations on the dosimetric assessment of an animal laboratory study on radiofrequency electromagnetic fields

Kennzeichen	**Beginn**	**Ende**	**Fördermittel**
3615S82433	01.05.2016	31.10.2016	EUR 104.720,-

Forschungs- / Auftragnehmer
IT'IS Foundation, CH-Zürich

Projektleitung	**Fachbetreuung BfS**	**verantwortlich für den Text**
Prof. Dr. N. Kuster	D. Geschwentner / AG-SG 1.4	Dr. M. Murbach, Dr. B. Lloyd, Dr. S. Farcito

1. ZIELSETZUNG

Der rasante Anstieg der Anzahl mobiler End-Geräte hat zu wachsender Besorgnis bezüglich der Sicherheit von elektromagnetischer Strahlung geführt. Zwei kürzlich publizierte Studien an Labor-Mäusen haben Hinweise auf eine kokanzerogene oder tumorpromovierende Wirkung hochfrequenter elektromagnetischer Felder erbracht, weshalb vor allem das potenzielle Krebsrisiko von Langzeit-Expositionen erneut in den Fokus gerät.

Ziel dieser Untersuchung war es, die Versuchsbedingungen des im Dezember 2014 abgeschlossenen Forschungsvorhabens 3611S30017 „Tumorpromotion durch hochfrequente elektromagnetische Felder in Kombination mit kanzerogenen Substanzen - synergistische Wirkungen“, welches für ein spezielles Mausmodell erhöhte Tumorinzidenzen in der Lunge und der Leber gefunden hat, wenn die Tiere sowohl einem Tumorinitiator als auch hochfrequenten elektromagnetischen Feldern (HF-EMF) ausgesetzt waren, in einer zusätzlichen Detailtiefe zu charakterisieren. Dazu wurden Feldabsorption und resultierende Temperaturerhöhungen in Mäusen mit Hilfe von Computersimulationsrechnungen ermittelt und organspezifisch erfasst.

2. EINZELZIELSETZUNG

Die einzelnen Zielsetzungen des Forschungsvorhabens wurden in drei Arbeitspaketen (AP) bearbeitet.

2.1 ANATOMISCHE MODELLE VON LABORMÄUSEN (AP 1)

Nach einer Bestandsaufnahme der existierenden anatomischen Maus-Modelle wurden fehlende Entwicklungsstufen der Tiere identifiziert und entsprechende Bilddaten akquiriert. Daraus wurden dann mittels der Segmentierung in die einzelnen anatomischen Strukturen numerische Modelle erstellt, welche für die elektromagnetischen und thermischen Simulationen verwendet werden konnten.

2.2 VALIDIERUNG DER URSPRÜNGLICHEN DOSIMETRIE (AP 2)

Um die Expositions-Szenarien der ursprünglichen Dosimetrie-Daten aus dem Forschungsvorhaben 3611S30017 nachvollziehen zu können, wurde ein entsprechendes numerisches Modell der Expositionseinrichtung erstellt. Die Validierung der ermittelten einfallenden Felder erfolgte anhand des Vergleichs mit den verfügbaren Messdaten der Referenz-Dosimetrie.

2.3 DETAILLIERTE DOSIMETRIE MIT DEN ANATOMISCH KORREKTEN MODELLEN (AP 3)

Das letzte Arbeitspaket beinhaltete das Erstellen und Durchführen der elektromagnetischen und thermischen Simulationen mit den existierenden und neu entwickelten anatomisch korrekten Maus-Modellen. Dabei wurde die Variabilität als Folge der freien Beweglichkeit der Tiere miteinbezogen. Die spezifische Absorptions-Rate (SAR) wurde gemittelt über

- den ganzen Körper
- einzelne Organe und Gewebe
- zusammenhängendes Gewebe einer Masse von 1 g (wo möglich).

Ferner wurden die organspezifischen Temperaturerhöhungen mittels thermischer Simulationen ermittelt und im Kontext anderer relevanter Studien diskutiert.

Schließlich gibt eine Unsicherheitsanalyse Aufschluss über die zu erwartende Abweichung von unseren Bewertungen.

3. METHODIK

3.1 SIMULATION ELEKTROMAGNETISCHER FELDER

Wie in einem Großteil der wissenschaftlichen Arbeiten auf dem Gebiet der numerischen Dosimetrie wurde die Methode der finiten Differenzen im Zeitbereich (Finite-Difference Time-Domain, FDTD) verwendet. Die Methode berechnet E- und H-Feldvektoren direkt an konkreten Orten des Rechenraumes und eignet sich sehr gut zur Simulation anatomischer Modelle, da komplexe Gewebeverteilungen mit geringem Aufwand im Rechengitter abgebildet werden können.

3.2 SIMULATION DER TEMPERATURVERTEILUNG

Zur Berechnung der Temperaturverteilung in dieser dosimetrischen Anwendung mit anatomischen Modellen wurde die sogenannte biologische Wärmeübertragungsgleichung (Bio Heat Transfer Equation (BHTE); Gleichung [1]) nach Pennes verwendet:

$$\rho c \frac{\partial T}{\partial t} = \nabla \cdot (k \nabla T) + \rho Q + \rho S - \rho_b c_b \rho B (T - T_b) \qquad [1]$$

Dabei beschreibt T die Temperatur, c die spezifische Wärmekapazität, k die thermische Leitfähigkeit, ρ die Dichte, B die Perfusionsrate, Q die metabolische Wärme-Erzeugungs-Rate und S die SAR. Der Index b bezieht sich jeweils auf den Parameter vom Blut.

In der vorliegenden Analyse wurden ausschließlich Temperatur-Anstiegs-Simulationen verwendet, bei denen die initiale Temperatur auf 0 °C gesetzt wurde. Die metabolische Wärmeerzeugungsrate wird dabei nicht als Parameter benötigt. Dieses Vorgehen ist nur bei rein linearen Simulationen möglich, bei denen die Perfusion temperaturunabhängig ist und keine absoluten Temperaturen benötigt werden, wie dies zum Beispiel in einer Studie zu thermischen Gewebeschäden der Fall wäre. Die erwarteten geringen Temperatur-Erhöhungen lassen diese Vereinfachung zu. Die Änderung der Kerntemperatur der Mäuse wird bei den verwendeten Temperatur-Anstiegs-Simulationen nicht berücksichtigt. Ein möglicher Einfluss der Kerntemperatur wird jedoch in der Diskussion bewertet.

3.3 SIM4LIFE SIMULATIONS-SOFTWARE

Zur Modellierung der Expositionseinrichtung und zur dosimetrischen Analyse wurde die Simulationsplattform Sim4Life verwendet, die gemeinsam mit unserem Partner ZMT Zurich MedTech AG entwickelt wurde. Sim4Life ist als Simulationsplattform vollständig verifiziert und validiert und verwendet das oben erwähnte FDTD Verfahren, das sich besonders gut für die Simulation komplexer anatomischer Modelle eignet. Zudem wurde sie - wie auch der Vorgänger SEMCAD X - bei der Entwicklung aller unserer Expositionssysteme erfolgreich eingesetzt. Mit Sim4Life können alle gewünschten Resultate extrahiert werden, wie z. B. Werte zum E- und H-Feld, der SAR Verteilung, organspezifische SAR-Werte, Spitzenwerte der räumlich lokal gemittelten SAR-Verteilung und gewebespezifische Temperaturerhöhungen.

4. DURCHFÜHRUNG

4.1 NEUENTWICKLUNG ANATOMISCHER MAUS-MODELLE

Drei Modelle von Labormäusen wurden für dieses Projekt neu entwickelt. Die Bilddaten der Modelle JT4 (vier Wochen altes Jungtier) und T20 (Muttertier am 20. Trächtigkeitstag) wurden in Zusammenarbeit mit dem Animal Imaging Center (AIC) der ETH Zürich und der Universität Zürich akquiriert. Die Daten vom Modell JA8 (acht Wochen altes junges erwachsenes Tier) entstammen dem Digimouse-Projekt der University of Southern California.

Das AIC führte das Scannen der Mäuse in einem 9,4 T-Magnetresonanztomographen durch. Für die Segmentierung wurden die Daten interpoliert und mit der Segmentierungs-Software iSeg (Zurich Medtech, Zürich, Schweiz) zu einer dreidimensionalen Oberflächenstruktur der verschiedenen Gewebe verarbeitet.

Die frei verfügbaren Digimouse-Bilddaten wurden ursprünglich mittels Computertomographie (CT) und Kryosektionsaufnahmen gewonnen und mit einer uniformen Auflösung von 100 μm ko-registriert. Während der bereits vorhandene Digimouse-Gewebe-Atlas als Ausgangspunkt für die Segmentierung diente, wurde diese insgesamt detaillierter vorgenommen sowie um fehlende Strukturen ergänzt (z. B. Schwanz, einige Muskeln, Darm, Haut).

4.2 VALIDIERUNG DER URSPRÜNGLICHEN DOSIMETRIE

Die Expositionseinrichtung aus dem Forschungsvorhaben 3611S30017 wurde detailgetreu nachmodelliert und die Feldverteilung mit den verfügbaren Messwerten verglichen. Die gewünschte Wellenleiter-Mode (Vertikales E-Feld) wurde durch eine Waveguide-Quelle mit 1 W realisiert. Das Ende des Wellenleiters wurde absorbierend modelliert, so dass sich in der Simulation keine Stehwellen ergaben. Die tatsächlich verbauten Flachabsorber haben einen Reflexions-Dämpfungsgrad von etwa 20 dB, weshalb der Effekt auf die SAR-Werte entsprechend klein bleibt. Trotzdem wurde der Effekt der Stehwelligkeit in der Unsicherheitsanalyse miteingeschlossen.

Verschiedene Problematiken wurden adressiert, unter anderem

- fehlende Angaben über die exakte Stärke der verwendeten Hochimpedanz-Wände
- fehlende Daten zu den Kunststoff-Käfighalterungen
- unterschiedliche Angaben zu den Käfigdimensionen
- zu der Feld-Level Normalisierung.

Ebenfalls konnten die verwendeten dielektrischen Gewebe-Eigenschaften in der Referenz-Dosimetrie nicht eindeutig identifiziert werden. Trotzdem konnte die Referenz-Dosimetrie hinreichend genau, mit einer durchschnittlichen Abweichung von weniger als 20 %, reproduziert werden.

4.3 AUSGEWERTETE GRÖßEN

Die Belastung durch die HF-EMF-Exposition wurde auf folgender Basis bewertet (jeweils für die ganze Maus („alle Gewebe“) und für jede einzelne Gewebeart):

- organspezifisch gemittelte SAR (**avSAR**)
- Hinweis: Die auf „alle Gewebe“ bezogene avSAR entspricht der Ganzkörper-SAR (**wbSAR**)
- räumliche lokale Spitzen-SAR, bei Mittelung über 1 g (**psSAR1g**)
- Hinweis: nur für Gewebe mit mindestens 1 g räumlich konzentrierter Masse und für „alle Gewebe“
- räumliche Spitzen-SAR, gemittelt über 0,5 mg (**psSAR0,5mg**)
- lokaler Spitzen-Temperatur-Anstieg (**STA**)
- mittlerer Temperatur-Anstieg (**MTA**)

In die Auswertung wurde eine 0,5 mg gemittelte Spitzen-SAR aufgenommen. Da die psSAR1g für den Menschen definiert wurde, ergibt sich vom Gewichtsunterschied zwischen Mensch und Maus (80 kg vs. 40 g) eine Mittelung über 0,5 mg. Zudem wird es dadurch möglich, einen räumlichen Spitzen-SAR Wert auch für Organe mit weniger als 1 g Masse anzugeben.

STA und MTA verstehen sich als der maximale Temperatur-Anstieg, welcher nach etwa 10-15 min erreicht wird (98 % der „steady-state“-Temperatur).

Es wurden 17 relevante Organe identifiziert (Tabelle 1). Die übrigen Gewebe haben nur einen unbedeutenden Gewichts-Anteil von < 0,4 % (z. B. die Gallenblase) oder sind nicht zusammenhängend (z. B. das Blut). Um keine potenziellen „Hotspots“ zu verpassen, wurden diese jedoch trotzdem unter der Kategorie „Alle-Anderen“ Gewebe in die Auswertung miteinbezogen.

Tabelle 1: Übersicht der Organe und Gewebe, für die organspezifische Auswertungen erfolgten, sowie die relativen Massen über die verwendeten Maus-Modelle gemittelt.

Bezeichnung	enthaltene Gewebe	relative Masse im Mittel
alle Gewebe	alle Gewebearten	100,0 %
Fett	viszerales und subkutanes Fett	30,0 %
Muskel	alle Muskelarten	20,4 %
Haut	Haut	8,5 %
Darm	Dickdarm und Dünndarm	6,8 %
Bindegewebe	sämtliche Bindegewebe	6,4 %
Knochen	sämtliche Knochen	6,3 %
Leber	Leber	5,7 %
Gehirn	alle Gehirnteile	2,9 %
Nieren	beide Nieren	1,5 %
Magen	Magen	1,3 %
Lunge	beide Lungenflügel	0,8 %
Herz	Herz	0,8 %
Drüsen	Drüsengewebe	0,4 %
Knochenmark	Knochenmark (wo vorhanden)	0,4 %
Milz	Milz	0,4 %
Uterus	Uterus (*falls vorhanden)	*8,1 %
Embryo	Embryo (*falls vorhanden)	*6,7 %
„Alle-Anderen“	u. a. Augen, Eierstock, Harnleiter, Hoden, Kehlkopf, Knorpel, Penis, Sehnen, Vagina, Zunge, etc.	4,4 %

4.4 SIMULATIONS-PARAMETER UND EXPOSITIONS-SZENARIEN

Die verwendeten Größen für

- die dielektrischen Gewebeparameter
- die thermischen Parameter
- die Blut Perfusions-Größen
- die thermischen Randbedingungen

wurden aus der Literatur hergeleitet.

Die untersuchten Expositions-Szenarien entsprechen denjenigen der Referenz-Dosimetrie. Die jeweils drei Mäuse pro Käfig wurden in 10 verschiedenen Anordnungen simuliert. Die trächtigen Tiere wurden jeweils zu zweit oder alleine im Käfig exponiert.

5. ERGEBNISSE

5.1 ILLUSTRATION DER AUSWERTUNGSGRÖßEN

Eine Auswahl der ausgewerteten Größen ist in Abbildung 1 dargestellt, exemplarisch mit Angabe der Werte für eines der drei JA8-Modelle, die im Szenario Sz2 exponiert wurden (detaillierte Angaben zu den Expositions-Szenarien finden sich im Abschlussbericht). Auf Grund der geringen Größe der Tiere ist die psSAR1g nur bedingt geeignet, da sich viele Mittelungs-Volumen in Oberflächennähe befinden. Obwohl die mittlere SAR-Belastung z. B. in Herz, Lunge und Darm deutlich über dem Mittel liegt, ist die Temperatur-Erhöhung dort relativ klein, da diese Organe sehr gut durchblutet sind.

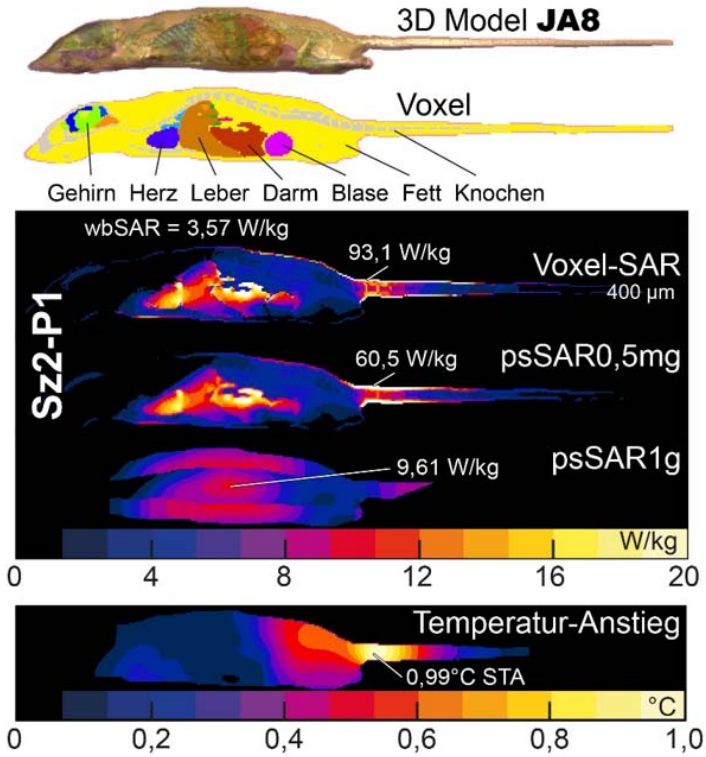


Abbildung 1: Darstellung von Simulationsmodell, SAR- und Temperatur-Werten anhand des JA8-Modells im Szenario Sz2 und der Position P1 (Szenario mit vergleichsweise hoher Exposition). Der Spitzen-Temperatur-Anstieg (STA) befindet sich am Ansatz des Schwanzes und beträgt 0,99 °C, der über den Körper gemittelte Temperatur-Anstieg (MTA) 0,22 °C. Im Durchschnitt über alle Simulations-Szenarien beträgt der STA 0,49 °C für das JA8-Modell.

5.2 RESULTATE SAR UND TEMPERATUR-ERHÖHUNG (GANZKÖRPER)

Die detaillierten Darstellungen und Tabellen der erreichten SAR und Temperatur-Werte sind umfangreich und können im Abschlussbericht nachgeschlagen werden.

Die Referenz-Dosimetrie des Forschungsvorhabens 3611S30017 ermittelte eine wbSAR-Belastung von 2,0 W/kg und 0,93 W/kg für 23 g bzw. 45 g schwere Mäuse. Die mit den neu verwendeten Mausmodellen erzielten Werte liegen in derselben Größenordnung. Das JA8-Modell mit ebenfalls 23 g erreichte im Mittel 2,24 W/kg, das A-Modell mit 55 g 1,27 W/kg. Die moderat höheren Werte sind vor allem auf den Miteinbezug der Kunststoff-Käfighalterung in den neuen Simulationen zurückzuführen, welche das elektromagnetische Feld im Bereich der Käfigböden überhöht.

Die wbSAR-Belastung nimmt mit geringerem Gewicht der Mäuse zu. Während bei den erwachsenen Tieren (A-Modell, 55 g) mit den erwähnten 1,27 W/kg zu rechnen ist, ist es bei den Jungtieren (JT4-Modell, 12 g) doppelt so viel, nämlich 2,57 W/kg.

Ähnlich verhält es sich mit dem MTA und dem STA. Im Mittel über alle Positionen im Käfig nehmen die Temperatur-Anstiege für kleinere Mäuse zu, bleiben aber unter 0,17 °C (MTA) bzw. 0,68 °C (STA).

Die psSAR1g Belastung scheint unabhängig von der Größe zu sein und beträgt für alle Maus-Modelle 5,5 - 6,6 W/kg, bei jeweiliger Mittelung über alle Szenarien.

5.3 RESULTATE SAR UND TEMPERATUR-ERHÖHUNG (ORGANSPEZIFISCH)

In der organspezifischen Auswertung fällt auf, dass vor allem Lunge, Herz, Darm und Nieren deutlich stärker exponiert werden als der Durchschnitt der Mäuse. Dies ist in erster Linie auf die dielektrischen Eigenschaften dieser Gewebe zurückzuführen. Gleichzeitig sind diese Gewebe stärker durchblutet, was dazu führt, dass die

entsprechenden Temperatur-Anstiege gering bleiben. Im Gegenzug wird das Knochengewebe am wenigsten exponiert, erfährt aber gleichzeitig den höchsten gemittelten Spitzen-Temperatur-Anstieg (Abbildung 2).

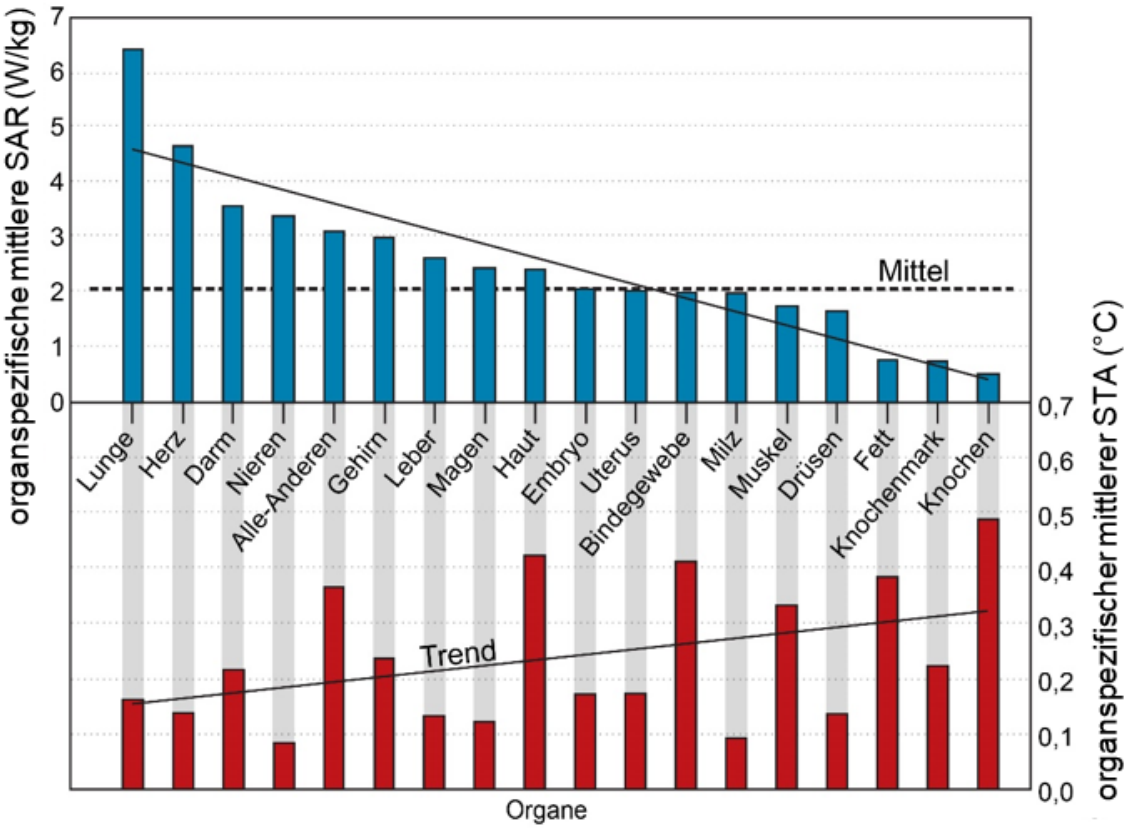


Abbildung 2: Über alle Mäuse (unterschiedliche Entwicklungsstadien) und Käfigpositionen gemittelte organspezifische SAR (oben) und Spitzen-Temperatur-Anstieg (STA), sortiert nach SAR-Werten. In der Tendenz erfahren stärker exponierte Organe kleinere Temperatur-Anstiege, da die entsprechenden Gewebe besser durchblutet sind.

5.4 SPITZENWERTE UND TOLERANZ DER MÄUSE

Über alle verwendeten Maus-Modelle und die 10 verschiedenen Positionierungs-Szenarien im Käfig wurden folgende Maximalwerte ermittelt („alle Gewebe“):

wbSAR: 5,3 W/kg

psSAR1g: 16,1 W/kg

MTA 0,36 °C

STA 1,46 °C(im Knochen des Schwanzansatzes)

Die maximale Temperaturerhöhung (STA) wird erst nach etwa 10-15 min erreicht (98 % der „steady-state“-Temperatur). Da sich die Maus in der Regel zwischenzeitlich mindestens leicht bewegt und damit die Position des Hotspots im Körper verändert, sind diese Abschätzungen aller Wahrscheinlichkeit nach konservativ.

Mäuse haben ausgeprägte thermoregulatorische Fähigkeiten. In der thermoneutralen Zone (ca. 30 °C Umgebungstemperatur) beträgt die metabolische Wärmeleistung der Mäuse etwa 10 W/kg. Bei der im Forschungsvorhaben 3611S30017 verwendeten Raumtemperatur von 21-22 °C ist sie deutlich erhöht auf etwa 30 W/kg für 25 g schwere Mäuse. Bei leichteren Tieren ist diese Erhöhung noch größer infolge der größeren relativen Oberfläche. Frei bewegliche Mäuse sollten somit wbSAR-Werte bis zu 20 W/kg bei einer Umgebungstemperatur von 22 °C ohne weiteres bewältigen können, da sie entsprechend die eigene metabolische Leistung drosseln können. Die mittlere wbSAR-Belastung von 2 W/kg entspricht also - vom Stoffwechsel der Mäuse her betrachtet - einer Haltung bei einer 1 °C-höheren Umgebungstemperatur, für leichte Tiere noch etwas höher.

Die maximal errechneten wbSAR-Werte von < 6 W/kg liegen somit klar im Toleranzbereich der Mäuse in Bezug auf die systemische Ganzkörper-Temperatur.

Auch die ermittelten lokalen Temperaturerhöhungen (STA) von < 1,5 °C liegen im normalen Schwankungsbereich und somit Toleranzbereich der Mäuse. Während die Kerntemperatur im normalen Tagesverlauf gemäß Literaturwerten zwischen 35 und 38 °C beträgt, betragen die normalen Schwankungen im Schwanz bis zu mehr als 7 °C.

5.5 DISKUSSION

Insgesamt fügt sich die vorliegende dosimetrische Auswertung gut in die Vorgängerstudien ein. Die freie Beweglichkeit der Versuchstiere geht einher mit einer hohen Variabilität der SAR und Temperatur-Werte. Unsere Angabe der maximal zu erwartenden Exposition ist deshalb ein wichtiger Indikator für deren erwartete Obergrenze. Die maximale Temperatur-Erhöhung in unseren Simulationen wird erst über einen Zeitraum von etwa 10-15 min erreicht. Falls sich die Maus in dieser Zeit bewegt - was durchaus wahrscheinlich ist - kommt es zu einer Verschiebung des Hotspots und damit zu einem geringeren lokalen Temperatur-Anstieg, mindestens bezüglich der insgesamt 130 untersuchten Kombinationen aus Maus-Modell und Positionierungs-Szenarien.

Mäuse haben ausgeprägte thermoregulatorische Eigenschaften und es sind bei diesem Expositions-Level keine Wärmestress-Reaktionen zu erwarten. Allerdings entsprechen die mittleren wbSAR von 2 W/kg vom Stoffwechsel der Mäuse aus betrachtet einer Haltung bei einer ca. 1 °C höheren Umgebungstemperatur, respektive einer ca. 10 % kleineren metabolischen Wärmeerzeugungsrate über die gesamte Lebensspanne.

6. UMSETZUNG DER ERGEBNISSE

Die Ergebnisse sollen dazu beitragen, Annahmen hinsichtlich eines Wirkmechanismus, der die Beobachtungen beim Zusammenwirken hochfrequenter elektromagnetischer Felder mit einer tumorinduzierenden Substanz im Mausmodell des FV 3611S30017 erklären könnte, zu prüfen. Hierzu ist vorgesehen, die Ergebnisse in der Zusammenschau mit den Resultaten des laufenden Vorhabens 3615S82431 „Synergetische Wirkung hochfrequenter elektromagnetischer Felder in Kombination mit kanzerogenen Substanzen - Kokanzerogenität oder Tumorpromotion?“ nach dessen Abschluss auszuwerten.

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

Evaluierung des EMF-Portals und Ableitung von Erkenntnissen und Empfehlungen für dessen weitere Gestaltung

Subject

Evaluation of the EMF-Portal and recommendations for its future presentation

Kennzeichen	**Beginn**	**Ende**	**Fördermittel**
FM8857	02.05.2014	31.03.2017	EUR 230.526,-

Forschungs- / Auftragnehmer
Uniklinik RWTH Aachen, femu - Forschungszentrum für Elektro-Magnetische Umweltverträglichkeit, Aachen

Projektleitung	**Fachbetreuung BfS**	**verantwortlich für den Text**
Dr. S. Driessen	C. Egblomassé-Roidl / AG-SG 1.4	Dr. S. Driessen

1. ZIELSETZUNG

Das EMF-Portal (www.emf-portal.org) wurde 2005 mit finanzieller Unterstützung des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (BMU) und des Bundesamtes für Strahlenschutz (BfS) mit dem Ziel gegründet, wissenschaftliche Forschungsergebnisse und allgemeine Informationen zu den Wirkungen von elektromagnetischen Feldern auf die Gesundheit zu recherchieren und öffentlich zugänglich zu machen. Das EMF-Portal besteht aus verschiedenen Modulen (u.a. Literaturdatenbank, Glossar und Datenbank der Feldquellen), die miteinander verknüpft und untereinander verlinkt sind. Hintergrund des EMF-Portals war die Ende der 1990er Jahre aufkommende Diskussion zur elektromagnetischen Umweltverträglichkeit des Mobilfunks. Durch die transparente und umfassende Information über den aktuellen wissenschaftlichen Kenntnisstand mit Hilfe eines öffentlichen und frei zugänglichen Internetportals in deutscher und englischer Sprache sollten u.a. kontrovers geführte Diskussionen in der Öffentlichkeit versachlicht und ein Beitrag zu einer umfassenden Risikokommunikation geleistet werden. Durch weitere finanzielle Unterstützung verschiedener Förderer war es möglich, das Angebot des EMF-Portals stetig auszubauen, so dass der Datenbestand heute über 24.500 Publikationen und 5.900 Zusammenfassungen einzelner wissenschaftlicher Studien umfasst (Stand: April 2017). Das EMF-Portal ist damit die größte kostenlos zur Verfügung stehende EMF-Datenbank weltweit.

Insgesamt liefert das EMF-Portal mit seinem umfangreichen Datenmaterial die ideale Basis zur Bewertung der wissenschaftlichen Literatur in Hinblick auf die Wirkungen elektromagnetischer Felder. Bei der Bewertung des Internationalen Krebsforschungszentrums (IARC) zum Thema "Hochfrequenz und Krebs" stellte das EMF-Portal z.B. umfangreiche Literaturlisten mit relevanten Publikationen zur Verfügung. Auch andere internationale Beratungsgremien und Forschergruppen, wie z.B. The Royal Society of Canada oder The Health Council of the Netherlands griffen in der Vergangenheit bei der Bewertung des aktuellen Sachstands auf die Recherche im EMF-Portal zurück. Das EMF-Portal ist angesiedelt am Forschungszentrum für Elektro-Magnetische Umweltverträglichkeit (femu) der RWTH-Aachen und seit 2011 Referenz-Datenbank der Weltgesundheitsorganisation (WHO).

Um die bisherige Nutzung des EMF-Portals hinsichtlich der inhaltlichen Bausteine und deren Qualität, der Darstellung der Ergebnisse auf der Website und der Nutzbarbarkeit zur Informationsbeschaffung zu optimieren, sollte eine Evaluierung durchgeführt werden, die die Nutzbarkeit des EMF-Portals für verschiedene Zielgruppen überprüft und sich daraus ergebende Empfehlungen für die Verbesserung des EMF-Portals ableitet. Die Evaluierung musste laut Vorgaben des Bundesamts für Strahlenschutz (BfS) von einem RWTH-unabhängigen Auftragnehmer vorgenommen werden, der bisher weder Projekte mit der RWTH-Aachen durchgeführt hatte noch an den femu-Arbeitskreisen beteiligt ist oder war und wurde daher in Losen an entsprechende Unterauftragnehmer vergeben (s. 4.).

Ziel des Forschungsvorhabens war es,

- die Inhalte des EMF-Portals zu überprüfen,
- die Darstellung und Benutzerführung des EMF-Portals zu bewerten,
- die Benutzbarkeit für verschiedene Zielgruppen mittels Experiment zu überprüfen und
- Empfehlungen für eine mögliche Verbesserung abzugeben.



Abbildung 1: Darstellung der Einstiegsseite des EMF-Portals

Auf diese Weise sollte festgestellt werden, inwieweit das EMF-Portal in seiner jetzigen Form den Anforderungen nationaler und internationaler Beachtung genügt und an welcher Stelle Veränderungen und/oder Verbesserungen erforderlich sind.

2. EINZELZIELSETZUNG

2.1 ÜBERPRÜFUNG DER INHALTE DES EMF-PORTALS

Die in das Portal eingepflegten wissenschaftlichen Publikationen sollten im ersten Arbeitspaket dahingehend überprüft werden, ob sie ausreichend erfasst sind und den aktuellen Wissensstand vollständig abdecken. Darüber hinaus sollte überprüft werden, ob einzelne Artikel korrekt und verständlich zusammengefasst (extrahiert) wurden, so dass der Nutzer die durchgeführten Studien und deren Ergebnisse sinngemäß nachvollziehen kann.

Des Weiteren sollten auch die Inhalte der Tools „Feldquellen-Datenbank“, „Grundlagen“ und „Glossar“ in Hinblick auf Richtigkeit und Vollständigkeit überprüft werden.

2.2 BEWERTUNG DER DARSTELLUNG UND BENUTZERFÜHRUNG DES EMF-PORTALS

In einem zweiten Arbeitspaket sollte eine Evaluierung durchgeführt werden, die die Nutzbarkeit des EMF-Portals für verschiedene Zielgruppen überprüft. Dabei sollten auch die inhaltlichen Bausteine und deren Qualität sowie die Darstellung der Ergebnisse auf der Website überprüft werden. Insbesondere sollten die Linkfunktion, die Barrierefreiheit (Barrierefreie-Informationstechnik-Verordnung - BITV 2.0) und die Suchfunktion evaluiert werden.

2.3 ÜBERPRÜFUNG DER BENUTZBARKEIT FÜR VERSCHIEDENE ZIELGRUPPEN MITTELS EXPERIMENT

Ziel des dritten Arbeitspakets war es, das EMF-Portal mit nutzerorientierten Usability-Methoden zu evaluieren, um Schwachstellen der Website in Hinblick auf Inhalt, Interface und Hilfen zu identifizieren. Anhand einer statistisch aussagekräftigen Nutzerbefragung sollten folgende Fragen beantwortet werden:

- Findet sich der Nutzer auf den Seiten zurecht? Findet er (schnell), was er sucht?
- Verstehen die Nutzer das Ergebnis ihrer Suche und können sie dieses verwenden?
- Helfen die dargestellten Inhalte dem Nutzer, sich zu informieren/informiert zu fühlen?
- Ist das Ergebnis der Suche für Experten hilfreich für deren berufliche Arbeit?

Dabei sollten sämtliche Rückmeldungen und konstruktive Vorschläge der Nutzer erfasst werden.

2.4 EMPFEHLUNGEN FÜR EINE MÖGLICHE VERBESSERUNG

Nach Durchführung der o. a. ersten drei Arbeitspakete sollten Empfehlungen für die weitere Verbesserung des EMF-Portals hinsichtlich Verständlichkeit, übersichtlicher Darstellung, guter Bedienbarkeit, Vollständigkeit und Ausgewogenheit der Informationen abgeleitet werden.

3. METHODIK

Für die Evaluierung wurden sowohl Internetrecherchen als auch Nutzerbefragungen durchgeführt.

4. DURCHFÜHRUNG

Nach öffentlicher Ausschreibung gemäß Vergabe- und Vertragsordnung für Leistungen (VOL) Teil A (VOL/A) wurde das Projekt losweise vergeben. Dabei bekam Seibersdorf Labor GmbH (Seibersdorf, Österreich) den Zuschlag zur Bearbeitung von Arbeitspaket 1 (Kapitel 2.1) und YOUSE GmbH (Berlin, Deutschland) den Zuschlag zur Bearbeitung der Arbeitspakete 2 und 3 (Kapitel 2.2 und 2.3). Beide Unterauftragnehmer bearbeiteten zudem für ihren spezifischen Teil das Arbeitspaket 4 (Kapitel 2.4). Alle im Folgenden beschriebenen Methoden der einzelnen Arbeitspakete beruhen auf den Angaben der Auftragnehmer.

4.1 ÜBERPRÜFUNG DER INHALTE

Die Vollständigkeit der Publikationen wurde anhand der Beispiele „Hochfrequente Felder von Mobilfunkbasisstationen“, „Handys“ und „DECT-Telefone“ überprüft. Für eine objektive Beurteilung der Vollständigkeit der im EMF-Portal abrufbaren Publikationen wurde zunächst von Seibersdorf eine eigene „Basismenge“ von Publikationen definiert. Als Maßzahl für die Vollständigkeit dieses Datenbestandes des EMF-Portals wurde dann die Trefferquote auf Basis der Anzahl der Publikationen in der Basismenge und der Anzahl der nicht auffindbaren Publikationen im EMF-Portal berechnet.

Die Bewertung der Extraktionen erfolgte unabhängig von zwei Personen in Hinblick auf faktische Korrektheit, Vollständigkeit, Klarheit und Sonstiges.

Die Inhalte der Tools „Glossar“, „Feldquellen-Datenbank“ sowie die verschiedenen Kapitel mit Hintergrundinformationen wurden in Hinblick auf ihre Richtigkeit und Vollständigkeit überprüft.

4.2 BEWERTUNG DER DARSTELLUNG UND BENUTZERFÜHRUNG

Usability ist das Ausmaß, in dem ein technisches System durch bestimmte Nutzer in einem bestimmten Nutzungskontext verwendet werden kann, um bestimmte Ziele effektiv, effizient und zufriedenstellend zu erreichen. Zur Identifizierung von potenziellen Usability-Schwächen sowie spezifischen Anforderungen des EMF-Portals führte YOUSE zunächst eine Expertenevaluation mit zwei internen User Experience (UX)-Experten durch, basierend auf dem Vorwissen und den Erwartungen hypothetischer Nutzer. Darüber hinaus wurde die Barrierefreiheit des EMF-Portals anhand der YOUSE Accessibility 2.0-Checkliste beurteilt, basierend auf dem Aufbau der Richtlinien WCAG 2.0 (Web Content Accessibility Guidelines).

4.3 ÜBERPRÜFUNG DER BENUTZBARKEIT FÜR VERSCHIEDENE ZIELGRUPPEN

In diesem Arbeitspaket sollte das EMF-Portal unter Einbindung von echten Nutzern (Stichprobe n = 50) mittels eines vergleichbaren Testverfahrens auf potenzielle Schwächen und Stärken hinsichtlich der User Experi-

ence getestet werden. Unter User Experience (UX) wird neben der reinen Usability (vgl. Kapitel 4.2) das ganzheitliche Nutzererlebnis berücksichtigt. Bei der Rekrutierung der Teilnehmer wurde auf eine für die Nutzergruppe repräsentative Auswahl geachtet (z. B. Nutzer mit möglichst unterschiedlichen Hintergründen, Alter, Geschlecht, Technikerfahrung). Es wurden folgende Nutzergruppen berücksichtigt: interessierte Laien, Wissenschaftler und Behördenvertreter. Jeder Teilnehmer führte in einer einstündigen Sitzung (max. 1,5 h) ca. fünf bis acht für das EMF-Portal relevante sogenannte Use Cases, d.h. zuvor definierte Aufgaben, durch. Die Abfrage einfacher Daten (z. B. zusätzliche Informationen zur Technikeinstellung) wurde an das Ende des Tests gelegt. Während des Tests kam die Technik des lauten Denkens (Thinking Aloud) zum Einsatz, d.h. die Testperson äußerte ihre Gedanken, Bedenken und Ideen, während sie die Use Cases durchführte. Dadurch wurden Gedanken nachvollziehbar und es wurde ermöglicht, äußere Beobachtungen mit Intentionen zu verbinden. Zusätzlich zu den Interview-Notizen wurden durch einen Fragebogen und ein Interview weitere Informationen zum Nutzererlebnis erfasst. Durch den Einsatz standardisierter Tools zur Erfassung der Usability und User-Experience im Fragebogen (System-Usability-Scale) konnten zusammen mit dem qualitativen User Experience-Test valide Ergebnisse garantiert werden.

5. ERGEBNISSE

Alle im Folgenden beschriebenen Ergebnisse der einzelnen Arbeitspakete beruhen auf den Unterlagen (z. B. Abschlussbericht, Excel-Tabellen, Powerpoint-Präsentation) der beiden Auftragnehmer. Es wird darauf hingewiesen, dass manche Punkte bereits überarbeitet wurden und damit hinfällig sind.

5.1 ÜBERPRÜFUNG DER INHALTE

Von den 1317 Publikationen der Basismenge waren 37 Publikationen nicht im EMF-Portal auffindbar, so dass sich eine Trefferquote von 97,2 % ergab. Die Struktur bzw. der formale Aufbau der Extraktionen wurde grundsätzlich als sinnvoll und zielführend im Sinne einer schnellen Vermittlung der wichtigsten Inhalte der zugrunde liegenden Publikationen bewertet.

Insgesamt wurde die Vollständigkeit des Glossars als sehr gut bezeichnet. Über 90 % der Begriffe, die im Rahmen der Evaluierung als erklärungsbedürftig eingestuft wurden, konnten im Glossar des EMF-Portals gefunden werden. Seibersdorf kommt zu dem Schluss, dass das Glossar dem Leser auf effiziente Weise Erläuterungen zu etwaigen auftretenden Fragen bezüglich der Bedeutung der in den Publikationen und Extraktionen verwendeten Fachbegriffe anbietet.

Bezüglich des Tools „Feldquellen-Datenbank“, bewertete Seibersdorf das zur Verfügung stellen von detaillierten Informationen über EMF-Quellen und den von ihnen verursachten Immissionen als wertvollen Bestandteil des EMF-Portals. Die im vorliegenden Projekt untersuchte Stichprobe von EMF-Quellen gab, laut Seibersdorf, einen guten Überblick über die wesentlichen Eigenschaften der Quellen (Beschreibung) und die Größenordnungen der zu erwartenden Immissionen (Messwerte). Im Detail konnten jedoch im Hinblick auf eine wissenschaftliche und physikalisch präzise Darstellung der abrufbaren Messdaten Schwachstellen in Hinblick auf die Korrektheit identifiziert werden. Die Aufbereitung der im EMF-Portal abrufbaren und überprüften Hintergrundinformationen wurde von Seibersdorf insgesamt als sehr gut verständlich und aussagekräftig bewertet und als eine wertvolle Ergänzung für Benutzer angesehen, die nicht tief im EMVU (Elektromagnetische Verträglichkeit zur Umwelt)-Thema verhaftet sind. Das Qualitätsniveau der dargebotenen Information wurde durchweg als sehr hoch eingestuft und als guter Kompromiss zwischen Allgemeinverständlichkeit und Informationsgehalt gesehen. Seibersdorf urteilte, dass die Themenfelder zu „Wirkungen“ besser abschnitten als die Themenfelder zu „Technologie“. Während bei den Informationen zu „Wirkungen“ nahezu keine Mängel identifiziert wurden, konnten bei den bewerteten „Technologie“-Kapiteln einige kleinere Mängel festgestellt werden.

5.2 BEWERTUNG DER DARSTELLUNG UND BENUTZERFÜHRUNG

Die Expertenevaluation identifizierte insgesamt 46 Usability-Probleme, die in einer Excel-Tabelle zusammengestellt und dem femu übermittelt wurde. Diese wurden in die folgenden Kategorien zusammengefasst:

- Struktur und Aufbau
- Funktionen und Navigation
- Darstellung
- Inhalte

Je nach Schweregrad wurden die identifizierten Probleme unterschiedlich gewichtet und in fünf verschiedene Stufen eingeteilt: Stufe 1 (kein Problem), Stufe 2 (kosmetisches Problem), Stufe 3 (geringes Problem, niedrige

Änderungspriorität), Stufe 4 (großes Problem, hohe Änderungspriorität), Stufe 5 (schwerwiegendes Problem, muss unbedingt geändert werden). Die meisten der 46 identifizierten Usability-Probleme wurden als geringes Problem mit einem niedrigen Änderungspotenzial (Stufe 3, n = 27) oder als kosmetisches Problem (Stufe 2, n = 8) bewertet.

Als besonders schwerwiegendes Problem, was unbedingt behoben werden muss, wurde insgesamt nur eine Funktion eingestuft, nämlich das Fehlen einer einfachen Schnellsuche mit nur einem Suchfeld, mit der die gesamten Inhalte sämtlicher Seiteninhalte des EMF-Portals durchsucht werden können und nicht nur, wie bisher, die Literaturdatenbank.

Insgesamt 10 der 46 Usability-Probleme wurden in die Stufe 4 eingeordnet und somit als großes Problem mit einer hohen Änderungspriorität bewertet. Dazu gehörten zum Beispiel das Fehlen einer Wortkorrektur in der Suche mit Vorschlägen zu alternativen Suchbegriffen (z. B. „Meinten Sie…?“) oder eine mangelnde Verlinkung von Inhalten zu gleichen Themen, z. B. von Glossar-Einträgen und Hintergrundinformationen. Auch wurde bemängelt, dass in manchen Kapiteln zu viel abrufbares Wissen vorausgesetzt wird, so dass Laien nicht die Information finden, die sie suchen, weil sie beispielsweise nicht wissen, dass Mobilfunk im Hochfrequenzbereich angesiedelt ist.

Insgesamt wurde die Barrierefreiheit des EMF-Portals nach den Kriterien der WCAG 2.0 von YOUSE nach umfassender Prüfung als unzureichend eingestuft.

5.3 ÜBERPRÜFUNG DER BENUTZBARKEIT FÜR VERSCHIEDENE ZIELGRUPPEN

Insgesamt nahmen 50 Testpersonen am Experiment zur Überprüfung der Nutzbarkeit des EMF-Portals teil. Das Durchschnittsalter der 34 Männer und 16 Frauen lag bei 41 Jahren. Die Zielgruppe „Laie“, die auch die entsprechenden Use Cases durchführte, wurde von 10 Laien und einem Journalisten (n = 11) vertreten, die Zielgruppe „Wissenschaftler“ (n = 20) von 13 Wissenschaftlern, 3 Ärzten und 4 Industrievertretern und die Zielgruppe „Behördenvertreter“ (n = 19) von 16 Behördenvertretern/Multiplikatoren und 3 Industrievertretern.

Das EMF-Portal wurde mit Hilfe eines Usability-Fragebogens (System Usability Scale) im Schnitt mit 72 von 100 erreichbaren Punkten bewertet und kann damit als gut bezeichnet werden.

Die Benutzbarkeit für die verschiedenen Zielgruppen identifizierte insgesamt 55 Usability-Probleme, die, ebenso wie die Ergebnisse der Expertenevaluation (vgl. Kapitel 5.2), in einer Excel-Tabelle zusammengestellt wurden, welche dem femu zur Verfügung gestellt wurde. Die identifizierten Probleme wurden ebenfalls in die folgenden Kategorien zusammengefasst: „Struktur und Aufbau“ (26 identifizierte Usability-Probleme), „Funktionen und Navigation“ (16 Probleme), „Darstellung“ (1 Problem) und „Inhalte“ (12 Probleme). Die Einstufung der Probleme erfolgte, wie bei der Expertenevaluation, in 5 verschiedene Stufen. Gleichzeitig beinhaltete die übermittelte Excel-Tabelle eine Auflistung, bei wie vielen Testperson dasselbe Problem aufgetreten war und zu welcher Zielgruppe die Testperson gehörte. Es wurde auch aufgelistet, bei welcher Handlung das Problem genau auftrat.

5.3.1 Struktur und Aufbau

20 der 50 Testpersonen bewerteten die Struktur des EMF-Portals als gut und fanden, dass diese einen guten Überblick ermöglicht. 14 Testpersonen lobten die hohe Informationsdichte, die insbesondere durch die Querverlinkungen und themenverwandten Artikel bei den einzelnen Studien gewährleistet wird. Die Zusammenfassungen der einzelnen Studien inklusive ihrer Struktur und Aufbereitung wurde von 12 Testpersonen positiv bewertet. Dennoch wurden in der Kategorie „Struktur und Aufbau“ fast die Hälfte (n = 26) der insgesamt 55 Usability-Probleme identifiziert. Davon wurden 7 Punkte der Stufe 5 zugeordnet und somit als schwerwiegendes Problem bewertet, welches unbedingt geändert werden muss. Dazu gehörten u. a., dass der Suche-Button in der Suche auf kleinen Bildschirmen nicht zu finden war, dass es keine Filterfunktion bei der Literatursuche gab und dass die Themen, die sich unter den einzelnen Menüpunkten befanden, nicht klar wurden. Darüber hinaus wurden 7 weitere Punkte als großes Problem mit einer hohen Änderungspriorität (Stufe 4) bewertet, wie z. B. die fehlende Suchfunktion in den einzelnen Menüpunkten, das Nicht-Erkennen der Suchfunktion als reine Literatursuche und zu lange und unübersichtliche Texte. 12 der 26 Usability-Probleme der Kategorie „Struktur und Aufbau“ wurden der Stufe 2 oder 3 zugeordnet und wurden somit als geringes oder kosmetisches Problem bewertet.

5.3.2 Funktionen und Navigation

20 der 50 Testpersonen bewerteten das Glossar des EMF-Portals als gut, 7 Testpersonen lobten die Verlinkungen zu den Originalstudien (Volltext-Link) und 6 die Autovervollständigung bei der Suchfunktion. In der Kategorie „Funktionen und Navigation“ traten 16 der 55 Usability-Probleme auf, davon wurden 1 der Stufe 5

(schwerwiegendes Problem) zugeordnet und 5 der Stufe 4 (großes Problem). Diese betraf u. a. das fehlende Verständnis für den Begriff „Feldquellen-Datenbank“, das Fehlen einer „Rückwärts-Funktion“ und die Zweisprachigkeit bei manchen Angeboten (z. B. Expositionsparameter bei den extrahierten Artikeln). Offensichtlich wurde auch nicht von allen Nutzern verstanden, dass zu englischsprachigen Studien Informationen auch auf Deutsch zur Verfügung gestellt werden. 10 der 16 Usability-Probleme der Kategorie „Funktionen und Navigation“ wurden der Stufe 2 oder 3 zugeordnet und somit als geringes oder kosmetisches Problem bewertet.

5.3.3 Darstellung

13 der 50 Testpersonen bewerteten das Design des EMF-Portals als optisch ansprechend, 3 Testpersonen lobten insbesondere die Farbwahl als beruhigend und wissenschaftlich. Als ein geringes Problem mit niedriger Änderungspriorität wurde der Header des EMF-Portals gesehen, der nicht schnell genug reagierte und teilweise Inhalte verdeckte.

5.3.4 Inhalte

Insgesamt wurden die Inhalte des EMF-Portals von der Mehrheit aller Testpersonen gut verstanden. Lediglich Laien-Nutzer waren teilweise von den Fachbegriffen überfordert. In der Kategorie „Inhalte“ traten 12 der 55 Usability-Probleme auf, davon wurden 2 der Stufe 4 zugeordnet. Dies betraf z. B. bei einigen Nutzern ein Zuviel an Informationen und das Unvermögen, die Ergebnisse einer Studie richtig einordnen zu können. Alle anderen Usability-Probleme wurden den Stufen 2 und 3 zugeordnet.

5.4 EMPFEHLUNGEN FÜR EINE MÖGLICHE VERBESSERUNG

Bezüglich der Inhalte schlägt Seibersdorf vor, die Publikationssuche in einschlägigen technisch/dosimetrischen Zeitschriften zur weiteren Erhöhung der Trefferquote zu intensivieren. Bei den Begriffserläuterungen im Glossar wurde vor allem Verbesserungspotenzial hinsichtlich einer präziseren Formulierung gesehen. Im Zusammenhang mit der Datenbank der Feldquellen empfiehlt Seibersdorf, für alle zur Interpretation der Messwerte wichtigen Zusatzangaben klare Begriffsdefinitionen einzuführen und diese konsequent und konsistent zu verwenden. Damit wichtige Angaben nicht übersehen oder vergessen werden, könnte eventuell auch helfen, die Messwerte nicht in Listenform, sondern in Tabellenform anzugeben. Ein entsprechender Vorschlag wurde unterbreitet.

Bezüglich der Nutzbarkeit schlägt YOUSE basierend sowohl auf den Ergebnissen der Expertenevaluation als auch auf dem Feedback der Testpersonen im Rahmen des Experiments zusammenfassend vor, die Komplexität der Suchfunktion zu reduzieren.
Es sollte in Zukunft eine einfachere Suchfunktion etabliert, der Suche- Button neben der Suchleiste positioniert sowie weitere Funktionen der Suche stärker ins Sichtfeld gerückt werden. Grundsätzlich sollte auch eine einfache Suche integriert werden, die von einer erweiterten Suche im Expertenmodus getrennt wird. Darüber hinaus sollte die Suche alle Seiteninhalte übergreifend durchsuchen, also auch in allen Menüpunkten und nicht nur in der Literaturdatenbank. Suchbegriffe sollten in den Ergebnislisten, z. B. durch farbliche Hervorhebungen oder Fettschrift, kenntlich gemacht werden. Auch die Fehlertoleranz der Suche sollte in Zukunft verbessert werden, z. B. durch eine automatische Korrektur bzw. Vorschläge und alternative Optionen bei falschen Eingaben und fehlenden Ergebnissen. Auch bei der Darstellung der Ergebnislisten sieht YOUSE Optimierungsmöglichkeiten, z. B. sollten die Ergebnislisten bei den Studienübersichten transparent als scrollfähig dargestellt werden und die Ergebnisse sollten nach einheitlichen Kriterien (beispielsweise Relevanz) sortierbar sein. Außerdem sollte besser kenntlich gemacht werden, ob es zu der jeweiligen Studie noch zusätzliche Informationen gibt oder nicht. Es wird auch vorgeschlagen, dass redaktionelle und studienübergreifende Zusammenfassungen auch bei einzelnen Studien zu bestimmten Themen hinterlegt bzw. diese besser miteinander verknüpft werden. Als weiteren Punkt zur Überarbeitung der Struktur und zur besseren Darstellung der Inhalte empfiehlt YOUSE, das Menü neu zu strukturieren, z. B. in die beiden Kategorien „Literaturdatenbank“ und „EMF-Wissensportal“.

In Bezug auf die Barrierefreiheit wird u. a. empfohlen, alle Nicht-Textinhalte, wie z. B. Bilder, Grafiken, Objekte und grafische Schalter in Zukunft mit aussagekräftigen und gleichwertigen Textalternativen zu versehen. Alle zusammengehörigen Elemente sollten auch als zusammengehörig gruppiert werden. Dies kann beispielsweise durch ARIA (Accessible Rich Internet Applications)-Attribute geschehen, damit assistive Technologien diese auch als zusammengehörig wahrnehmen.

6. UMSETZUNG DER ERGEBNISSE

Die Evaluierung des EMF-Portals zeigt, dass mit der Bereitstellung der Datenbank ein hilfreiches Instrument zum besseren Verständnis der elektrischen, magnetischen und elektromagnetischen Felder (EMF) angeboten wird. Der Blick von außen auf das Portal von unterschiedlichen Bearbeitern der Arbeitspakete war äußerst hilfreich. In beiden Arbeitspaketen wurden Empfehlungen zur Verbesserung abgegeben, die teilweise bereits umgesetzt wurden.

Abschließend kann festgestellt werden, dass die Förderung sowohl durch das BMUB als auch durch das BfS zu einem nützlichen Instrument sowohl für Experten als auch für Laien geführt hat. Für weitere Verbesserungen des Portals sind die Betreuer des Portals offen.

Thema

Einfluss hochfrequenter Felder des Mobilfunks auf das blutbildende System in vitro: Untersuchungen zur Reproduzierbarkeit der Ergebnisse

Subject

Influence of high frequency electromagnetic fields of mobile communications on the hematopoietic system in vitro: Studies of the reproducibility of the results

Kennzeichen	**Beginn**	**Ende**	**Fördermittel**
FM8863	01.01.2015	31.03.2016	EUR 26.592 ,-

Forschungs- / Auftragnehmer
Universität Würzburg

Projektleitung	**Fachbetreuung BfS**	**verantwortlich für den Text**
Dr. H. Hintzsche	Dr. A. Dehos / AG-SG	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. Im Rahmen des Forschungsvorhabens FM8851 „Einfluss hochfrequenter Felder des Mobilfunks auf das blutbildende System in vitro“ wurde daher untersucht, ob Zellen des hämatopoetischen Systems in ihrer Struktur bzw. ihrer Funktion beeinflusst werden können. Es zeigten sich insgesamt keine relevanten Effekte, jedoch wurden bei einigen der untersuchten Endpunkte starke Streuungen beobachtet bzw. schwach signifikante Effekte gefunden. Im Rahmen des vorliegenden Forschungsvorhabens sollten für diese Endpunkte Wiederholungen durchgeführt werden, um die Datenlage diesbezüglich zu verbessern.

2. EINZELZIELSETZUNG

Konkret sollten die Untersuchungen analog zum Forschungsvorhaben FM8851 in HL[1)]-60-Zellen und in hämatopoetischen Stammzellen durchgeführt werden. Die Zellen wurden dabei mit hochfrequenten Feldern in den für den Mobilfunk relevanten Frequenzbereichen GSM, UMTS, und LTE[2)] exponiert. Im Einzelnen wurden Untersuchungen zur Differenzierung anhand der Expression des Oberflächenantigens CD11b, zur Adhärenz und zur Gentoxizität anhand des Comet Assays durchgeführt.

3. METHODIK

3.1 EXPOSITION UND DOSIMETRIE

Die Expositionen wurden in einer sogenannten Mikro-Transversal-Elektromagnetischen-Zelle (µTEM-Zelle) durchgeführt, die speziell für derartige Untersuchungen von der TU Braunschweig entwickelt wurde. Sie ist für alle verwendeten Frequenzen nutzbar. Konstante Zellkulturbedingungen wurden dadurch gewährleistet, dass die µTEM-Zelle innerhalb eines Inkubators betrieben wurde. Dabei wurde der konvektionsbedingte Wärmeaustausch zwischen den Zellproben und der geregelten Inkubatoratmosphäre mittels eines Pumpenkreislaufes verbessert.

Zur Sicherung und Dokumentation der Qualität der Expositionsexperimente wurden die Temperatur der µTEM-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 wurde am Ein- und Ausgang der Zelle ebenfalls einmal pro Minute gemessen und aufgezeichnet.

Die Verblindung der Expositionen wurde durch eine selbstentwickelte Software zur Steuerung der gesamten Expositionsanlage gewährleistet.

---

1) human promyelocytic leukemia cells
2) Long Term Evolution

Diese wählt nach der Wahl von Zelltyp und Expositionsdauer zufällig einen Satz noch nicht verwendeter Expositionsparameter aus.

3.2 BIOLOGIE

In diesem Forschungsvorhaben kamen HL-60-Zellen und hämatopoetische Stammzellen (HSC) zum Einsatz. Untersucht wurde dabei CD11b-Expression, Adhärenz und DNA-Strangbrüche.

Die Analyse der Expression des Oberflächenproteins CD11b nach Exposition der HL-60-Zellen und HSC mit Mobilfunkstrahlung erfolgte durchflusszytometrisch nach Markierung mit spezifischen Antikörpern. Vor der Aufarbeitung für die CD11b-Messung wurden die Zellen nach der Exposition unter regulären Zellkulturbedingungen nachinkubiert. Die Nachinkubation der HL-60-Zellen betrug 7 d für die Kurzzeitexposition (4 h) bzw. 4 d für die Langzeitexposition (66 h). Die HSC wurden lediglich nach der Kurzzeitexposition für einen weiteren Tag nachinkubiert. Diejenigen aus den Langzeitexpositionen (20 h) wurden direkt aufgearbeitet und analysiert. Die Dauer der Nachinkubationen orientierte sich hierbei an der Inkubationsdauer der Positivkontrollen des jeweiligen Zelltyps. Für die Positivkontrolle wurden HL-60-Zellen für 7 d mit DMSO (1,25 %) inkubiert, die Behandlung der HSC mit PMA[1)] (10 nM) erfolgte für einen Tag.

Zur Bestimmung der Frequenz adhärenter Zellen wurde in jeder Probe die Zellzahl in der Suspension sowie die Anzahl adhärenter Zellen bestimmt. Hierfür wurden die adhärenten Zellen aus den Expositionsgefäßen enzymatisch abgelöst. Diese Bestimmung fand direkt im Anschluss an die Expositionen statt. Für die Positivkontrolle wurden beide Zellarten mit PMA (10 nM) behandelt.

Die Detektion der DNA-Schäden erfolgte mit Hilfe des Comet Assays. Bei diesem Verfahren werden die Zellen lysiert und die Zellkerne einer Elektrophorese unterzogen. Hierbei wandert geschädigte DNA im elektrischen Feld schneller als intakte und kann mittels EDV-gestützter Mikroskopie quantifiziert werden. Die Durchführung des Comet Assays fand jeweils direkt im Anschluss an die Expositionen statt.

4. DURCHFÜHRUNG

4.1 EXPOSITION UND DOSIMETRIE

Der Versuchsaufbau wurde an der Universität Würzburg analog zum Forschungsvorhaben FM8851 verwendet. Die Durchführung wurde regelmäßig von der PTB überwacht. Die gespeicherten Daten wurden regelmäßig gesichert.

4.2 BIOLOGIE

Die vorgesehenen drei Replikate der Expositionen wurden komplett abgeschlossen. Alle zugehörigen Negativ- und Positivkontrollen wurden durchgeführt.

5. ERGEBNISSE

5.1 DIFFERENZIERUNG (CD11b)

Die Ergebnisse der durchflusszytometrischen Messung des Oberflächenantigens CD11b nach Kurz- und Langzeitexposition mit GSM-, UMTS- und LTE-modulierten Feldern sowie für unterschiedliche Intensitäten im Bereich von 0-4 W/kg sind in Abbildung 1 dargestellt.

Die Werte für die HL-60-Zellen weisen sowohl für die Kurzzeit- als auch für die Langzeitexposition ein ähnliches Bild auf (Abbildung 1a und b). Nahezu alle Werte nach Exposition liegen auf Höhe des Kontrollniveaus bzw. auf Höhe der Sham-Exposition mit sehr kleinen Schwankungen innerhalb der drei Replikate. Lediglich die 66-h-GSM-Expositionen mit einer Intensität von 4 W/kg führten zu stark erhöhten Werten, die ungefähr 10-fach höher als die Sham-Exposition waren und somit annähernd auf dem Niveau der Positivkontrolle lagen. Die Zytotoxizitätsprüfung ergab jedoch, dass spezifisch nach dieser Befeldung nicht-vitale Zellen vorhanden waren, d. h. es handelt sich hierbei um ein falsch-positives Ergebnis. Alle weiteren Expositionen wiesen keine statistisch signifikant erhöhten Werte auf. Die Positivkontrolle DMSO war signifikant erhöht gegenüber der unbehandelten Kontrolle (NK).

[1)] Paramethoxyamphetamin

Bei den Stammzellen (Abbildung 1c und d) lagen die Werte der CD11b-Expression nach Exposition mit Mobilfunkstrahlung ebenfalls auf dem Niveau der Sham-Exposition mit 0 W/kg, die vergleichbar mit dem Wert der Negativkontrolle war. Insgesamt wurden für diesen Zelltyp stärkere Schwankungen innerhalb der Replikate wahrgenommen als bei den HL-60-Zellen. Signifikante Unterschiede konnten allerdings nicht nachgewiesen werden. Die Positivkontrolle PMA zeigte statistisch signifikant erhöhte Werte gegenüber der Negativkontrolle.

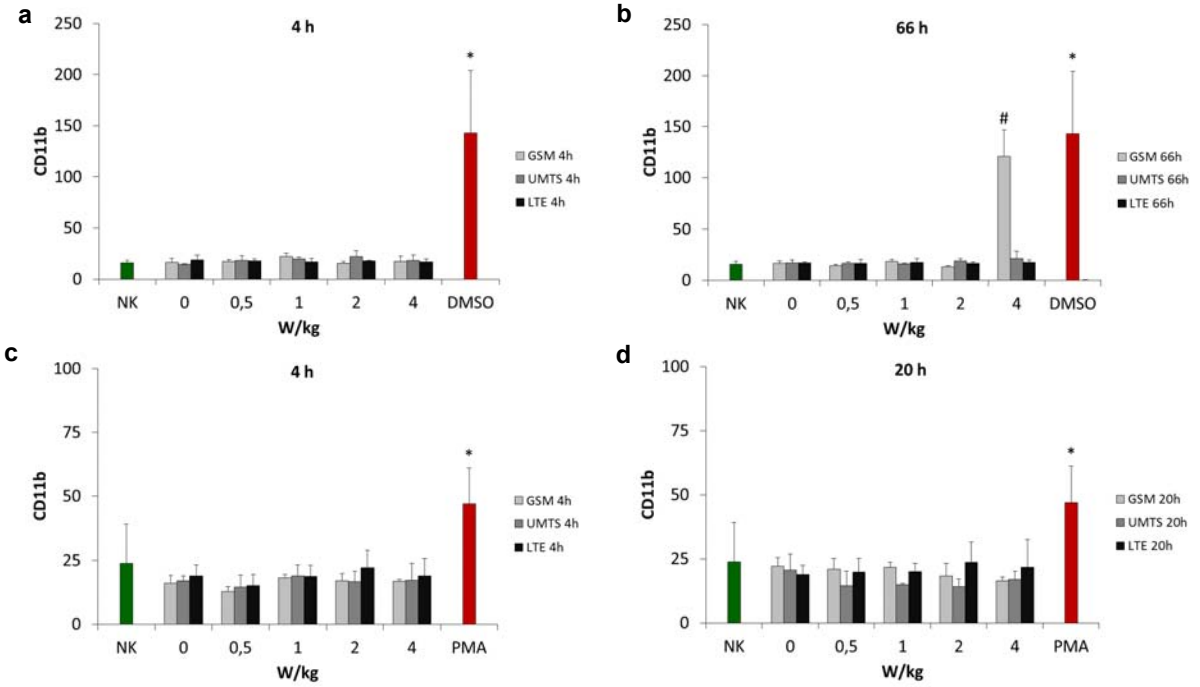


Abbildung 1: Ergebnisse der Kurz- und Langzeitexpositionen von HL-60-Zellen (a, b) und hämatopoetischen Stammzellen (c, d) für den Endpunkt Differenzierung (CD11b). Dargestellt sind die Mittelwerte der Negativkontrollen (grün) und PMA-behandelten Kontrollen (rot) (n=37 für HL-60 und n=14 für HSC) sowie die Mittelwerte der GSM- (hellgrau), UMTS- (dunkelgrau) und LTE- (schwarz) Expositionen mit 0/0,5/1/2/4 W/kg aus drei unabhängigen Replikaten (n=3) (*: p≤0,05 vs. NK, #: nicht interpretierbar auf Grund hoher Anteile nicht-vitaler Zellen (vgl. Text).

5.2 DIFFERENZIERUNG/ADHÄRENZ

In Abbildung 2 ist der prozentuale Anteil an adhärenten HL-60-Zellen und HSC nach Kurz- und Langzeitexposition mit GSM-, UMTS- und LTE-modulierten Feldern für alle untersuchten Intensitäten (0-4 W/kg) aus drei unabhängigen Replikaten dargestellt.

Die Resultate des Endpunkts Differenzierung/Adhärenz, quantifiziert über die Frequenz adhärenter Zellen in den exponierten Proben, wiesen insgesamt stärkere Schwankungen innerhalb der einzelnen Replikate auf als der Endpunkt Differenzierung/CD11b. Dies war unabhängig vom Zelltyp, der Modulation oder der Intensität. Es war jedoch keine Erhöhung bei den Intensitäten 0,5, 1, 2 und 4 W/kg gegenüber der Sham-Exposition zu beobachten. Statistisch signifikante Unterschiede wurden weder für die Kurzzeit- noch für die Langzeitexpositionen beider Zellarten identifiziert. Auffällig war weiterhin, dass die Anzahl adhärenter Zellen in den exponierten Proben sowie in den Sham-exponierten Proben für beide Zellarten höher war als die Anzahl adhärenter Zellen in den Negativkontrollen.

Die Positivkontrolle PMA zeigte bei beiden Zelltypen eine deutliche Erhöhung gegenüber der Negativkontrolle. Dies konnte statistisch mit dem Mann-Whitney-U-Test bestätigt werden.

5.3 GENTOXIZITÄT/DNA-SCHADEN

Abbildung 3 zeigt den prozentualen Anteil an geschädigter DNA (DNA im Schweif) nach Exposition der HL-60-Zellen und HSC mit unterschiedlichen Modulationen von Mobilfunkfeldern (GSM, UMTS und LTE). Für jede Modulation wurden fünf verschiedene Intensitäten (0, 0,5, 1, 2 und 4 W/kg) sowie zwei Expositionszeiten (4 h und 66 h bzw. 20 h) untersucht.

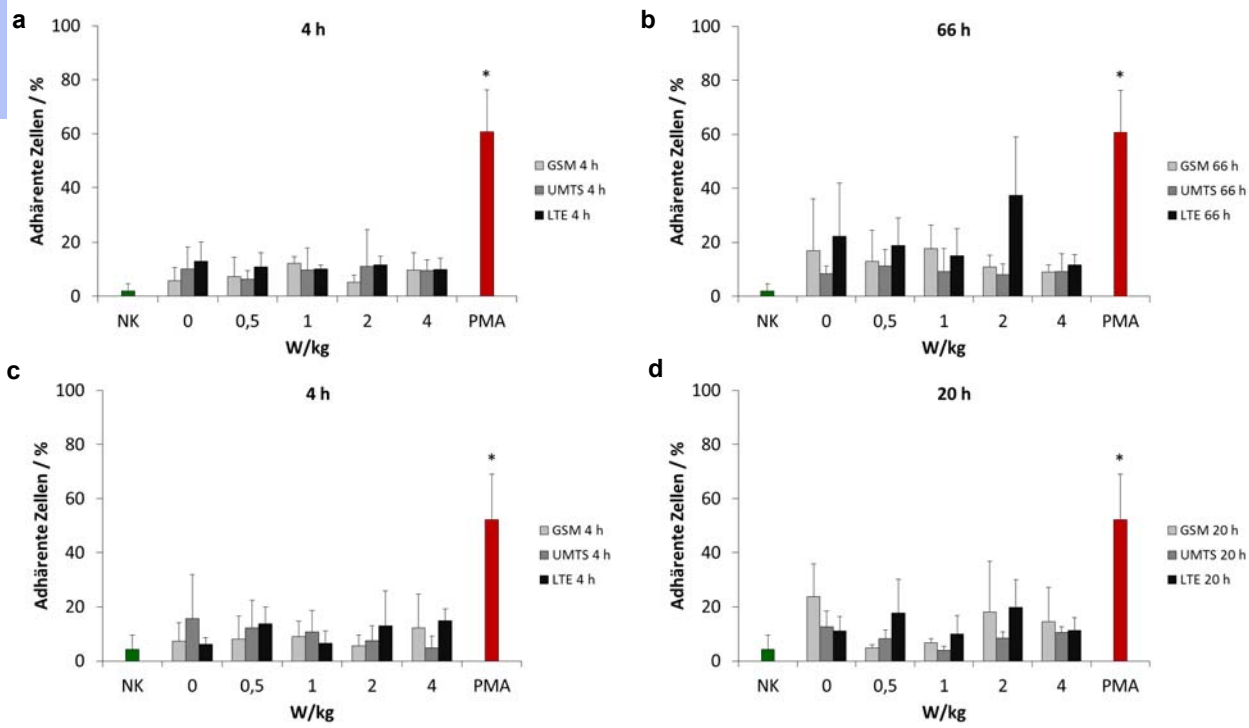


Abbildung 2: Ergebnisse der Kurz- und Langzeitexpositionen von HL-60-Zellen (a, b) und hämatopoetischen Stammzellen (c, d) für den Endpunkt Differenzierung/Adhärenz.
Dargestellt sind die Mittelwerte der Negativkontrollen (grün) und PMA-behandelten Kontrollen (rot) (n=33 für HL-60 und n=14 für HSC) sowie die Mittelwerte der GSM- (hellgrau), UMTS- (dunkelgrau) und LTE- (schwarz) Expositionen mit 0/0,5/1/2/4 W/kg aus drei unabhängigen Replikaten (n=3) (*: p≤0,05 vs. NK).

Die für beide Zelltypen erhaltenen Daten zeigten keine Auffälligkeiten, weder bei den Kurzzeit- noch bei den Langzeitexpositionen. Die Werte für die Intensitäten 0,5, 1, 2 und 4 W/kg lagen im Bereich der Sham-Exposition bzw. der unbehandelten Kontrolle (NK) mit leichten Schwankungen. Die Untersuchung der statistischen Signifikanz mit dem Kruskal-Wallis-Test ergab keine signifikanten Veränderungen für die vier untersuchten Intensitäten gegenüber 0 W/kg. Dagegen führte die Behandlung beider Zellarten (HL-60 und HSC) mit MMS zu einer statistisch signifikanten Erhöhung an DNA-Schäden im Vergleich zu den unbehandelten Proben. Insgesamt zeigten die Stammzellen eine stärkere Reaktion auf die Behandlung mit MMS (150 µM), was sich in einem höheren DNA-Schaden äußerte als bei den HL-60-Zellen.

6. UMSETZUNG DER ERGEBNISSE

Eine der wesentlichen Fragen, die nach Abschluss des Deutschen Mobilfunk Forschungsprogramms offen blieben, ist die nach möglichen Wirkungen langfristiger Expositionen bei Kindern. Einerseits ist der sich entwickelnde Organismus häufig empfindlicher gegenüber Umwelteinflüssen, andererseits sind Kinder teilweise höher exponiert als Erwachsene und außerdem werden sie sehr wahrscheinlich lebenslang exponiert sein.

Dieses Vorhaben diente zusammen mit einem Vorläufervorhaben dazu, verbleibende Kenntnislücken hinsichtlich möglicher gesundheitlichen Folgen einer langfristigen Exposition mit hochfrequenten Feldern auf den sich entwickelnden Organismus zu schließen. Gegenstand der beiden Vorhaben waren mögliche Wirkungen im Zusammenhang mit dem blutbildenden System, dem Immunsystem und der Kanzerogenese.

Im vorliegenden Vorhaben wurden einige Ergebnisse des Vorläufervorhabens, die nicht eindeutig waren, überprüft. Als Fazit beider Vorhaben lässt sich nunmehr feststellen, dass bei den in diesen Vorhaben verwendeten Zellen (HL-60-Zellen und hämatopoetische Stammzellen) in Folge einer Befeldung mit GSM-, UMTS- und LTE-Signalen keine relevanten Änderungen verschiedener, für das blutbildende System bedeutsamer Endpunkte auftraten.

Die Ergebnisse sollen in anerkannten wissenschaftlichen Zeitschriften publiziert werden und dienen der Verbesserung der Datenlage für die Beurteilung der Wirkungen des Mobilfunks auf Kinder und Jugendliche.

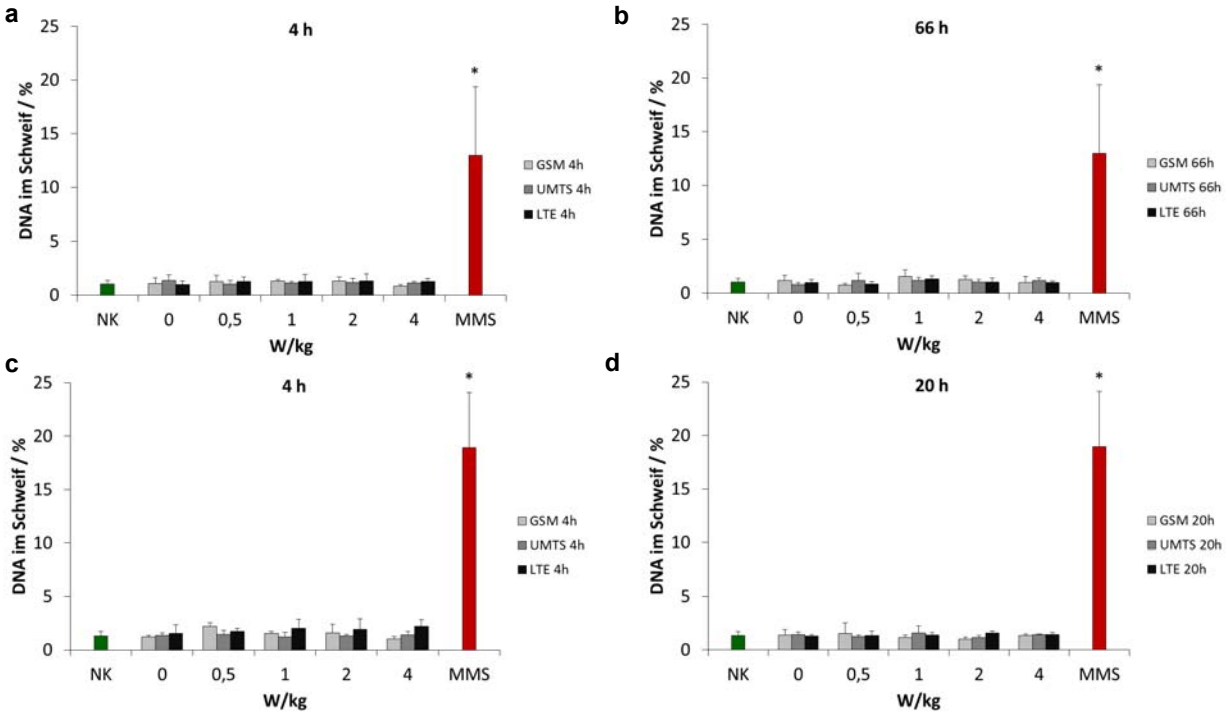


Abbildung 3: Ergebnisse der Kurz- und Langzeitexpositionen von HL-60-Zellen (a, b) und hämatopoetischen Stammzellen (c, d) für den Endpunkt DNA-Schaden.
Dargestellt sind die Mittelwerte der Negativkontrollen (grün) und MMS-behandelten Kontrollen (rot) (n=36 für HL-60 und n=12 für HSC) sowie die Mittelwerte der GSM- (hellgrau), UMTS- (dunkelgrau) und LTE- (schwarz) Expositionen mit 0/0,5/1/2/4 W/kg aus drei unabhängigen Replikaten (n=3), (*: p≤0,05 vs. NK).

Thema

Divergierende Risikobewertungen im Bereich Mobilfunk

Subject

Divergent risk assessments in the field of mobile communications

Kennzeichen	Beginn	Ende	Fördermittel
FM8865	01.01.2016	31.12.2016	EUR 105.400,-

Forschungs- / Auftragnehmer
Bietergemeinschaft:
Stiftung Risiko-Dialog, Hirtenweg 7, 9010 St. Gallen (Schweiz)
Forschungsstiftung Strom und Mobilkommunikation, ETH Zürich, ETZ K 89, Zürich (Schweiz)

Projektleitung	Fachbetreuung BfS	verantwortlich für den Text
Dr. R. Högg	C. Egblomassé-Roidl / AG-SG 1.4	Dr. G. Dürrenberger, M. Holenstein, Dr. R. Högg

1. ZIELSETZUNG

Das BfS hat für die möglichen Gefahren des Mobilfunks bzw. der damit verbundenen elektromagnetischen Felder eine eigene Risikobewertung erarbeitet. Sie basiert auf aktuellen wissenschaftlichen Erkenntnissen. Diese Risikoeinschätzung wird aber nicht von allen Akteuren geteilt, die sich mit dem Thema Mobilfunkstrahlung auseinandersetzen. Gerade auch mobilfunkkritische nicht-staatliche Organisationen (NGOs) publizieren oft Risikobewertungen, die derjenigen des BfS teilweise deutlich widersprechen. Aber auch zwischen Staaten gibt es unterschiedliche Einschätzungen und differierende Grenzwerte. Gerade für Laien führt diese Pluralität zu Verunsicherung. Warum gibt es unterschiedliche Bewertungen? Wem kann überhaupt getraut werden?

Das BfS möchte dieser Verunsicherung entgegenwirken, ohne die Risikobewertungen Dritter qualitativ zu beurteilen. Vielmehr will es der Öffentlichkeit auf ihrer Webseite eine einfach zugängliche Gegenüberstellung der unterschiedlichen Risikobeurteilungen von Mobilfunkstrahlung auf die Gesundheit präsentieren. Diese soll z. B. aufzeigen, welche Effekte divergierend bewertet werden und welche Bewertungsmethoden und -kriterien von den einzelnen Organisationen angewandt wurden. Das BfS will dadurch in einem Themenfeld für Transparenz sorgen, das in der öffentlichen Wahrnehmung von großer Unsicherheit geprägt ist.

2. EINZELZIELSETZUNG

Das Projekt basiert darauf, dass verschiedene Risikobewertungen im Bereich Mobilfunk existieren. Dabei stellen sich zwei Kernfragen:

- Welches sind die inhaltlichen Unterschiede zwischen den einzelnen Bewertungen?
- Weshalb kommen die einzelnen Organisationen zu unterschiedlichen Bewertungen - gerade auch vor dem Hintergrund, dass auf ein und dieselbe Studienbasis Bezug genommen wird?

3. METHODIK

3.1 ANALYSE DER ÖFFENTLICH VERFÜGBAREN RISIKOBEWERTUNGEN

Die Analyse der Risikobewertungen der einzelnen Organisationen geschah anhand eines einheitlichen, übersichtlichen Rasters, bestehend aus drei Tabellen. Sämtliche Inhalte stammten aus öffentlich frei verfügbaren Quellen, die durch die analysierten Organisationen selber zur Verfügung gestellt wurden.

3.2 INTERVIEWS TYP 1: „KONTEXT“

Die öffentlich zugänglichen Risikobewertungen der einzelnen Organisationen wurden anhand eines Rasters systematisch analysiert. Die Erkenntnisse aus den verfügbaren Materialien wurden dabei durch Interviews mit Experten/-innen („Kontextinterviews“) ergänzt und validiert. Wesentliche Leitfragen/Themenbereiche für die Kontextinterviews waren:

- In welcher Situation informieren sich Personen über die Risiken des Mobilfunks?

- Wie gelangen Organisationen zu ihren Risikobewertungen?
- Wie sind Risikobewertungen darzustellen, damit sie einfach verständlich sind?
- Wie verlaufen Risikobewertungsprozesse? Wie kann es sein, dass man mit den gleichen Informationen zu unterschiedlichen Risikobewertungen gelangen kann?

Insgesamt wurden sechs Kontextinterviews durchgeführt und die Inhalte aus den Interviews wurden zu 11 Aussagen zusammengefasst.

3.3 INTERVIEWS TYP 2: „REVIEW DER RESULTATE“

Die Resultate der Analyse der öffentlich verfügbaren Risikobewertungen wurden den einzelnen Organisationen vorgelegt. Ziel war es, sicherzustellen, dass die Informationen im Sinne der Verfasser interpretiert und zusammengefasst sind. Außerdem sollten die einzelnen Organisationen auch die Möglichkeit erhalten, darauf hinzuweisen, ob ihrer Meinung nach zentrale Elemente fehlten oder von ihnen anders gemeint waren.

Zusätzlich wurden von den Organisationen auch allgemeine Einstellungen zur Risikothematik, zum Thema EMF und zum Bewertungsprozess eingeholt, um etwaige Differenzen der Risikobewertungen verstehen oder erklären zu können.

Die Interviews vom Typ 2 wurden schriftlich durchgeführt.

3.4 INTERVIEWS TYP 3: „QUALITÄTSKONTROLLE“

Ebenfalls in der dritten Phase wurden Experten-Interviews zur „Qualitätskontrolle“ durchgeführt, um die im Rahmen des Projektes erarbeiteten Informationen auch aus einer Gesamtperspektive zu reflektieren und darzustellen. Insgesamt wurden 3 Kontextinterviews durchgeführt. Die Inhalte aus den Interviews wurden zu 11 Aussagen zusammengefasst.

4. DURCHFÜHRUNG

Das Projekt war in drei Phasen gegliedert.

4.1 AUFARBEITUNG THEORIE UND SELEKTION EXISTIERENDER UNTERLAGEN (PHASE 1)

Phase 1 beinhaltete eine Aufarbeitung des Kenntnisstandes über die Risikowahrnehmung unabhängig vom Thema Mobilfunk als Grundlage für das vorliegende Projekt sowie die Identifikation der Organisationen, deren Mobilfunk-Risikobewertungen genauer analysiert werden sollten. Hierzu wurden die existierenden Risikobewertungen von mehr als 50 potenziell relevanten Organisationen, die sich in Deutschland und/oder dem nahen Ausland (Deutschland, Österreich, Schweiz, sog. DACH Länder) sowie international mit dem Thema EMF bzw. „Mobilfunkrisiken“ beschäftigen, gesichtet und mittels eines Schemas bezüglich ihrer Relevanz für das Projekt beurteilt.

Das Schema umfasste u. a. Informationen zur Organisation und Angaben zur öffentlich verfügbaren Risikobewertung (Umfang, Publikationsjahr, Hauptaussage der Risikobewertung etc.). In die Übersicht wurden nur diejenigen der 50 vorselektionierten Organisationen aufgenommen, welche die folgenden Kriterien erfüllen:

- Es muss eine **Risikobewertung** gemäß der im Rahmen des vorliegenden Projekts verwendeten **Definition** vorliegen. In Anlehnung an die Definition des EMF-Portals gilt als Risikobewertung *„die Identifizierung, Quantifizierung und Bewertung von Risiken mit dem Ziel, die Wahrscheinlichkeit des Auftretens einer Gefährdung und der damit verbundenen Schäden vorherzusagen“*. Die **Grundlagen**, auf denen die jeweilige Risikobewertung basiert, müssen dabei **nicht zwingend wissenschaftliche Studien** sein. Eine Risikobewertung gemäß dieser Definition kann auch auf persönlichen Erfahrungswerten, Gerichtsurteilen, politischen Entscheiden oder anderen Grundlagen basieren. Die Risikobewertung (im Sinne dieser Definition) **muss keine Aussage darüber machen, ob die Wahrscheinlichkeit oder das potenzielle Schadensausmaß akzeptabel sind.**
- Die Risikobewertung muss die **Risiken der Mobilfunkstrahlung** (Mobiltelefon und/oder Mobilfunkmasten) betreffen.

Dabei wurden drei Klassen gebildet: für die Detailanalyse ‚**geeignet**‘, für eine Detailanalyse ‚**eventuell geeignet**‘, sowie ‚**nicht geeignet**‘. Die Zuteilung erfolgte systematisch nach folgenden Kriterien:

- Die Organisation oder Risikobewertung muss für die Diskussion in Deutschland **von einer gewissen Bedeutung** (auf einer dreistufige Skala) sein. Dieses Kriterium ist sehr breit zu verstehen. Es kann sich

um Einfluss im Bereich der öffentlichen Debatte, im politischen Diskurs oder z. B. für die Wissenschaftsdiskussion handeln.

- **Bei** Organisationen bzw. Dokumenten mit **mittlerer Bedeutung** entscheidet die **wissenschaftliche Basis und der Umfang des Dokuments**, das für die Risikobewertung berücksichtigt wurde, über die Eignung für die vorliegende Arbeit.

Der Ausgangspunkt wurde mit 50 Organisationen absichtlich breit gewählt, um zu verhindern, dass nur große und bekannte Namen in den Vergleich Eingang finden.

Basierend auf dem oben beschriebenen, vordefinierten Auswahlmechanismus wurden die Risikobewertungen der folgenden Organisationen genauer analysiert:

Tabelle 1: Liste der im Rahmen des Projektes vertieft analysierten Organisationen

Organisationskürzel	**Vollständiger Name**
BfS	Bundesamt für Strahlenschutz
BioInitiative	BioInitiative
BUND	Bund für Umwelt und Naturschutz Deutschland e.V.
diagnose:funk	diagnose:funk e.V.
dkfz	Deutsches Krebsforschungszentrum
Ecolog	Ecolog - Institut für sozial-ökologische Forschung und Bildung GmbH
IARC	International Agency For Research On Cancer
ICNIRP	International Commission on Non-Ionising Radiation Protection
IZMF	Informationszentrum Mobilfunk e.V.
Kompetenzinitiative	Kompetenzinitiative zum Schutz von Mensch, Umwelt und Demokratie e.V.
LUBW LfU (gemeinsame Risikobewertung)	Landesanstalt für Umwelt, Messungen und Naturschutz Baden-Württemberg Bayrisches Landesamt für Umwelt
SCENIHR	Scientific Committee on Emerging and Newly Identified Health Risks
SSK	Strahlenschutzkommission
WHO	World Health Organization

4.2 ANALYSE DER BEWERTUNGEN UND EXPERTENINTERVIEWS (PHASE 2)

Phase 2 nahm die Resultate aus Phase 1 auf und führte sie einer detaillierten Analyse zu. Insbesondere wurden die öffentlich zugänglichen Risikobewertungen der einzelnen Organisationen dargestellt und ein generisches Schema zum Ablauf eines Risikobewertungsprozesses erarbeitet. Die Erkenntnisse aus den verfügbaren Materialien wurden sodann mit Experten/-innen diskutiert. Unter dem Titel „Kontextinterviews“ sollten sie Hinweise darauf liefern, ob das verwendete Analyseraster alle wichtigen Aspekte berücksichtigt und was in der aktuellen Phase bereits für das Endprodukt (die tabellarische Gegenüberstellung der Risikobewertungen) zu berücksichtigen ist.

4.3 BEWERTUNGSRASTER UND DARSTELLUNG (PHASE 3)

Phase 3 bildete den Abschluss und den Hauptinhalt des Projekts. Sie startete mit dem „Review der Resultate“. Allen analysierten Organisationen wurden die erarbeiteten Analysen der Risikobewertungen vorgelegt. In Phase 3 wurden zudem die Erkenntnisse in tabellarischer Form für die Verwendung auf der Webseite des BfS aufbereitet und mit Kontextinformationen ergänzt. Neben der Analyse der Literatur und der online einsehbaren Risikobewertungen der verschiedenen Organisationen wurden in der dritten Phase auch Experten/-innen-Interviews zur „Qualitätskontrolle“ und Validierung der Resultate durchgeführt. Sie sollten sicherstellen, dass die im Rahmen des Projektes erarbeiteten Informationen korrekt und optimal dargestellt werden.

5. ERGEBNISSE

5.1 EMPFEHLUNGEN ZUR KOMMUNIKATION DER RESULTATE

Der Schlussbericht enthält konkrete Empfehlungen, wie die Resultate auf der Webseite des BfS veröffentlicht werden sollten. Kernstück der Empfehlungen sind Tabellen, welche die Risikobewertungen der unterschiedlichen Organisationen einander gegenüberstellen (Wirkung auf die Gesundheit des Menschen und Wirkung auf die Biologie).

Die Tabellen (Beispiel: Abbildung 1) geben eine Übersicht über die unterschiedlichen Risikobewertungen verschiedener Organisationen. In ihr finden sich Aussagen zu den folgenden gesundheitlichen Auswirkungen (sofern die jeweiligen Organisationen eine Aussage dazu gemacht haben):

- Krebs
- Kardiovaskuläre Effekte (Herzkreislauf System)
- Neurodegeneration (negative Auswirkungen auf das Nervensystem)
- Reproduktion/Entwicklung
- Hirnströme
- Kognition (Wahrnehmung, Denkleistung)
- Hormone/Stress
- Elektrosensibilität/Schlaf
- Blut-Hirn-Schranke (Barriere zwischen dem Blutkreislauf und dem Zentralnervensystem)

Die einzelnen Bewertungen sind farblich gekennzeichnet.

- **Weiß** = die Organisation macht keine Aussage zu diesem Thema
- **Grün** = die Organisation ist der Meinung, mit der bislang durchgeführten Forschung wurde kein Effekt zwischen Mobilfunkstrahlung und diesem Thema nachgewiesen (das bedeutet nicht, dass zukünftige Forschung keinen derartigen Effekt nachweisen könnte).
- **Gelb** = die Organisation ist der Meinung, dass es zwar Hinweise für einen Zusammenhang zwischen Mobilfunkstrahlung und diesem Thema gibt, dass dieser aber nicht ausreichend nachgewiesen wurde (z. B. weil die Studien widersprüchliche Ergebnisse liefern oder weil es zu wenige Studien gibt, um eine seriöse Aussage machen zu können).
- **Orange** = die Organisation ist der Meinung, dass der Zusammenhang zwischen Mobilfunkstrahlung und diesem Thema zwar unvollständig, aber doch zum Teil nachgewiesen ist.
- **Rot** = die Organisation ist der Meinung, dass ein Zusammenhang zwischen Mobilfunkstrahlung und diesem Thema nachgewiesen ist.

Die ersten drei Spalten geben Informationen dazu, was die Organisationen bzw. ihre Risikobewertung auszeichnet.

Spalte 1 - Organisationstyp: Es lassen sich drei Organisationstypen unterscheiden:

- **Wissenschaft (W)** sind Organisationen, deren Hauptaufgabe die wissenschaftliche Arbeit ist.
- **Behörde (B)** sind nationale oder internationale staatliche Organisationen.
- **Zivilgesellschaft (Z)** sind Organisationen, die aus der Zivilgesellschaft gewachsen und von ihr getragen sind.

Spalte 2 - Literaturauswertung: Die Risikobewertungen lassen sich danach unterscheiden, wie stark die Erarbeitung der Risikobewertungen klassische wissenschaftliche Prinzipien verfolgte. Die Risikobewertungen wurden systematisch auf diese Qualität hin analysiert und in folgende Gruppen unterteilt:

- **Systematische Reviews (SR)** sind Risikobewertungen, in welchen nur Publikationen ausgewertet wurden, die von Fachwissenschaftlern/-innen verfasst wurden und die einen systematischen, formellen Reviewprozess durchlaufen haben.
- **Umfassende Fachberichte (FB)** und **öffentlichkeitsorientierte Bewertungsberichte (BB)** sind nicht ausschließlich von Fachwissenschaftler/-innen verfasst worden und/oder haben weniger strikte Qualitätskriterien, was die Auswahl der analysierten Literatur betrifft.

Spalte 3 - Bewertungspräferenz: Risikobewertungen sind das Resultat von persönlichen oder - in diesem Fall - institutionellen Einschätzungen. Neben wissenschaftlichen Faktoren spielen dabei auch politische eine wichtige Rolle. Es wurden drei Typen von Bewertungspräferenzen unterschieden.

- **Evidenzbasierte Risikoeinschätzungen (A)** - Organisationen dieser Gruppe lassen prioritär oder ausschließlich wissenschaftliche Fakten in ihre Risikobewertung einfließen. Dabei ist der Begriff „Evidenz“ zu verstehen als der Beweis, dass etwas mit ausreichender wissenschaftlicher Qualität belegt ist. Sie richten sich hauptsächlich an wissenschaftlich interessierte Zielgruppen. In der Selbstwahrnehmung stellen die Organisationen hohe Anforderung an die wissenschaftliche Qualität der der Risikobewertung zu Grunde liegenden Studien.
- **Politische Vorsorgesicht (B)** – Viele Organisationen dieser Gruppe beziehen sich in ihren Risikobewertungen häufig auf Aussagen oder komplette Risikobewertungen anderer Organisationen (in der Regel Risikobewertungen von Organisationen in der Gruppe A). Sie schließen aber auch andere Faktoren (z. B. Nutzen und insbesondere das Vorsorgepostulat) in ihren Bewertungen mit ein. Die Zielgruppen sind breiter als die der Gruppe A. Dies hat zur Folge, dass Formulierungen oft weniger „hart“ sind und mit Kontextinformationen angereichert werden. Kontextinformationen können beispielsweise Vergleiche mit anderen Risikothemen sein.
- **Unbedenklichkeitsnachweis (C)** – Organisationen, die der starken Vorsorge ein großes Gewicht geben, berücksichtigen in ihren Risikobewertungen neben wissenschaftlichen Befunden auch andere Erkenntnisse, wie z. B. Einzelbeobachtungen. Sie haben einen sehr starken Fokus auf das Vorsorgeprinzip, und zwar in der Art, dass sie potenzielle Gefahren weitestgehend vermeiden wollen, was politisch zur Forderung des Nachweises der Unbedenklichkeit der Mobilfunkstrahlung führen kann.

Sämtliche Organisationen, deren Risikobewertungen analysiert wurden und die hier aufgeführt sind, haben einen relevanten Einfluss auf die Diskussion und die politische Debatte der gesundheitlichen Auswirkungen von Mobilfunkstrahlung in Deutschland. Die Selektion war bewusst breit angelegt um die Meinungsvielfalt des öffentlichen Diskurses einzufangen. Es wird keine Aussage über die Korrektheit der einzelnen Risikobewertungen gemacht.

Die Farben in den vergleichenden Tabellen entsprechen den Risikobewertungen der jeweiligen Organisationen. Zudem sind alle Zellen mit einem Code versehen. Mit diesem Code können im Anhang des Berichtes die betreffenden Zitate nachgeschlagen werden. Beispiel: Das Zitat des BfS zu gesundheitlichen Auswirkungen der Mobilfunkstrahlung in Bezug auf Krebs hat Nummer 2ga. Das Zitat der Strahlenschutzkommission (SSK) zu Auswirkungen der Mobilfunkstrahlung in Bezug auf Schlaf ist Nummer 5gh. Die Zitate sind als Beispielbelege für die betreffende Risikoeinschätzung zu nehmen.

5.2 FAZIT

Das Projekt ist auf großes Interesse gestoßen bei den Organisationen, die Risikobewertungen im Bereich Mobilfunk vornehmen. Vor allem auch mobilfunkkritische Organisationen begrüßen den Willen zum Dialog, den das BfS mit der Studie zeigt. Es beweist damit, dass es sich für die Sichtweisen anderer Organisationen ernsthaft interessiert und eine Verhärtung von Fronten vermeiden will.

Inhaltlich zeigt das Projekt, wie wichtige Risikobewertungen im Detail ausfallen und wie sie sich voneinander unterscheiden. Außerdem wird sichtbar, dass sich die Organisationen, die Risikobewertungen vornehmen, in Typen unterteilen lassen, je nachdem, wie ihre Risikobewertungsprozesse gestaltet sind und worauf besonders Wert gelegt wird. Das erklärt zumindest im Ansatz und durchaus plausibel, weshalb es zu unterschiedlichen Einschätzungen kommen kann.

Durch eine graphische und tabellarische Aufbereitung können die unterschiedlichen Risikobewertungen intuitiv und schnell erfasst werden. Der interessierten Öffentlichkeit wird dadurch die Möglichkeit geboten, sich ohne viel Aufwand kundig zu machen. Eine Vielzahl von Fragen können mit diesem Orientierungswissen beantwortet werden. Welche Organisation sagt was, zu welchem potenziellen Risikothema? Was sagen Organisationen, deren Meinung ich vielleicht nicht teile? Wie kann es sein, dass sich die Aussagen teilweise sehr stark unterscheiden?

In Ergänzung zur in der Ausschreibung gewünschten Darstellung als statische Tabelle empfiehlt das Projektteam, die Resultate als dynamische Tabelle umzusetzen. Dies erhöht die Nutzerfreundlichkeit ungemein, steigert den inhaltlichen Gehalt und erlaubt Nutzerinnen und Nutzern eigene Analysen durchzuführen, indem sie die verfügbaren Informationen unterschiedlich sortieren und ordnen können.

Wirkung auf Gesundheit des Menschen (Humanstudien)	Organisationstyp	Literaturauswertung	Bewertungspräferenz	Krebs	Kardiovaskuläre Effekte	Neurodegeneration	Reproduktion/Entwicklung	EEG	Kognition	Hormone / Stress	Elektrosensibilität / Schlaf	Blut-Hirn-Schranke
WHO	S	SR	B	8ga	8gb			8ge	8gf		8gh	
SCENIHR	W	SR	A	7ga		7gc	7gd	7ge	7gf		7gh	
ICNIRP	W	SR	A	6ga	6gb			6ge	6gf	6gg	6gh	
IARC	W	SR	A	9ga								
BioInitiative	W	FB	?	14ga			14gd	14ge	14gf	14gg	14gh	14gi
SSK	W	FB	A	5ga		5gc		5ge	5gf		5gh	
LUBW & LfU	S	BB	B	3ga							3gh	
dkfz	W	BB	A	4ga								
BfS	S	FB	B	2ga			2gd	2ge	2gf	2gg	2gh	2gi
Komptetenzinitiative	Z	FB	C	12ga		12gc	12gd					
IZMF	Z	BB	B	1ga	1gb			1ge	1gf	1gg	1gh	1gi
Ecolog	Z	FB	B	11ga			11gd				11gh	
Diagnose:Funk	Z	BB	C	13ga		13gc	13gd			13gg	13gh	13gi
BUND	Z	BB	B	10ga		10gc					10gh	10gi

Wissenschaft → W
Staatliche Organisation → S
Zivilgesellschaft → Z

A ← "Evidenzbasierte Risikoeinschätzungen"
B ← "Politische Vorsorgesicht"
C ← "Unbedenklichkeitsnachweis"
? ← Einteilung nicht möglich
← Einteilung ohne Fragebogen

SR ← Systematische Reviews
FB ← Umfassende Fachberichte
BB ← Öffentlichkeitsorientierte Bewertungsberichte
← Einteilung ohne Fragebogen

Keine Aussage
Kein gesundheitlicher Effekt vorhanden
Effekt ist inadäquat nachgewiesen *(*)*
Effekt ist limitiert nachgewiesen
Effekt ist ausreichend nachgewiesen

(Studienlage widersprüchlich, Studien nicht aussagekräftig zu wenige Studien für seriöse Aussage)*

Abbildung 1: Risikobewertungen - Wirkung auf die Gesundheit des Menschen (sortiert nach Wirkungstyp)

6. UMSETZUNG DER ERGEBNISSE

Ziel des Vorhabens war die Gegenüberstellung verschiedener relevanter Bewertungen des Risikos für den Bereich Mobilfunk (Mobilfunkgeräte, Mobilfunk-Basisstationen).

Es konnten 15 für den Mobilfunk relevante Organisationen aufgelistet, deren zum Teil unterschiedliche Aussagen herausgearbeitet und optisch über eine Tabelle aufbereitet werden.

Die in diesem Vorhaben erstellte Tabelle wird auf die Homepage des BfS gestellt und soll dazu dienen, die Informationsseiten des BfS noch transparenter und bürgerfreundlicher - und somit auch verständlicher - zu gestalten. Das BfS will dadurch zeigen, dass es im Bereich Mobilfunk durchaus unterschiedliche Bewertungen des Risikos gibt und dass sich der interessierte Leser darüber selbst ein Bild machen kann. Die tabellarische Aufbereitung liefert für die verschiedenen Akteure eine gute Basis für die Risikokommunikation im Bereich Mobilfunk, denn eine verbesserte Einschätzung von publizierten Risikobewertungen mit Hilfe dieser Tabelle durch naturwissenschaftliche Laien ist durchaus wünschenswert.

STATUSBERICHTE

der vom BfS begleiteten Strahlenschutz-Forschungsvorhaben des BMUB

STATUS REPORTS

of BfS supported BMUB radiation protection research projects

Themenbereich 01
Natürliche Strahlenexposition

Subject area 01
Natural radiation exposure

Thema

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

Subject

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

Kennzeichen	Beginn	Ende	Fördermittel
3614S10015	01.01.2015	30.09.2017	EUR 271.378,-

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

Projektleitung	Fachbetreuung BfS	verantwortlich für den Text
Dr. G. Johnen, Prof. Dr. T. Brüning	Dr. M. Schnelzer, AG-SG 1.3	Dr. A. Brik, Dr. G. Johnen, Dr. D. Weber

1. ZIELSETZUNG

In diesem Projekt sollen von männlichen Lungenkrebspatienten des Wismut-Pathologiearchivs die beiden Nukleinsäuren DNA und RNA aus dem Formalin-fixierten Paraffin-eingebetteten (FFPE) Gewebe (jeweils Tumor- und Nichttumorgewebe) für eine Bioprobenbank isoliert werden.

2. EINZELZIELSETZUNG

Im Pathologiearchiv befinden sich FFPE-Blöcke von insgesamt 937 männlichen Lungenkrebspatienten. 505 dieser Fälle wurden im vorangegangenen Projekt (3610S10002) bearbeitet. Dabei konnten 357 Fälle mit vorhandenen Paraffinblöcken und passenden Belegschnitten identifiziert werden. Die übrigen 432 theoretisch noch vorhandenen und bisher nicht bearbeiteten Fälle sollen in diesem Projekt bearbeitet werden. Hinzu kommen noch 201 Fälle (FFPE-Blöcke und soweit vorhanden entsprechende Belegschnitte), aus denen im vorangegangenen Projekt (3610S10002) nur DNA aber keine RNA isoliert wurde.

3. METHODIK

Die Auswahl geeigneter FFPE-Blöcke sowie die Zusammenführung der verfügbaren und erhobenen Daten in einer Datenbank erfolgt in Abstimmung mit der Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin (BAuA). Die Isolierung, Qualitätsüberprüfung und Dokumentation der DNA und RNA erfolgt nach den Standard Operating Procedures (SOPs).

4. DURCHFÜHRUNG

Die ausgewählten Proben werden aus dem Wismut-Pathologiearchiv herausgesucht. Von den FFPE-Blöcken werden 10 µm-Schnitte für die Isolation von DNA und RNA sowie 3 µm-Belegschnitte, die anschließend mit HE[1)] gefärbt werden, für die pathologisch-anatomische Begutachtung angefertigt. Dabei wird die grundsätzliche Eignung der FFPE-Blöcke für die Isolation von DNA und RNA hinsichtlich ausreichend vorhandenem Material von Tumor- und Nichttumorgewebe und möglichst geringer nekrotischer Bereiche bewertet. Falls sich Tumorgewebeproben als unbrauchbar erweisen, z. B. auf Grund von großen nekrotischen Bereichen, werden die Primärtumor-Proben, wenn möglich, durch Lungentumor-Metastasen äquivalent ersetzt.

5. ERGEBNISSE

Bis Ende 2016 konnten von den 432 vorausgewählten Fällen zu 401 Fällen (> 90 %) ausreichendes Material in Form von FFPE-Blöcken, zum Teil mit den entsprechenden Belegschnitten, aus dem Wismut-Archiv entnom-

[1)] Hämatoxylin-Eosin

men werden. Zusätzlich konnten für acht Fälle, von denen keine Blöcke mit Primärtumor mehr vorhanden waren, alternativ Blöcke mit Fernmetastasen der Lungentumoren gefunden werden. Weiterhin wurden Blöcke aus dem Vorprojekt für die noch fehlende RNA-Isolation bearbeitet. Da für die meisten Patienten mehrere Blöcke vorlagen, von denen eine Eignung erst nach mikroskopischer Begutachtung festgestellt werden konnte, musste zunächst eine deutlich höhere Zahl an Blöcken bearbeitet und anhand der Schnitte begutachtet werden.

Nach der pathologisch-anatomischen Bewertung zeigten sich 504 Fälle für die Isolierung von DNA und RNA als geeignet. Da von jedem Patienten jeweils Tumor- und Nichttumormaterial gewonnen werden soll, lagen somit 1.008 Proben für die Isolierung vor.

Aus Tumor- und Nichttumormaterial von 306 Fällen wurde bisher die DNA isoliert, was entsprechend 613 DNA-Proben ergab (von einem Probanden lag Material von zwei Tumorentitäten - Kleinzelliges Karzinom und Plattenepithelkarzinom - vor). Die DNA-Menge betrug im Median 10,87 µg (Interquartile Ranges (IQR) 6,67 µg - 19,69 µg). Die DNA-Reinheit betrug im Median 1,79 (IQR 1,75 - 1,83).

Die RNA wurde bisher aus 793 Proben (Tumor- und Nichttumormaterial) von 396 Fällen (von einem Probanden liegt Material von zwei Tumorentitäten - Kleinzelliges Karzinom und Plattenepithelkarzinom - vor) isoliert. Die RNA-Menge betrug im Median 3,43 µg (IQR 1,75 µg - 6,78 µg). Die RNA-Reinheit betrug im Median 1,75 (IQR 1,68 - 1,80).

Die Qualität der RNA wurde anhand der RIN (RNA Integrity Number) bestimmt. Die RIN konnte bisher erfolgreich in 549 Proben bestimmt werden und beträgt im Median 2,0 (IQR 1,3 - 2,3). In 71 Proben konnte die RIN hingegen nicht bestimmt werden.

6. GEPLANTE WEITERARBEIT

Für den weiteren Verlauf des Projekts ist die Bearbeitung der noch ausstehenden Fälle geplant. Dies umfasst entsprechend die pathologisch-anatomische Begutachtung der Fälle und die Isolierung von DNA und RNA aus den geeigneten Tumor- und Nichttumor-Proben.

Für die Fälle, die sich nach der Begutachtung als nicht geeignet erweisen, werden noch vorhandene FFPE-Blöcke, ersatzweise auch mit Probenmaterial von Lungentumor-Metastasen, für eine erneute pathologisch-anatomische Begutachtung und anschließende Nukleinsäure-Isolierung aus dem Pathologiearchiv herausgesucht.

Thema

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

Subject

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

Kennzeichen	**Beginn**	**Ende**	**Fördermittel**
3615S12230	01.05.2015	31.07.2017	EUR 186.830,-

Forschungs- / Auftragnehmer
Karlsruher Institut für Technologie (KIT)

Projektleitung	**Fachbetreuung BfS**	**verantwortlich für den Text**
Dr. B. Breustedt	Dr. A. Giussani / AG-SG 2.3	Dr. B. Breustedt

1. ZIELSETZUNG

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

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

2. EINZELZIELSETZUNG

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

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

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

3. METHODIK

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

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

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

4. DURCHFÜHRUNG

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

4.1 BERECHNUNG DER ANZAHL DER KERNZERFÄLLE FÜR ZERFALLSREIHEN

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

4.2 BERECHNUNG DER S-KOEFFIZIENTEN FÜR DIE BETRACHTETEN NUKLIDE

Die S-Koeffizienten werden mit Hilfe der spezifischen absorbierten Anteile (SAF[1)]-Werte) aus Voxelmodellen des menschlichen Körpers und den Kernzerfallsdaten (Teilchenarten, Energien, Emissionswahrscheinlichkeiten) berechnet. Zur Berechnung der S-Koeffizienten aus den vom Auftraggeber zur Verfügung gestellten Daten der ICRP (SAF-Werte und Kernzerfallsdaten) wurde ein Programm „SKoeffCalc“ geschrieben. Dieses liest die Daten ein und berechnet die nuklidabhängigen S-Koeffizienten für die verschiedenen Kombinationen von Quell- und Zielorganen. Eine Besonderheit stellt das Organ „Other Tissues“ dar, in dem in biokinetischen Modellen mehrere Organe zusammengefasst werden. Hier muss die jeweils elementabhängige Definition der Kompartimente, welche die Quellregion „Other Tissues“ bilden, berücksichtigt werden.

5. ERGEBNISSE

Im zweiten Arbeitspaket wurden aus einer Literaturrecherche die verschiedenen Faktoren zusammengestellt, die zu Unsicherheiten bei den Dosiskoeffizienten führen.

Die Unsicherheiten der Werte der Transferkoeffizienten im biokinetischen Modell fließen direkt in die Berechnung der Anzahl der Kernzerfälle ein. Im Projekt werden diese Beiträge wie oben beschrieben über MC-Simulationen mit verrauschten Transferkoeffizientenmatrizen ermittelt. Um Korrelationen der Parameter berücksichtigen zu können wurde der Sampling Algorithmus, mit dem die einzelnen Werte verrauscht werden, angepasst. Damit werden nun Parameter, die gleiche Transfers beschreiben (z. B. im Lungenmodell für verschiedene Nuklide), identisch verrauscht.

Insgesamt gibt es in der Literatur wenige Untersuchungen zur Unsicherheit der S-Koeffizienten. Darin wird angenommen, dass die Unsicherheit in den Kernzerfallsdaten für die meisten Nuklide nahezu keinen Beitrag zur gesamten Unsicherheit des Dosiskoeffizienten liefert. Die Unsicherheit in den SAF-Werten für die im Projekt betrachteten Alphastrahler kann in erster Näherung über die Variabilität der Organmassen abgeschätzt werden. Für die S-Koeffizienten sollen in den MC-Simulationen entsprechende Verteilungen verwendet werden.

6. GEPLANTE WEITERARBEIT

In einer Literaturrecherche werden Informationen zusammengetragen, mit denen die Rauschverteilungen für die Eingangsparameter definiert werden können. Für die definierten Zufuhrszenarien werden über Monte-Carlo-Simulationen die Verteilungen der Organdosiswerte aus den verrauschten Transferkoeffizientenmatrizen und S-Koeffizienten berechnet. Die so erhaltenen Verteilungen werden mit statistischen Maßen (z. B. Standardabweichung, Varianz, Variationskoeffizient, Vertrauensintervall) beschrieben um die Unsicherheiten für die Dosiskoeffizienten zu quantifizieren. Durch eine mit den gleichen Methoden durchgeführte Sensitivitätsanalyse, in der gezielt nur einzelne Parameter verrauscht werden, soll deren Beitrag zur Unsicherheit quantifiziert werden.

[1)] specific absorbed fraction

Thema

Ermittlung von potenziellen Strahlenexpositionen durch Ableitungen aus NORM-relevanten Industriezweigen

Subject

Determination of potential exposure to radiation due to discharges from NORM relevant industrial sectors

Kennzeichen	**Beginn**	**Ende**	**Fördermittel**
3615S12232	01.07.2015	31.03.2017	EUR 119.190,-

Forschungs- / Auftragnehmer
IAF - Radioökologie GmbH, Radeberg

Projektleitung	**Fachbetreuung BfS**	**verantwortlich für den Text**
Dr. Chr. Kunze	J. Dilling / SW 1.2	Dr. Chr. Kunze

1. ZIELSETZUNG

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

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

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

2. EINZELZIELSETZUNG

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

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

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

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

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

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

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

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

Im Ergebnis von AP 2 werden insgesamt mindestens 15 und höchsten 20 Branchen hinsichtlich ihrer Ableitung von NORM-Stoffen bewertet werden.

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

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

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

3. METHODIK

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

Unter AP 3 werden vor allem die bei den jeweiligen Tätigkeiten eingesetzten Materialmengen und deren Aktivitätskonzentrationen und die anfallenden Rückstände, deren Mengen und Aktivitätskonzentrationen qualitativ bewertet, ebenso die Abwasser- und Abluftmengen. Ziel dieses Arbeitsschrittes ist eine Eingrenzung der Tätigkeiten auf jene, bei denen grundsätzlich die Möglichkeit besteht, dass über Ableitungen radioaktive Stoffe in einem Maße in die Umgebung abgeleitet werden, dass Strahlenexpositionen in einer Höhe entstehen können, die bei den künftig geltenden Bedingungen für die Einhaltung des Dosiskriteriums von einem Millisievert pro Jahr zu beachten sind. Für die Ableitungen erfolgt eine quantitative Abschätzung der Aktivitätsmengen. Grundlagen dafür sind die jeweiligen Aktivitätskonzentrationen und die für die Wege abgeschätzten Mengen, z. B. Abluft- oder Abwassermengen. Ergänzend dazu werden die Mengen der anfallenden Rückstände im Hinblick auf mögliche Freisetzungen von radioaktiven Stoffen bewertet, da auch die deponierten Rückstände über die Freisetzung radioaktiver Stoffe zu Strahlenexpositionen in der Umgebung der Betriebe beitragen können.

[1)] Bundes-Immissionsschutzgesetz

Bei der Bewertung der Strahlenexpositionen von Personen der Bevölkerung durch Ableitungen aus NORM-Industrien wird zunächst eine Bewertung unter Anwendung generischer Parameter und Szenarien durchgeführt.

4. DURCHFÜHRUNG

Die Durchführung erfolgt gemäß der in Abschnitt 3 beschriebenen Methodik. Bislang wurden die Arbeitspakete (AP) 1 und 2 bearbeitet und abgeschlossen.

5. ERGEBNISSE

Im Ergebnis der im AP 1 durchgeführten Literaturrecherche der 16 in Anlage VI der EU-Grundnormenrichtlinie genannten Industrien wurden Ableitungen von 7 Industriezweigen identifiziert, die im Hinblick auf die Zielstellung des Vorhabens radiologisch relevant sein könnten. Diese sind die im Folgenden genannten:

- Abwässer aus der Flüssig-Flüssig-Extraktion und Stäube aus dem Hochtemperaturprozess bei der fraktionierten Destillation bei der Verarbeitung von Niob- und Tantalerz
- Abwässer aus dem nass-chemischen Verfahren bei der Herstellung von Phosphatdüngemitteln
- Staub aus dem Brennprozess bei der Zementherstellung
- Staub aus dem Verbrennungsprozess und Abwässer aus der Rauchgasreinigung und der Behandlung von Nassaschen in Kohlekraftwerken
- Staub aus der Sinterung und Verhüttung bei der Primärproduktion von Eisen
- Staub aus der Verhüttung von Erzkonzentraten in Bleischmelzen
- Radon aus der Bewetterung untertägiger Grubenbaue, aus der Brechung/Mahlung von Erz, aus dem Grubenwasser und aus Abraumhalden sowie Aufbereitungsrückständen (Tailings) bei der Förderung von anderen Erzen als Uranerz.

Sie werden in AP 3 hinsichtlich einer realistischen Dosisabschätzung betrachtet.

Im Ergebnis der im AP 2 durchgeführten Literaturrecherche wurden die Ableitungen weiterer möglicherweise radiologisch relevanter Industrien betrachtet. Bei diesen Industrien handelt es sich um:

- Forschungsinstitute, Labors
- optische Industrie, Glasindustrie, Herstellung von Porzellanzähnen
- Herstellung von Schleifmitteln, keramische Industrie, Feuerfestindustrie
- Herstellung und Verwendung von thorierten Schweißelektroden
- Aluminiumherstellung/Bauxitverarbeitung
- Schrottverwertung und Entsorgung von Rückständen, die bei der Schrottverwertung anfallen
- Gießereien
- Radonbäder und Heilstollen
- Braunkohlebergbau, Steinkohlebergbau
- Kalibergwerke.

Die Recherchen haben gezeigt, dass lediglich die Einleitung von Grubenwässern des Steinkohlebergbaus im Kontext der Aufgabenstellung des Vorhabens relevant sein könnte. Sie wird in AP 3 hinsichtlich einer realistischen Dosisabschätzung betrachtet.

6. GEPLANTE WEITERARBEIT

AP 3 wird abgeschlossen und der Endbericht erstellt.

Thema

Ermittlung und Quantifizierung der durch die Umsetzung der Euratom-Direktive von Pflichten betroffenen Arbeitsplätze

Subject

Identification and quantification of work places affected by the implementation of the Euratom Directive

Kennzeichen	**Beginn**	**Ende**	**Fördermittel**
3616S12340	01.06.2016	28.02.2017	EUR 64.619,-

Forschungs- / Auftragnehmer
Sachverständigenbüro Dr. J. Kemski

Projektleitung	**Fachbetreuung BfS**	**verantwortlich für den Text**
Dr. J. Kemski	Dr. B. Hoffmann / SW 1.1	Dr. J. Kemski

1. ZIELSETZUNG

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

Für Planungszwecke (z. B.: Abschätzung eines ggf. notwendigen Messaufwandes) wäre nicht nur die Kenntnis der reinen Anzahl derartiger Arbeitsplätze hilfreich, sondern auch deren räumliche Verteilung (Bezug beispielsweise auf Verwaltungseinheiten).

Da zurzeit in Deutschland nur für bestimmte Arbeitsfelder die Radonexposition der Beschäftigten ermittelt werden muss (s. Strahlenschutzverordnung, § 95 bzw. Anlage XI), liegen derartige Informationen nicht flächendeckend vor.

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

2. EINZELZIELSETZUNG

Im Vorhaben sollen drei Fragestellungen bearbeitet werden:

- Wie stellt sich der aktuelle Wissens- und Kenntnisstand zu diesem Thema dar?
  Eine Literaturrecherche soll ggf. durch eine zielgerichtete Nachfrage bei europäischen Radonexperten um möglicherweise fehlende Aspekte ergänzt und anschließend fachlich geprüft werden. Unterscheidungskriterien verschiedener Messreihen sind beispielsweise Messdauer, Messverfahren, Unterteilung Arbeitszeit/Nicht-Arbeitszeit oder gemessene Räumlichkeiten.
- Welche Aussagen (quantitativ/qualitativ) können zur Zahl und Verteilung von Arbeitsplätzen in Deutschland getroffen werden?
  Auf Grund der unterschiedlichen Art von Arbeitsverhältnissen (z. B.: Arbeiter/Angestellte, Beamte) und der Tatsache, dass ganze Personengruppen durch diese Unterteilung nicht erfasst werden (z. B.: Freiberufler, Gewerbetreibende), wird die Beschaffung solcher Daten aus unterschiedlichen Quellen (z. B.: Statistische Ämter, Berufsverbände) erfolgen müssen. Die Quellen müssen zunächst identifiziert und separat abgefragt werden. Anschließend sind Qualität und Vergleichbarkeit der Daten zu prüfen. Für die kartographische Weiterverarbeitung in einem Geoinformationssystem ist ein einheitlicher Raumbezug zu definieren (z. B.: geographische Koordinaten, Gemeindekennziffer).
- Existieren „besondere“ Arbeitsplätze, an denen unabhängig von einer Zuordnung in ein „Radongebiet“ erhöhte Radonkonzentrationen erwartet werden können?
  Unabhängig von einer räumlichen Komponente zur Festlegung von Radongebieten (und damit betroffener Arbeitsplätze) können potenziell erhöhte Radonbelastungen auch an anderen Arbeitsplätzen auftre-

ten, beispielsweise mit spezifischen Randbedingungen wie geringe Luftwechselrate, Bausituation oder spezielle Produktionsschritte. Wenn möglich, sollen solche Bedingungen benannt und die möglichen Ursachen für erhöhte Radonkonzentrationen begründet werden.

3. METHODIK

Die Informationen zum aktuellen Kenntnisstand sollen mittels Literaturrecherche und gezielter Nachfragen bei entsprechenden Stellen erfolgen. Hierbei sollen gleichzeitig auch Informationen zu den „besonderen“ Arbeitsplätzen gesammelt werden. Für die Erhebung der Arbeitsplätze in Deutschland sollen öffentlich zugängliche Informationsportale in Frage kommender Behörden (z. B.: Statistische Ämter, Bundesagentur für Arbeit) bzw. Berufsverbände und ähnlicher Institutionen genutzt werden.

4. DURCHFÜHRUNG

Die Literaturrecherche und die gezielte Nachfrage bei europäischen Radonexperten sind weitgehend abgeschlossen und müssen nur noch in Teilen ergänzt und aktualisiert werden. Die erste Datenbeschaffung hat gezeigt, dass vor der Auswertung eine gezielte und z. T. unerhebliche Nachbearbeitung und Vereinheitlichung notwendig ist, um die Vergleichbarkeit zu gewährleisten und eine konsistente Darstellung zu ermöglichen (z. B.: Gebietsbezug, Stichtag).

Als Raumbezug wird die Verwendung der Gemeindekennziffer empfohlen.

Deutschlandweite gemeindebezogene Daten zum Personalstand des öffentlichen Dienstes sind nicht frei zugänglich, können aber kostenpflichtig über das Statistische Landesamt NRW erworben werden. Eine entsprechende Anfrage wurde beim Fachbetreuer des BfS gestellt.

5. ERGEBNISSE

Die Resultate der Literaturrecherche wurden in einem Sachstandsbericht zusammengestellt, der dem BfS auf einem Projektgespräch vorgestellt wurde. Gleiches gilt für die ersten Daten, die für Deutschland beschafft wurden. Probleme bei der Datenbeschaffung und insbesondere bei der Qualitätskontrolle für bestimmte Personengruppen (besonders Selbständige i.w.S.) wurden diskutiert.

6. GEPLANTE WEITERARBEIT

Die letzten Ergebnisse der gezielten Nachfragen zum aktuellen Kenntnisstand sollen in den Sachstandsbericht integriert werden. Die Datenbeschaffung für Deutschland soll abgeschlossen werden. Anschließend sind die Daten in eine einheitliche Form zu überführen, die u. a. auch eine weitere Nutzung in einem GIS[1)] erlaubt. Potenziell „besondere“ Arbeitsplätze hinsichtlich erhöhter Radonexpositionen sollen aufgelistet und beschrieben werden.

[1)] Geoinformationssystem

Themenbereich 02
Strahlenschutztechnik

Subject area 02
Radiation protection techniques

Thema

Schaffung einer operationellen Infrastruktur zur Analyse von Spektren aus Halbleiterdetektoren mit mittlerer Energieauflösung

Subject

Supply of an operational infrastructure for analysis of spectrum obtained with semiconductor detector of intermediate resolution

Kennzeichen	**Beginn**	**Ende**	**Fördermittel**
3615S22530	01.08.2015	31.07.2017	EUR 194.979,-

Forschungs- / Auftragnehmer
Envinet GmbH (Deutschland)

Projektleitung	**Fachbetreuung BfS**	**verantwortlich für den Text**
Dr. Sascha Reinhardt	Dr. Ulrich Stöhlker / SW 2.4	Dr. S. Reinhardt

1. ZIELSETZUNG

Aktuell führt das BfS spektroskopische Sonden ein, die zusätzlich zur Messung der Ortsdosisleistung (ODL) nuklidspezifische Information liefern. Verfügbar sind bereits Systeme auf $LaBr_3$ (CE)- bzw. auf CdZnTe (CZT)-Basis mit Energieauflösungen von ca. 2,5 bzw. 1,5 %. Ziel ist der Aufbau dieser Systeme insbesondere in der Nähe kerntechnischer Anlagen. Damit wird erreicht, dass in der Frühphase eines Unfallablaufs die relevanten Messinformationen zum freigesetzten Nuklidgemisch zeitnah bestimmt werden können. Damit wird sichergestellt, dass die Beiträge dominanter Radionuklide zur Exposition bereits während der Wolkendurchzugsphase zuverlässig abgeschätzt werden können und die Verfügbarkeit der wesentlichen Information zur optimierten Lagedarstellung und zum frühzeitigen Ergreifen von relevanten Maßnahmen gegeben ist.

2. EINZELZIELSETZUNG

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

3. METHODIK

Neben den in den einzelnen AP 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 BESTIMMUNG DER UMGEBUNGSÄQUIVALENTDOSISLEISTUNG IN EINHEITEN VON H*(10) AUS DEM GESAMTSPEKTRUM (AP 3)

Das Stripping-Verfahren zur Berechnung der Dosisleistung wurde von (Miller[3)], 1984) eingeführt. In (Camp & Vargas[1)], 2014) ist die Methodik für die Umgebungsäquivalentdosisleistung dargestellt. Die Implementierung des Programms und der Algorithmus orientieren sich an der letzt genannten Publikation.

3.2 BESTIMMUNG VON ABSOLUTWERTEN DER NUKLIDSPEZIFISCHEN AKTIVITÄTS- BZW. UMGEBUNGSÄQUIVALENTDOSISLEISTUNGSBEITRÄGE (AP 1)

Die Methode zur Bestimmung der nuklidspezifischen Aktivität wird über die nuklidspezifische Dosisleistung mittels entsprechender Konversionsfaktoren (Lemercier, Gurriaran, Bouisset, & Cagnat[2)], 2008) bestimmt. Jedes Referenzspektrum, das für die FSA Analyse verwendet wird, wird zuerst mittels der Stripping-Methode aus AP 3 die Dosisleistung und daraus, mittels den Konversionsfaktoren, die Bodenaktivität bestimmt.

4. DURCHFÜHRUNG

4.1 BESTIMMUNG DER UMGEBUNGSÄQUIVALENTDOSISLEISTUNG IN EINHEITEN VON H*(10) AUS DEM GESAMTSPEKTRUM (AP 3)

Die Grundlage der Implementierung ist die Beschreibung des Stripping-Algorithmus in (Camp & Vargas, 2014[1)]). Ein eigenes in C geschriebenes Programm berechnet aus einem Eingangsspektrum die Gesamtdosisleistung in Einheiten von H*(10). Neben dem Gammaspektrum müssen dem Programm auch die Stripping-Matrix, die Konversionsfaktoren und die Massenabsorptionskoeffizienten für Luft zur Berechnung übergeben werden. Die Konversionsfaktoren und Massenabsorptionskoeffizienten sind tabellierte Werte aus der Literatur. Die Stripping Matrix ist die Detektorresponse für den interessierenden Energiebereich und muss für jeden Detektortyp erstellt werden. Die Stripping-Matrix wird mittels Monte-Carlo-Simulation generiert werden. Die Schrittweite für die Simulation ist typischerweise 10 keV. Die Monte-Carlo-Simulation erfolgt mittels Geant4. Im Gegensatz zur FSA-Methode ist es nicht notwendig die simulierten Spektren mit der Detektorauflösung zu falten.[2)]

Das Ergebnis der Dosisleistungsbestimmung wird in der Ausgabedatei gespeichert.

Mit der Software wurde für einen NaI(Tl)-, CZT- und HPGe-Detektor die Dosisleistung für verschiedene Spektren bestimmt. Die Spektren waren gemessene Spektren von verschiedenen Nukliden über den gesamten Energiebereich von 30 keV bis 3 MeV. Außerdem wurden Pile-Up-Effekte auf die Bestimmung der Dosisleistung untersucht.[3)]

Die Implementierung des N42-Formats für Ein- und Ausgabe erfolgt nach ANSI N42.42-2006 und ANSI N42.42-2012. Für das XML-Format N42 wird die Libxml2-Bibliothek (http://www.xmlsoft.org/) verwendet, die die MIT[4)]-Lizenz verwendet und GPL[5)] kompatibel ist.

4.2 BESTIMMUNG VON ABSOLUTWERTEN DER NUKLIDSPEZIFISCHEN AKTIVITÄTS- BZW. UMGEBUNGSÄQUIVALENTDOSISLEISTUNGSBEITRÄGE (AP 1)

Die Umgebungsäquivalentdosisleistung wird mittels der Methode aus AP 3 bestimmt. Hierfür wird jedes Spektrum (Mess- wie Referenzspektrum) mittels des Strippingverfahrens ausgewertet und entsprechend der Gewichtsfaktoren aus der FSA-Analyse bewertet.

Wenn das Referenzspektrum einem Nuklid zugeordnet ist, wird die bestimmte Dosisleistung verwendet für die Bestimmung der Bodenaktivität mittels entsprechender Konversionsfaktoren.

Die Ergebnisse der Analyse werden im Ausgabespektrum mit ANSI N42.42 abgespeichert.

Die Methode wurde an gemessenen Spektren aus der Region Tschernobyl getestet, die mit einem CZT-Detektor erfasst wurden.

---

1) Camp, A., & Vargas, A. (2014). AMBIENT DOSE ESTIMATION H*(10) FROM LaBr3(Ce) SPECTRA. Radiation Protection Dosimetry, 160(4), S. 264-268.
2) Lemercier, M., Gurriaran, R., Bouisset, P., & Cagnat, X. (2008). Specific activity to H*(10) conversion coefficients for in-situ gamma spectroemtry. Radiation Protection Dosimetry, 128, S. 83-89.
3) Miller, K. M. (July 1984). A SPECTRAL STRIPPING METHOD FOR A GE SPECTROMETER USED FOR INDOOR GAMMA EXPOSURE RATE MEASUREMENTS. New York: U. S. Department of Energy Environmental Measurements Laboratory.
4) Massachusetts Institute of Technology
5) General Public License

5. ERGEBNISSE

5.1 BESTIMMUNG DER UMGEBUNGSÄQUIVALENTDOSISLEISTUNG IN EINHEITEN VON H*(10) AUS DEM GESAMTSPEKTRUM (AP 3)

In AP 3 wurde ein Softwarepaket erstellt, das in der Sprache C verfasst ist und die GPL-Lizenz verwendet. Der Inhalt dieser Software ist die Dosisleistungsbestimmung von einem Gammaspektrum. Das Programm kann Spektren im Format N42.42-2006 und N42.42-2012 lesen und schreiben.

5.2 BESTIMMUNG VON ABSOLUTWERTEN DER NUKLIDSPEZIFISCHEN AKTIVITÄTS- BZW. UMGEBUNGSÄQUIVALENTDOSISLEISTUNGSBEITRÄGE (AP 1)

Das Ergebnis ist eine Erweiterung der bestehenden FSA-Software für die quantitative Analyse für Aktivität- und Dosisleistungsbestimmung.

6. GEPLANTE WEITERARBEIT

Geplant ist AP 5 mit den definierten Änderungen und einem Zwischenbericht abzuschließen und mit AP 6 fortzufahren. Für AP 6 sind als erste Schritte eine genaue Funktionsdefinition festzulegen und die Erstellung eines Layouts für die grafische Benutzeroberfläche durchzuführen.

Themenbereich 03
Strahlenbiologie - Wirkung von ionisierender und nichtionisierender Strahlung, Strahlenempfindlichkeit

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

Thema

Genomweite Analyse genetisch bedingter Strahlenempfindlichkeit in Wismut Bergarbeitern: Datenauswertung und Bewertung der Assoziationsanalysen

Subject

Genome wide analysis of radiation sensitivity in former uranium miners of SDAG Wismut - Data analysis and assessment of the association analyses

Kennzeichen	**Beginn**	**Ende**	**Fördermittel**
3615S32253	01.03.2016	28.02.2017	EUR 134.604,-

Forschungs- / Auftragnehmer
Universitätsmedizin Göttingen, Institut für Genetische Epidemiologie

Projektleitung	**Fachbetreuung BfS**	**verantwortlich für den Text**
Prof. Dr. H. Bickeböller	Dr. M. Gomolka / AG-SG 1.4	A. Rosenberger

1. ZIELSETZUNG

Ziel des Vorhabens ist abzuklären, welche genetischen Varianten im Zusammenhang mit Strahlung zu einem erhöhten Lungenkrebsrisiko beitragen.

Die im Rahmen der Vorgängerprojekte 3614S10013 „Genomweite Analyse genetisch bedingter Strahlenempfindlichkeit in Wismut Bergarbeitern“ und 3614S10014 „Genomweite Analyse genetisch bedingter Strahlenempfindlichkeit in Wismut Bergarbeitern - Qualitätssicherung der Typisierungsergebnisse“ gewonnenen genomischen Daten sowie der Daten der LUCY (Lung Cancer in the Young)-Study, der German Lung Cancer Study (GLC) sowie anderer Lungenkrebsstudien (soweit diese von ILCCO/TRICL [International Lung Cancer Consortium/Transdisciplinary Research in Lung Cancer] zur Verfügung gestellt werden) bilden zusammen mit den Expositions-, medizinischen und epidemiologischen Daten die Grundlage für eine genomweite Assoziationsuntersuchung (GWA) der Interaktion zwischen genomischen Markern und einer Strahlenexposition hinsichtlich des Lungenkrebsrisikos. Phäno- und genotypische Daten von 27 599 Teilnehmern der WISMUT-Studie, der German Lung Cancer Study (GLC) sowie anderer Lungenkrebsstudien des internationalen OncoArray-Lungenkrebs-Konsortiums stehen hierfür zur Verfügung.

2. EINZELZIELSETZUNG

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

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

3. METHODIK

Im Rahmen des AP 1 „Entwicklung eines geeigneten Models zur Untersuchung von Gen x Umwelt (Gene x Strahlung) Interaktionen“wurde die Fachliteratur nach neuen methodischen Ansätzen zur Analyse von Gen x Umwelt (GxE - gene x environment) Interaktionen gesichtet. Unterschieden wird dabei zwischen

- Fallserien unter der Annahme der GxE-Unabhängigkeit in Kontrollen
- dem Fall-Kontroll-Design
- Hybrid-Versionen [Mukherjee et al., Am J Epidemiol 2012;175(3):177-90]. Bonstraa et al. [American Journal of Epidemiology 2016;183(3):237-47] untersuchten den Typ-I-Fehler und die Power von GxE-Strategien, wenn mit Missklassifikation der Exposition zu rechnen ist (Anmerkung: Die Strahlenexposition wurde als Working Level Months (WLM) nur für die Wismut-Bergarbeiter erfasst, für alle anderen Testpersonen muss ein WLM=0 angenommen werden).

Das 2-stufige Hybrid-Verfahren H2 von Murcray et al. [Genetic epidemiology 2011;35(3):201-10.] besteht aus einem Screening auf marginale GxE- bzw. GxD (gene x disease)-Effekte auf einem großzügigen Signifikanzniveau (1. Schritt), gefolgt von einer GxE-Modellierung aller „überlebender“ Marker (2. Schritt) und wird als leistungsstarke und robuste Methode unter beinahe allen denkbaren, genetischen Modellen bezeichnet. Die Größe der gemeinsamen Stichprobe des OncoArray-Konsortiums ist vor allem für die Schätzung des GxD-Effektes ein entscheidender Vorteil, da hierfür alle Fälle und Kontrollen informativ sind. Im 2. Schritt kann, wie vorgesehen, der von Kraft et al. [Human heredity 2007;63(2):111-9] vorgeschlagene kombinierte Test auf genetischen Haupteffekt G und Gen-Umwelt-Interaktion GxE für Fall-Kontroll-Studien verwenden werden.

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

$$\ln(\mathrm{Odd}_D) = \ln\left(\frac{p_D}{1-p_D}\right) = \beta_o + \boldsymbol{\beta}_{1i} PC_i + \beta_{PS} PS + \beta_G G + \beta_E E + \beta_{G\times E}(G \cdot E)$$

D: Erkrankungsstatus (D=1: Lungenkrebs-Patienten; D=0: Kontrollen)

G: Anzahl des selteneren Allels des Markers m

E: Strahlenexposition (0: nicht-exponiert bei WLM < 50, 1: exponiert bei WLM > 50)

PS: Propensity-Score (vereinigte nicht-genetische Risikofaktoren des Lungenkrebses)

PC: vier Eigenvektoren der PCA[1)] zum Adjustieren für Populationsstratifikation

Mit diesem Modell werden nur Marker mit einer Allelhäufigkeit des selteneren Allels (minor allele frequency, MAF) unter Kontrollen von > 1 % analysiert. Bei einer geringeren MAF ist die Wahrscheinlichkeit (Power) eine Assoziation aufzudecken gering. Dafür ist die Wahrscheinlichkeit hoch, in der kleinen Gruppe der exponierten Fälle kein seltenes Allel zu beobachten und damit den zentralen Modellparameter $\beta_{G\times E}$ nicht schätzen zu können. Vor der Applikation des Modells wurde in einer Hauptkomponentenanalyse (PCA: principal component analyse) Eigenvektoren abgeleitet, die zum Adjustieren von genetischen Substrukturen innerhalb der untersuchten Stichprobe dienen.

Das Analysemodell zur Schätzung der GxE- Interaktion kann durch gemeinsames Schätzen aller Marker eines LD[2)]-Blocks zu einen analogen Analysemodell für Multi-Marker-Interaktion erweitert werden:

$$\ln(\mathrm{Odd}_D) = \ln\left(\frac{p_D}{1-p_D}\right) = \beta_o + \boldsymbol{\beta}_{1i} PC_i + \beta_{PS} PS + \boldsymbol{\beta}_{\boldsymbol{G}} \boldsymbol{G} + \beta_E E + \boldsymbol{\beta}_{\boldsymbol{G}\times E}(\boldsymbol{G} \cdot E)$$

D: Erkrankungsstatus (D=1: LK-Patienten; D=0: Kontrollen)

G: Matrix der Anzahl seltenerer Allele aller Marker eines LD-Blocks

E: Strahlenexposition (0: nicht-exponiert bei WLM < 50, 1: exponiert bei WLM > 50)

PS: Propensity-Score (vereinigte nicht-genetische Risikofaktoren des Lungenkrebses)

PC: vier Eigenvektoren der PCA zum Adjustieren für Populationsstratifikation

1) principle component analyse
2) linkage disequilibrium

Mit diesem Modell werden nur Marker mit einer Allelhäufigkeit unter Kontrollen mit einer MAF > 1 % analysiert, da die Wahrscheinlichkeit hoch ist, in der kleinen Gruppe der exponierten Fälle kein seltenes Allel zu beobachten und damit den zentralen Modellparameter $\beta_{G\times E}$ nicht schätzen zu können. Ebenso wird die Gefahr der deterministischen Abhängigkeit von einem Marker zu anderen Markern im gleichen LD-Block minimiert, durch die eine Schätzung des Modells nicht mehr möglich wäre.

4. DURCHFÜHRUNG

Die Genomweite Assoziationsanalyse zum Lungenkrebsrisiko in Abhängigkeit der Strahlenexposition unter Einbeziehung der Daten aus verschiedenen nationalen (Wismut, LUCY, KORA) und internationalen Kollektiven (z. B. ILCCO, TRICL, GAME-ON) (AP 2) gliedert sich in vier Teile.

4.1 ZUSAMMENFÜHREN UND HARMONISIEREN PHÄNOTYPISCHER DATEN (AP 2.1)

Die Phänotyp-Daten der Wismut-Studie (Fälle und Kontrollen), der Heidelberg-Lungenkrebsstudie, der LUCY-Studie und der KORA-Kontrollen (German Lung Cancer Study GLC) wurden aus den beteiligenden Studien zusammengestellt. Durch Rückfragen an das BfS bzw. in Kooperation mit der HGMU (Helmholtz Zentrum München, Deutsches Forschungszentrum für Gesundheit und Umwelt) konnten fehlende Daten identifiziert und nachgeliefert werden.

Die Phänotyp-Daten des OncoArray-Lungenkrebs-Konsortiums (ILCCO/TRICL) sind nur über den Discovery-Cluster der University of Dartmouth verfügbar. Alle verfügbaren Phänotyp-Daten wurden auf Konsistenz und Vollständigkeit geprüft. Einige Inkonsistenzen in den Angaben zum Rauchverhalten wurden entdeckt und an das Konsortium gemeldet. Ein bereinigter Phänotyp-Datensatz steht seither zur Verfügung.

4.2 ZUSAMMENFÜHREN UND HARMONISIEREN GENOMISCHER DATEN (AP 2.2)

Die Genotypen von 186 Lungenkrebsfällen der Heidelberg-Lungenkrebsstudie, von 295 Lungenkrebsfällen der LUCY-Studie sowie von 478 krebsfreien Kontrollen der KORA-Studie (alle Teil der GLC, eine der Studien in ILCCO/TRICL) wurden März 2008 mit dem Illumina Human550K SNP-Array gewonnen. Die Wahrscheinlichkeit nicht typisierter Genotypen wurde anhand der 1000 Genomes Project Daten (> 10 Millionen SNPs) als Referenzgenom geschätzt. Der jeweils wahrscheinlichste Genotyp pro Person und OncoArray-Marker (sofern nicht typisiert) wurde für weitere Analysen extrahiert. Diese wurden zu den OncoArray-Genotypen der Wismut-Bergarbeiter, der der GLC und der des OncoArray-Lungenkrebs-Konsortiums (beschränkt auf die Ethnizität „white“) hinzugefügt.

Da genetische Stratifikation in der untersuchten Stichprobe zu falsch signifikanten Assoziationen (spurious GxE) führen kann, wurde die Stichprobe mit dem Clusteralgorithmus des Programms ADMIXTURE auf genetische Substrukturen untersucht. Für die Klassifikation in die genomischen Ethnizitäten Kaukasier, Asiaten und Afrikaner wurden 178 zur Identifikation der Ethnizität geeignete Marker der Fachliteratur entnommen [Kosoy et al., Human mutation 2009;30(1):69-78; Setsirichok et al., Int J Data Min Bioinform 2012;6(6): 651-74]).

4.3 ENTWICKLUNG EINES GEEIGNETEN MODELS (FORTSETZUNG AP 1)

Um für vorhandene Populationsstratifikationen in der Schätzung der GxE-Interaktionen hinreichend adjustieren zu können, wurden alle PCs (Hauptkomponenten) aus den Genotyp-Daten mit den Programmen SMARTPCA und EIGENSTRAT geschätzt. Die Schätzung wurde zur internen Kontrolle an 2 separaten, zufällig ausgewählten Markersätzen durchgeführt. Nähere Untersuchungen ergaben, dass das Analysemodel mit (nur) 4 PCs ausreichend adjustiert werden kann (und muss, da die 5te PC mit dem Erkrankungsstatus signifikant korreliert).

4.4 DURCHFÜHREN DER GWAs (AP 2.3)

Die Modellschätzung je Marker wurde bereits abgeschlossen. Die Modellschätzungen je LD-Block erwiesen sich als methodisch komplizierter und zeitaufwändiger als geplant. Eine Reihe von Maßnahmen zur zuverlässigen Modellbildung mussten getroffen werden, um für jeden der 103 983 LD-Blöcke valide Schätz- und Testergebnisse zu erhalten. Die Auswertungen sind noch nicht vollständig abgeschlossen.

5. ERGEBNISSE

Ergebnisse liegen zu AP 2 „Genomweite Assoziationsanalyse zum Lungenkrebsrisiko in Abhängigkeit der Strahlenexposition unter Einbeziehung der Daten aus verschiedenen nationalen (Wismut, LUCY, KORA) und internationalen Kollektiven (z. B. ILCCO, TRICL, GAME-ON)“ vor.

5.1 ZUSAMMENFÜHREN UND HARMONISIEREN PHÄNOTYPISCHER DATEN (AP 2.1)

Von den insgesamt 27 599 genotypisierten Personen liegen vollständige Angaben zu Alter bei Diagnose bzw. Interview, Geschlecht, der Strahlenexposition (WLM konnte geschätzt werden oder wurde mit WLM = 0 angenommen) und dem Rauchstatus vor. Von 6 gesunden WISMUT-Bergarbeiten liegen keine Phänotyp-Daten (auch nicht WLM) vor. Von einem Studienteilnehmer waren die Angaben zum Rauchstatus inkonsistent. Weitere Angaben zum Rauchen (z. B. Packungsjahre) sind nicht vollständig und können daher in der Datenauswertung nicht verwendet werden.

5.2 ZUSAMMENFÜHREN UND HARMONISIEREN GENOMISCHER DATEN (AP 2.2)

Nach Überprüfung der Daten mit der beschriebenen Vorgehensweise kann die gesamte Stichprobe für dieses Projektvorhaben (Wismut-Bergarbeiter, GLC und „white“-OncoArray-Konsortium) als „kaukasisch“ angesehen werden. Genomische Heterogenität zwischen den Studien kann jedoch in einem begrenzten Maß nicht ausgeschlossen werden. Das WISMUT-Sample zeigt keine besonderen Auffälligkeiten gegenüber den Stichproben der anderen Studien.

5.3 ENTWICKLUNG EINES GEEIGNETEN MODELS (FORTSETZUNG AP 1)

Es konnten unter allen Kontrollen (nicht an Lungenkrebs erkrankte Studienteilnehmer) 103 983 LD-Blöcke gemeinsam vererbter Marker (67 161 Blöcke und 36 822 Einzelmarker) durch die in PLINK[1)] implementierte Routine und durch Zusammenfassen von in LD zueinander stehenden Markern ($r^2 \geq 0{,}025$) identifiziert werden. Diese LD-Blöcke sind im Mittel nur 20 kb lang und umfassen durchschnittlich 4,4 Marker. 5 % dieser Blöcke umfassen mehr als 13 Marker.

Es wurde für jeden Studienteilnehmer der Propensity-Score aller Störgrößen (Alter, Geschlecht, Rauchstatus) adjustiert für Populationsstratifikation (PCs) und Strahlenexposition geschätzt, um die Verteilung der Hintergrund-Fallwahrscheinlichkeit von Fällen und Kontrollen zu prüfen. Es mussten keine Studienteilnehmer wegen extrem hoher bzw. niedriger Hintergrund-Fallwahrscheinlichkeit ausgeschlossen werden. Die Verteilung des Propensity-Scores unterschied sich jedoch zwischen Fällen und Kontrollen (WISMUT-Bergarbeiter fielen aber nicht gesondert auf). Es zeigt sich, dass das Analysemodel durch Adjustieren anhand des Propensity-Score gegenüber dem Adjustieren anhand der einzelnen Störgrößen ohne verzerrenden Einfluss auf die Parameterschätzung vereinfacht und somit für jeden Marker/LD-Block harmonisiert werden kann.

5.4 DURCHFÜHREN DER GWA**s** (AP 2.3)

Es konnten sieben genomische Regionen mit suggestiver oder genomweiter signifikanter Interaktion identifiziert werden.

6. GEPLANTE WEITERARBEIT

Die Durchführung von AP 3 (Identifizierung krankheitsrelevanter genomischer Regionen, „gene-sets“ und/ oder „pathways“ hinsichtlich des strahleninduzierten Lungenkrebs. Auswahl geeigneter SNPs, die in einem weiteren Bergarbeiterkollektiv (Lungenkrebsfälle/Gesunde exponierte Kontrollen) validiert werden) steht noch aus. Vorbereitende Tätigkeiten zur gemeinsamen Analyse von ausgewählten Markern, sogenannten Gene-Sets, wurden getroffen.

[1)] a free, open-source whole genome association analysis toolset

Thema

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

Subject

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

Kennzeichen	**Beginn**	**Ende**	**Fördermittel**
3615S32454	15.11.2015	14.11.2017	EUR 273.208,-

Forschungs- / Auftragnehmer
Helmholtz Zentrum München, Abteilung für Strahlenzytogenetik, Neuherberg

Projektleitung	**Fachbetreuung BfS**	**verantwortlich für den Text**
Prof. Dr. H. Zitzelsberger	U. Oestreicher / AG-SG 1.2	Prof. Dr. H. Zitzelsberger

1. ZIELSETZUNG

Das Ziel des Forschungsvorhabens (FV) besteht darin, strahleninduzierte Brustkrebsfälle anhand spezifisch veränderter Gen- oder Expressionsmuster in Tumor- und Normalgewebe erkennen zu können und dies an geeigneten Personenkollektiven zu validieren. Darüber hinaus soll anhand mechanistischer Untersuchungen die Rolle dieser Biomarker in der Strahlenkarzinogenese untersucht werden.

Es wurden bereits in vorausgegangenen FV Gewebeproben von Brustkrebspatientinnen untersucht, die als Aufräumarbeiterinnen (Liquidatorinnen) in Tschernobyl gearbeitet hatten sowie von angeglichenen Kontrollkollektiven aus unbelasteten Gebieten der Ukraine.

2. EINZELZIELSETZUNG

Während des Berichtzeitraums wurden folgende Einzelziele verfolgt:

2.1 ETABLIERUNG EINES NEUEN PATIENTENKOLLEKTIVS (MAYAK-KOHORTE)

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

2.2 ERWEITERUNG DES BESTEHENDEN BRUSTKREBSKOLLEKTIVS (TSCHERNOBYL-KOHORTE)

Das ukrainische Patientenkollektiv (Liquidatorinnen des Tschernobyl Unfalls) soll erweitert werden. Hierzu sollen Patientinnen älter als 60 Jahre bei Operation (OP) (n=50) einbezogen werden.

2.3 DOSISREKONSTRUKTION

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

2.4 VALIDIERUNG VON STRAHLENMARKERN AUS DER VORLÄUFERSTUDIE

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

[1)] quantitative Real-Time

2.5 IDENTIFIZIERUNG VON MÖGLICHEN TARGETGENEN UND -PROTEINEN DER GEFUNDENEN **mi**RNA-MARKER

Es sollen für die validierten miRNA-Marker deregulierte Targetgene und -proteine identifiziert und untersucht werden.

3. METHODIK

3.1 ZUSAMMENSTELLUNG DER TUMORKOHORTE

Um geeignete Brustkrebspatientinnen der Mayak-Kohorte für diese Studie zu identifizieren, wurde die Gewebe- und Datenbank des Southern Urals Biophysics Institute (SUBI) nach geeigneten Brustkrebsfällen durchsucht.

Des Weiteren wurden zur Erweiterung des bestehenden Tschernobyl-Kollektivs das nationale Krebsregister der Ukraine, das staatliche Tschernobyl-Register in Kiew und die Patientenregister verschiedener Kliniken, in dem die Liquidatoren des Reaktorunfalls erfasst sind, abgeglichen und geeignete Brustkrebsfälle aus dem Zeitraum 1992-2016 (älter als 60 Jahre) für diese Studie identifiziert.

3.2 DOSISREKONSTRUKTION

Es wurde damit begonnen, die individuellen Dosen für die Liquidatorinnen unter Verwendung der RADRUE-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.

Für die Brustkrebsfälle der Mayak-Kohorte wurden Fälle mit verfügbaren Dosisangaben ausgewählt.

3.3 PROBENVORBEREITUNG

Die Tumorproben liegen in Paraffinblöcken vor. Es wurden davon in Kiew und Chelyabinsk Serienschnitte angefertigt, die für die einzelnen Untersuchungen (Array-CGH, FISH, Immunhistochemie, miRNA-Analyse) verwendet werden sollen. Dadurch werden alle Untersuchungen an demselben Tumorbereich durchgeführt.

3.4 ANALYSE VON GENOMISCHEN KOPIENZAHLVERÄNDERUNGEN

Auf Grund zeitlicher Verzögerungen zu Beginn des Projekts konnten noch keine neuen Fälle mit Array-CGH analysiert werden (um methodische Variationen zu vermeiden, wird diese Analyse bei Vorliegen aller Fälle gleichzeitig durchgeführt). Allerdings wurden die bereits aus dem Vorgängerprojekt vorliegenden genomischen Kopienzahldaten (Verlust und Zugewinn von Chromosomenmaterial) vom Untersuchungs- und Validierungskollektiv der ukrainischen Fälle im Hinblick auf eine strahlenspezifische Signatur (Kombination von Kopienzahlveränderungen) neu ausgewertet. Dies war bisher jeweils nur für eine Strahlenassoziation mit einzelnen Kopienzahlveränderungen betrachtet wurde. Für die Erstellung einer Signatur aus Kopienzahlveränderungen mit mathematischen Methoden wurden die bereits vorliegenden Daten von 136 angeglichenen Fällen von exponierten und nicht-exponierten Fällen verwendet. Hierbei handelte es sich ausschließlich um invasive duktale (Brustdrüsen) Karzinome. Diese Fälle wurden zufällig in zwei gleichgroße Kollektive von je 68 Fällen unterteilt, wobei auf paarweise Anpassung der Fälle nach klinischen Kriterien geachtet wurde. Die Signatur wurde in einem der beiden Kollektive bestimmt, das andere Kollektiv diente als Validierungskollektiv.

3.5 MECHANISTISCHE ANALYSEN ZUR FUNKTION VON **mi**RNA-ZIELGENEN

Um die Interaktionspartner von TRPS-1 auf der Transkriptionsebene zu untersuchen, wurde das TRPS1-zentrierte Korrelationsnetzwerk aus den Genexpressionsdaten von angeglichenen sporadischen Brustkrebsfällen des TCGA (The Cancer Genome Atlas)-Brustkrebs-Datensatzes und eines strahlentransformierten in vitro Modells von Brustzellen (B42-16) berechnet.

4. DURCHFÜHRUNG

4.1 ETABLIERUNG EINES BRUSTKREBS-KOLLEKTIVS UND ERHEBUNG KLINISCHER VERLAUFSDATEN

Das Brustkrebs-Kollektiv für die Gruppe der Liquidatorinnen wurde wie unter 3.1 beschrieben zusammengestellt. Es wurden 73 Patientinnen identifiziert und zur Teilnahme an der Studie eingeladen. Bisher haben 16 Patientinnen zugestimmt. Die Paraffinblöcke wurden asserviert und Mikrotom-Schnitte hergestellt. Die klinischen Verlaufsdaten für die Pilotstudie wurden aus den Krankenakten zusammengestellt.

Aus der Mayak-Kohorte wurden bisher 45 Patientinnen identifiziert und die Gewebeproben herausgesucht (Auswahl von Patientinnen und Proben läuft weiter). Gegenwärtig werden die Dokumente für einen Transfer der Proben nach Neuherberg vorbereitet.

4.2 DOSISREKONSTRUKTION

Aus dem Kollektiv der Liquidatorinnen (> 60 Jahre) wurden bisher mit 13 Patientinnen Interviews geführt und davon von 10 Patientinnen die Dosen rekonstruiert.

4.3 UNTERSUCHUNGEN AN PARAFFINSCHNITTEN

Für Array-CGH (genomische Kopienzahl), qRT-PCR (miRNA) und Immunhistochemie (TRPS-1)-Untersuchungen werden die Fälle nach Erhalt gleichzeitig aufgearbeitet, um methodische Variationen zu vermeiden.

4.4 GENOMISCHE KOPIENZAHL-SIGNATUR

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

4.5 MECHANISTISCHE UNTERSUCHUNGEN ZUR FUNKTION VON **mi**RNA-ZIELGENEN

Die ersten 50 mit TRPS-1 korrelierenden Gene der Netzwerke wurden für eine weiterführende Analyse von Signalwegen verwendet.

5. ERGEBNISSE

Im Berichtszeitraum wurden folgende Ergebnisse erzielt:

5.1 GENOMISCHE KOPIENZAHL SIGNATUR

Der Algorithmus führte zu einer Signatur mit 9 verschiedenen Kopienzahlveränderungen. Eine Anwendung des Signaturmodells in der Validierungskohorte ergab einen Klassifizierungsfehler von 36,8 % bei einer Sensitivität von 79,4 % und Spezifität von 47,1 % (Fisher's exakter Test, p = 0,039).

5.2 TRPS-1-KORRELATIONSNETZWERK

Die zwei TRPS-1-Netzwerke für sporadische Tumoren und strahlentransformierte Zellen zeigten das Gen KIAA1109 als gemeinsamen Interaktionspartner. Für die übrigen Gene zeigte das Netzwerk für sporadische Tumoren eine Assoziation mit Signalwegen der Apoptose. Bei den strahlentransformierten Zellen sind Signalwege der DNA Reparatur und der Chromosomensegregation mit TRPS-1 verknüpft.

6. GEPLANTE WEITERARBEIT

Im nächsten Projektabschnitt wird die Rekrutierung der noch ausstehenden Fälle der neu zu etablierenden Brustkrebs-Kollektive abgeschlossen und die Analysen zu genomischen Kopienzahl-, miRNA- und TRPS-1-Veränderungen durchgeführt.

Thema

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

Subject

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

Kennzeichen	**Beginn**	**Ende**	**Fördermittel**
3616S32260	01.06.2016	31.05.2019	EUR 369.353,-

Forschungs- / Auftragnehmer
Helmholtz Zentrum München, Institut für Strahlenbiologie, 85764 Oberschleißheim

Projektleitung	**Fachbetreuung BfS**	**verantwortlich für den Text**
Dr. S. Moertl	Dr. S. Hornhardt / AG-SG 1.2	Dr. S. Moertl

1. ZIELSETZUNG

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

2. EINZELZIELSETZUNG

Das Projekt ist in fünf Arbeitspakete gegliedert:

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

3. METHODIK

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

4. DURCHFÜHRUNG

Zunächst werden durch Gesamtproteomanalysen (label-free, Filter-gestützte Aufarbeitung (FASP)) und RNA Sequenzierung (HiSeq Rapid SBS Kit, Illumina) strahlenregulierte exosomale Komponenten identifiziert. Um eine mögliche Dosis-abhängige Regulation exosomaler Proteine zu untersuchen werden Exosomen nach Bestrahlung mit 0, 0,1, 2 und 6 Gy untersucht.

Nach Abschluss der Screeningphase werden Kandidatenproteine durch alternative Methoden validiert. Für strahlenveränderte membranständige Kandidatenproteine wird zusätzlich deren Oberflächenexpression mittels Durchflusszytometrie quantifiziert. Nach Abschluss der in vitro Analysen werden Kandidaten Proteine und miRNAs mittels Western Blot und qPCR in Plasmaproben von Strahlentherapiepatienten analysiert. Ein positives Ethikvotum für die Experimente an Blutproben von Strahlentherapiepatienten wurde erteilt.

5. ERGEBNISSE

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

Der relevante Stand von Wissenschaft und Technik wurde in einem Bericht zusammengestellt.

5.2 CHARAKTERISIERUNG DES PROTEOMS VON EXOSOMEN (AP 2)

Exosomenisolate für Proteomanalysen wurden aus den Zelllinien MCF10A, HCAE, und 1BR.3 hergestellt und deren sehr gute Qualität wurde mittels Nanosight und Nachweis der Exosomenmarkerproteine CD63, Alix und TSG101 bewiesen. Die Proteomanalyse von Exosomen aus der Fibroblastenlinie 1BR.3 ist abgeschlossen. Es wurden 448 verschiedene Proteine identifiziert, von denen 167 Proteine bei allen drei Dosen dereguliert waren (>1,3 oder <0,7). Zusätzlich wurden Proteine identifiziert, die Dosis-spezifisch verändert waren. Eine erste statistische Auswertung ergab signifikant veränderte Expressionsprofile zwischen Lysaten aus nicht bestrahlten Zellen und allen Lysaten aus bestrahlten Zellen. Interessanterweise zeigen die Expressionsprofile von Exosomen aus mit 2 und 6 Gy bestrahlten Zellen eine hohe Ähnlichkeit, wogegen sich deregulierte Proteine nach 0,1 Gy-Behandlung signifikant von allen anderen Proben unterscheiden.

5.3 BESTIMMUNG VON MICRORNAS AUS EXOSOMEN (AP 4)

RNA-Isolate von Exosomen aus MCF10A und 1BR.3 liegen vor.

6. GEPLANTE WEITERARBEIT

Die deregulierten Proteine werden bioinformatisch analysiert. Das noch fehlende Proteinlysat aus humanen primären Lymphozyten bzw. RNA-Isolate aus humanen primären Lymphozyten und Fibroblastenzellen (1BR3) werden hergestellt und zeitnah analysiert. Außerdem werden exosomale Kandidatenproteine aus den Proteomanalysen (1BR.3) mittels Western Blot validiert und es findet die Auswahl von Proteinen statt, deren Expression auf Exosomenoberflächen (AP 3) gemessen wird.

Themenbereich 04
Medizinische Strahlenexposition / Röntgenverordnung

Subject area 04
Medical radiation exposures / X-ray Ordinance

Thema

Verbesserung der Inhalationsdosimetrie am Arbeitsplatz

Subject

Improvement of the inhalation dosimetry at work places

Kennzeichen	**Beginn**	**Ende**	**Fördermittel**
3614S40015	01.01.2015	30.06.2017	EUR 301.126,-

Forschungs- / Auftragnehmer
Helmholtz Zentrum München

Projektleitung	**Fachbetreuung BfS**	**verantwortlich für den Text**
Dr. J. Tschiersch	Dr. A. Giussani / AG-SG 2.3	Dr. J. Tschiersch

1. ZIELSETZUNG

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

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

2. EINZELZIELSETZUNG

Die Einzelziele des Vorhabens sind daher:

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

3. METHODIK

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

Zur direkten Größenklassifizierung stehen verschiedene Impaktortypen zur Verfügung. In der Umgebungsluft der Arbeitsplätze wird der Niederdruckimpaktor LPI 30 nach Prof. Berner (9-stufig, 0,06 - 16 µm, 1,7 m^3/h), der Andersen Impaktor (6-stufig, 0,49 - 7,2 µm, 70 m^3/h) und der IBP Impaktor (5-stufig, 0,56 - 29 µm, 1,05 m^3/h) zum größenfraktionierten Sammeln eingesetzt. Es wurde zusätzlich ein personengetragener Impaktor vom Typ Marple Serie 298 (8-stufig, 0,52 -21 µm, 2 l/min) beschafft. Die Proben jeder Impaktorstufe werden separat mittels Gamma-Spektrometrie vermessen. Dafür stehen empfindliche Detektoren (u. a. Bohrlochdetektoren) zur Verfügung.

Zusätzlich werden Aerosolfilterproben des Gesamtstaubs (70 bzw. 140 m^3/h) an Arbeitsplätzen gesammelt und retrospektiv aus diesen Filterproben mit einer neu entwickelten Methode die Größenverteilung des radioaktiven Aerosols bestimmt.

Die Löslichkeit des radioaktiven Aerosols wird anhand der Aerosolfilterproben gemessen. Bei höheren Aktivitäten können auch die Impaktorproben genutzt werden. Die Proben werden eine definierte Periode in simulierter Lungenflüssigkeit getaucht und das Eluat wird anschließend gamma-spektrometrisch vermessen.

Die individuellen Inhalationsdosiskoeffizenten werden entsprechend der Messwerte von Löslichkeit und Größenverteilung nach dem Verfahren des ICRP-Atemtraktmodells berechnet. Dafür stehen die Standard-Software IMBA und ein selbst entwickelter Code zur Verfügung.

4. DURCHFÜHRUNG

Das Vorhaben wurde entsprechend dem Arbeitsprogramm und Zeitplan gestartet. Es werden die vorab definierten Arbeitspakete (AP) abgearbeitet.

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

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

4.2 AMAD[1)]-MESSUNGEN UND FILTERPROBENSAMMLUNG (AP 2)

Im Berichtszeitraum wurden an folgenden Arbeitsplätzen Aerosolproben genommen, die potentiell mit Radionukliden exponiert sein können:

- Bauarbeiten in kontaminiertem Gebiet (Bau des neuen Tschernobyl Reaktor-schutzgebäudes)
- Dekontaminationsarbeiten im wieder zu besiedelndem Gebiet von Fukushima.

Als Probennahmemethoden wurden folgende Verfahren eingesetzt:

- Sammeln von Gesamtstaub auf Filter (bulk sample)
- Sammeln von größenfraktionierten Aerosolproben mittels Impaktor.

Ferner wurden Vorbereitungen getroffen, einen Arbeitsplatz zum Wolfram-Inertgas-Schweißen mit Thoriumoxid dotierten Schweißelektroden zu vermessen und Proben von einem Arbeitsplatz in der Brennelementeherstellung zu erhalten. Das AP wird mit weiteren Probennahmen fortgesetzt.

4.3 AUSWERTUNG DER FILTERPROBEN (AP 3)

Die Auswertung der Filterproben des Kooperationspartners PE „Institute of Radioecology“, Kiew, von den Bauarbeiten des neuen Tschernobyl Shelters ist abgeschlossen. Vergleichsmessungen zur Löslichkeit und Größenverteilung des Aerosols werden durchgeführt. Die Messung der Filter von zwei Messkampagnen bei Dekontaminationsarbeiten in der Nähe des Fukushima Unfallreaktors ist abgeschlossen; die Messung der Impaktorproben in einem Bohrlochdetektor läuft noch. Weitere Messungen zur retrospektiven Ermittlung der Größenverteilung aus Filterproben dauern noch an.

5. ERGEBNISSE

Das AP 1 wurde abgeschlossen. In AP 2 und AP 3 liegen die Ergebnisse für Arbeitsplätze am Bauplatz des neuen Containments für den Unfallreaktor von Tschernobyl vor. Für die begleitenden Messungen bei den Dekontaminationen um Fukushima wurden die ersten Ergebnisse erarbeitet.

5.1 AMAD-MESSUNGEN UND FILTERPROBENSAMMLUNG (AP 2)

Durch die direkten AMAD-Messungen beim Tschernobyl Shelter sind wichtige Proben vorhanden, die eine genauere Dosimetrie erlauben werden. Filterproben bei Arbeiten um Tschernobyl und Fukushima sind vorhanden und werden für die retrospektive Ermittlung des AMAD genutzt. Direkte AMAD-Messungen bei Dekontaminationsarbeiten bei Fukushima werden analysiert. Die Methoden der retrospektiven Bestimmung des

[1)] aktivitätsbezogener Median des aerodynamischen Aerosolpartikeldurchmessers

AMAD und der Löslichkeit in Lungenflüssigkeit wurden wieder etabliert und mit einem Umwelttracer bzw. Tschernobyl-Proben getestet.

5.2 AUSWERTUNG DER FILTERPROBEN (AP 3)

Die Analysedaten wurden ergänzt durch Vergleichsmessungen und die retrospektive Bestimmung der Aktivitätsgrößenverteilung des Aerosols aus mitgelieferten Filtern. Ergebnisse liegen noch nicht vor.

6. GEPLANTE WEITERARBEIT

In der Weiterarbeit wird sich besonders auf die Arbeitsplätze verbunden mit Thorium dotierten Inertgas-Schweißen und Dekontaminationsarbeiten konzentriert.

Thema

Erstellung und Überarbeitung von technischen Normen für den Strahlenschutz und die Qualitätssicherung in der medizinischen Radiologie

Subject

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

Kennzeichen	**Beginn**	**Ende**	**Fördermittel**
3615S42320	01.08.2015	30.06.2018	EUR 164.234,-

Forschungs- / Auftragnehmer
VDE Verband der Elektrotechnik Elektronik Informationstechnik e.V.

Projektleitung	**Fachbetreuung BfS**	**verantwortlich für den Text**
Dr. B. Seidel	Dr. A. Schegerer / AG-SG 2.3	Dr. B. Seidel

1. ZIELSETZUNG

Für die Ziele des Strahlenschutzes sind die Vorschriften des Atomgesetzes, der Strahlenschutzverordnung und der Röntgenverordnung durch Normen zu untermauern, um eine zielgerichtete, bundeseinheitliche Umsetzung 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.

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[1)], IEC[2)], CEN[3)], CENELEC[4)]) von erheblicher nationaler Bedeutung und auch erforderlich, um die Ziele neuerer europäischer Vorgaben für den Strahlenschutz harmonisiert umzusetzen.

2. EINZELZIELSETZUNG

Das Vorhaben beinhaltet Normungsarbeit auf den folgenden Teilgebieten:

- Qualitätssicherung nach RöV an Röntgeneinrichtungen
- Qualitätssicherung an Einrichtungen für die Nuklearmedizin
- Festlegung von Eigenschaften strahlentherapeutischer Einrichtungen
- Strahlenschutz für Patienten und Personal einschließlich baulicher Strahlenschutz
- Anforderungen an Verfahren zur Dosimetrie.

Die einzelnen Projekte einschließlich der terminlichen Zielsetzungen sind der Tabelle unter Abschnitt 5 zu entnehmen.

[1)] International Organization for Standards
[2)] International Electronical Commission
[3)] Comité Européen de Normalisation
[4)] Comité Européen de Normalisation Électrotechnique

3. METHODIK

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

4. DURCHFÜHRUNG

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

5. ERGEBNISSE

Die bisher erreichten Ergebnisse sind in Tabelle 1 zusammengefasst.

Tabelle 1: Bisher erreichte Ergebnisse bei den Normungsprojekten

Nr.	Projektnummer	Titel	Stand
1	DIN 6800-7	Dosismessverfahren nach der Sondenmethode für Photonen- und Elektronenstrahlung - Teil 7: Zweidimensionale Dosimetrie	Norm-Vorlage in Bearbeitung
2	DIN 6809-6	Klinische Dosimetrie -Teil 6: Anwendung hochenergetischer Photonen- und Elektronenstrahlung in der Teletherapie	verabschiedet zur Veröffentlichung als Norm-Entwurf
3	IEC 60601-2-1	Medical electrical equipment - Part 2-1: Particular requirements for the basic safety and essential performance of electron accelerators in the range 1 MeV to 50 MeV	Committee draft (CD) veröffentlicht
4	IEC 62926	Medical electrical equipment - Requirements for basic safety and essential performance of real time four-dimensional radiotherapy system	Committee draft (CD) veröffentlicht
5	DIN 6844-3	Nuklearmedizinische Betriebe - Teil 3: Strahlenschutzberechnungen	Norm-Entwurf zur Veröffentlichung an Beuth-Verlag gegeben
6	DIN 6855-1	Konstanzprüfung nuklearmedizinischer Messsysteme - Teil 1: In-vivo- und In-vitro-Messplätze (IEC/TR 61948-1:2001, modifiziert)	Vorlage in Bearbeitung
7	DIN 6858-2	Qualitätsprüfung multimodaler Bildgebung - Teil 2: Konstanzprüfung SPECT/CT	Norm-Entwurf veröffentlicht mit Ausgabedatum 2016-09
8	DIN 6861-1	Dosimetrie bei der Radionuklidtherapie - Teil 1: Allgemeines	Norm-Vorlage in Bearbeitung
9	DIN 6868-16	Sicherung der Bildqualität in röntgendiagnostischen Betrieben - Teil 16: Dokumentation der klinischen Bildverarbeitungsparameter bei digitalen Röntgensystemen	Norm-Entwurf veröffentlicht mit Ausgabedatum 2016-07
10	DIN 6868-163	Sicherung der Bildqualität in röntgendiagnostischen Betrieben - Teil 163: Abnahme- und Konstanzprüfung nach RöV an Röntgeneinrichtungen für digitale mammographische Stereotaxie	Norm-Entwurf veröffentlicht mit Ausgabedatum 2016-05
11	Normvorhaben	Sicherung der Bildqualität in röntgendiagnostischen Betrieben - Teil XX: Abnahme und Konstanzprüfung von Geräten zur Knochendichtemessung (DXA/ DEXA, dual-energy X-ray absorptiometry)	Norm-Vorlage in Bearbeitung
12	DIN 6865	Qualitätssicherung von Prüfkörpern, die im Rahmen der Qualitätssicherung von Röntgengeräten nach RöV eingesetzt werden	Norm-Vorlage in Bearbeitung

Nr.	Projektnummer	Titel	Stand
13	Normvorhaben	Austauschformat für QS-Parameter	Norm-Vorlage in Bearbeitung
14	IEC 62985	Methods for calculating Size Specific Dose Estimate (SSDE) on Computed Tomography	Working draft in Bearbeitung

6. GEPLANTE WEITERARBEIT

Die Weiterarbeit erfolgt in jedem Teilprojekt entsprechend den Grundsätzen der Normungsarbeit, wie sie insbesondere in der Richtlinie für Normenausschüsse und der DIN 820-4 „Geschäftsgang“ festgelegt sind. Die weiteren Schritte sind in den Arbeitsprogrammen der zuständigen Arbeitsausschüsse des NAR festgelegt.

Thema

Untersuchung des Brustkrebsrisikos nach Radioiodtherapie eines Schilddrüsenkarzinoms - Machbarkeitsstudie

Subject

Assessment of breast cancer risk following radioiodine treatment for thyroid cancer - feasibility study

Kennzeichen	**Beginn**	**Ende**	**Fördermittel**
3615S42421	01.11.2015	30.06.2017	EUR 228.583,-

Forschungs- / Auftragnehmer
Klinik und Poliklinik für Nuklearmedizin der Universität Würzburg

Projektleitung	**Fachbetreuung BfS**	**verantwortlich für den Text**
Prof. Dr. Chr. Reiners	A. Erzberger / AG SG 2.1	Dr. R. Schneider, Prof. Dr. Chr. Reiners

1. ZIELSETZUNG

Ziel des Forschungsvorhabens „Untersuchung des Brustkrebsrisikos nach Radioiodtherapie eines Schilddrüsenkarzinoms - Machbarkeitstudie“ ist die Einschätzung des Risikos von Brustkrebs als Zweittumor bei Patientinnen nach Radioiodtherapie (RIT) eines Schilddrüsenkarzinoms im Kindes- bzw. Jugendalter. Die Ergebnisse bisher vorliegender Studien zur RIT an fast ausschließlich Erwachsenen lassen keine eindeutige Aussage über den Zusammenhang einer RIT und einem sekundären Mammakarzinom zu bzw. weisen widersprüchliche Ergebnisse auf. In der vorliegenden Machbarkeitsstudie sollen die Voraussetzungen für die langfristige Untersuchung von Patientinnen nach RIT eines Schilddrüsenkarzinoms im Kindes- oder Jugendalter erarbeitet werden.

2. EINZELZIELSETZUNG

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

Der erste Projektteil verfolgt zwei Einzelzielsetzungen:

- Überprüfung und Aktualisierung des in einem vorausgegangen Forschungsvorhaben aufgearbeiteten relevanten Stands von Wissenschaft und Technik (AP 1)
- Planung der Hauptstudie (AP 2)

Der zweite Projektteil hat folgende Einzelziele:

- Durchführung der Machbarkeitsstudie (AP 3)
- Datenanalyse und Erarbeitung von Empfehlungen für die Hauptuntersuchung: Eingabe der in der Machbarkeitsstudie gewonnenen Daten in eine klinische, webbasierte Datenbank (AP 4)

3. METHODIK

In AP 1 wurde der relevante Stand von Wissenschaft und Technik aktualisiert. Dargestellt wurden neue Arbeiten des Auftragnehmers, Resultate eines Literaturreviews, wichtige Untersuchungen und Ergebnisse anderer Forschungseinrichtungen und aktuelle Stellungnahmen internationaler und nationaler Gremien. Darüber hinaus wurden weltweit für die Hauptstudie geeignete Kohorten ermittelt und ihre Charakteristika beschrieben und verglichen. Darüber hinaus wurden eine statistische Analyse und eine Fallzahlberechnung durchgeführt.

In AP 2 wurde die Durchführung der Hauptstudie geplant. Die Bereitschaft der Studienzentren zur langfristigen Zusammenarbeit wurde erfragt. Verfahren zum Einholen der Einverständniserklärung der Patientinnen und das Vorgehen bei Studienabbruch wurden definiert, klinische Labor- und bildgebende Untersuchungsmethoden ausgewählt und begründet. Anzahl und Umfang der Untersuchungsbögen wurden reduziert sowie Untersuchungs- und Qualitätssicherungsprogramme beschrieben.

In AP 3 wurde eine protokollkonforme Untersuchung zur Erfassung und Behandlung therapiebedingter Nebenwirkungen einer RIT von je 100 Patientinnen und vergleichbaren Kontrollpersonen in Minsk, Belarus, begonnen.

Die erhobenen Daten werden zur Dokumentation RIT-bedingter Nebenwirkungen in eine klinische webbasierte Datenbank eingepflegt. Basierend auf der Analyse der Resultate werden Voraussetzungen und Empfehlungen für die Realisierung der Hauptstudie erarbeitet (AP 4).

4. DURCHFÜHRUNG

Die Durchführung erfolgte gemäß der in Abschnitt 3 beschriebenen Methodik. Bislang wurden AP 1 und AP 2 abgeschlossen; AP 3 wurde begonnen.

5. ERGEBNISSE

Die Ergebnisse von AP 1 und AP 2 wurden in einem Zwischenbericht dargestellt. Nach Freigabe der Fortsetzung der Arbeiten (AP 3 und AP 4) wurde mit der Durchführung der Machbarkeitsstudie begonnen.

5.1 STAND VON WISSENSCHAFT UND TECHNIK (AP 1)

Mit Beteiligung des Auftragnehmers wurde 2015 eine Studie zur Prävalenz von Zweittumoren bei belarussischen Patienten mit einem Schilddrüsenkrebs nach Tschernobyl publiziert (Fridman M, Drozd V et al.). 1 % der über 4 000 Patienten hatten ein Zweitmalignom, vier davon ein Mammakarzinom. Bei 50 % der Patienten war eine RIT (durchschnittliche I-131 Aktivität: 7,47 GBq) vorausgegangen.

Weitere Forschungseinrichtungen untersuchten mögliche Folgen einer Strahlentherapie. In zwei Studien der Universitätsmedizin Mainz (Intrinsische Strahlentherapie: Identifikation Biologischer und Epidemiologischer Langzeitfolgen (ISIBELa) und PanCare Childhood and Adolescent Cancer Survivor Care and Follow-up Studies (PanCareSurFup)) wurden mögliche Spätfolgen nach Strahlentherapie einer Krebserkrankung im Kindes- und Jugendalter untersucht; die Universität Ulm ermittelte in einem Projekt das Risiko von Zweittumoren bei Patienten nach Strahlentherapie in höherem Lebensalter.

Die Literaturreview des vorangegangen Forschungsvorhabens wurde um 22 weitere Publikationen ergänzt. Die Mehrzahl der Studien fand ein erhöhtes Brustkrebsrisiko nach Schilddrüsenkrebs; lediglich zwei ältere Studien aus den 1990-er Jahren fanden kein erhöhtes Risiko für Brustkrebs. Acht der 22 Studien untersuchten, ob eine RIT mit einem erhöhten Brustkrebsrisiko assoziiert ist. In fünf Studien aus den Jahren 2015 und 2016 wurde kein erhöhtes Risiko für Brustkrebs nach einer RIT gefunden. Die Ergebnisse der anderen drei Studien ließen keine eindeutigen Schlussfolgerungen über die Folgen einer RIT zu.

Die Stellungsnahmen nationaler und internationaler Gremien zum Risiko einer medizinischen Strahlenexposition weisen darauf hin, dass bei immer besseren Heilungschancen maligner Erkrankungen die Bedeutung des Risikos eines Sekundärtumors steigt und die Erfassung von Therapieeffekten ein ausreichend langes Follow-up benötigt. Hervorgehoben wurden

- eine variablere strahlenbedingte Tumorinzidenz bei Kindern, die von der Art des Tumors, Alter und Geschlecht abhängt
- eine höhere Strahlensensibilität von Kindern für 25 % der Tumore, darunter auch Brustkrebs
- deutliche Unterschiede bei Strahlendosen in verschiedenen Altersstufen durch altersspezifische metabolische und physiologische Faktoren
- die mögliche Induktion von Brustkrebs durch Strahlung mit einem 3-5 mal höheren Risiko bei Kindern
- das Alter bei Exposition als bestimmender Faktor.

Die wenigen Daten zu modifizierenden Faktoren von Strahleneffekten durch hormonelle und andere Faktoren, die das Brustkrebsrisiko erhöhen, scheinen inkonsistent und legen keine wesentlichen modifizierenden Faktoren für das Brustkrebsrisiko nahe. Die Literatur über genetische, das Strahlenrisiko modifizierende Faktoren zeigt sehr divergente Ergebnisse und zudem häufig methodische Mängel.

Für die mögliche Hauptstudie wurden zehn Studienzentren aus acht Ländern ermittelt, die geeignete Patientinnen und Kontrollen rekrutieren können. Die primäre statistische Analyse und Fallzahlberechnung ergab, dass mit diesen Kohorten eine ausreichende Anzahl möglicher Teilnehmerinnen zur Verfügung steht, um eine belastbare Abschätzung des Brustkrebsrisikos nach RIT vorzunehmen. Geprüft wurde insbesondere die An-

zahl der Patientinnen und Kontrollen der verschiedenen Studienzentren in den Altersgruppen < 18 Jahre bzw. < 40 Jahre.

5.2 PLANUNG (AP 2)

Alle ermittelten nationalen und internationalen Studienzentren bekundeten ihr Interesse und die Bereitschaft, an der Hauptstudie teilzunehmen, und übermittelten die Charakteristika und relevanten Kenngrößen ihrer Patienten- und Kontrollkohorten.

Es wurde festgelegt, dass die Bereitschaft der Teilnehmerinnen, sich langfristig untersuchen und zu möglichen Risikofaktoren befragen zu lassen, in einem Patientengespräch vor Beginn der Hauptstudie geklärt und dokumentiert wird. Eine schriftliche Patientenaufklärung informiert die Patientinnen und Kontrollen über Art, Umfang und mögliche Konsequenzen einer Studienteilnahme; bei Zustimmung soll eine Einverständniserklärung unterzeichnet werden.

Das Vorgehen bei Abbruch der Studie wurde definiert. Die ausgewählten Untersuchungen wurden begründet und Untersuchungs- und Qualitätssicherungsprogramme beschrieben.

Der auf wesentliche Punkte beschränkte neue Untersuchungsbogen zur Erhebung des Status nach Schilddrüsenkarzinomtherapie und zur Erfassung eines möglichen Mammakarzinoms als Zweiterkrankung wurde auf Grundlage nationaler und internationaler Leitlinien zum Schilddrüsen- und Mammakarzinom überarbeitet. Er wird in der Machbarkeitsstudie auf Praktikabilität getestet und gegebenenfalls für die Hauptstudie angepasst.

Die Qualitätssicherung der Hauptstudie bei Datenerhebung, -eingabe und -sicherung sowie Datenschutz orientiert sich an der Machbarkeitsstudie. Daten zur Identifizierung der Studienteilnehmerinnen werden nicht an das auswertende Studienzentrum oder andere Studieneinrichtungen weitergegeben. Bezüglich der Labor- und apparativen Untersuchungen (wie Sonographie, Mammographie und MRT) werden die Studienzentren aufgefordert, nationale Leitlinien zur Qualitätssicherung einzuhalten und darüber Bericht zu erstatten. Befunde sind unter Verwendung der einschlägigen BI-RADS[1)]-Klassifikationen des American College of Radiologists zu dokumentieren.

5.3 DURCHFÜHRUNG DER MACHBARKEITSSTUDIE (AP 3)

Mit der Machbarkeitsstudie an je 100 Schilddrüsenkarzinompatientinnen nach RIT und vergleichbaren Kontrollen ohne RIT wurde in Minsk, Belarus, begonnen. Hierzu werden die ausgewählten Patientinnen und Kontrollen eingeladen und entsprechend des Untersuchungsprotokolls untersucht.

6. GEPLANTE WEITERARBEIT

Die Aufgaben von AP 3 werden 2017 fortgesetzt und abgeschlossen. AP 4 wird parallel zur Durchführung von AP 3 begonnen und 2017 ebenfalls beendet.

[1)] Breast Imaging - Reporting and Data System

Themenbereich 05
Radioökologie

Subject area 05
Radioecology

Thema

Messtechnische und modellbasierte Abschätzung des Eintrags von I-131 in die OSPAR-Regionen auf Grund der nuklearmedizinischen Anwendungen von Radioiod in Deutschland

Subject

Measurements and modelling of I-131 fluxes from nuclear medical applications in Germany into the OSPAR region

Kennzeichen	**Beginn**	**Ende**	**Fördermittel**
3614S50015	01.05.2015	31.10.2017	EUR 359.432,-

Forschungs- / Auftragnehmer
Nuclear Control & Consult GmbH, Braunschweig

Projektleitung	**Fachbetreuung BfS**	**verantwortlich für den Text**
Dr. R. Gellermann	Dr. Chr. Strobl / SW 1.4	Dr. R. Gellermann

1. ZIELSETZUNG

Im Rahmen des 2011 bis 2013 durchgeführten Vorhabens „Messtechnische und theoretische Abschätzung des Eintrags von I-131 in die OSPAR[1)]-Regionen auf Grund der nuklearmedizinischen Anwendung von Radioiod in Deutschland" wurde ein Modellansatz entwickelt, der eine Ermittlung der I-131-Frachten aus deutschen Oberflächengewässern in die OSPAR-Regionen ermöglicht. Dabei wurde festgestellt, dass eine Diskrepanz zwischen der theoretischen I-131-Einleitung und den tatsächlich festgestellten I-131-Frachten in Flüssen besteht. Ziel des hier berichteten Vorhabens ist es, weitere messtechnische Untersuchungen durchzuführen, um den Prozess und die möglichen Ursachen für die Rückhaltung und den Zerfall von I-131 zu prüfen und weitere Erkenntnisse zur Verbesserung des Modells zu gewinnen.

2. EINZELZIELSETZUNG

2.1 TEILZIELE

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

2.2 ARBEITSPAKETE

Im Vorhaben sind die folgenden Arbeitspakete zu bearbeiten:

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

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

3. METHODIK

Im Jahr 2016 wurde begleitend zur Durchführung von Untersuchungen an Kläranlagen mittels Literaturauswertungen der Stand der Wissenschaft weiter hinsichtlich des im AP 3 auszuführenden Untersuchungsprogramms verfolgt. Außerdem wurden Flusswässer im Rahmen von Laborvergleichsmessungen zur Qualitätssicherung beprobt und auf I-131 analysiert.

4. DURCHFÜHRUNG

4.1 UNTERSUCHUNG VON KLÄRANLAGEN

Die im AP 1 im Jahr 2015 ausgewählten Kläranlagen Hannover-Gümmerwald, Gütersloh, Hamburg-Köhlbrandhöft/Dradenau und Dinslaken wurden monatlich beprobt. Untersucht wurde I-131 im Kläranlagenzulauf (unfiltiert) sowie getrennt in eine gelöste Fraktion (Filtrat 0,45 µm) und eine partikuläre Fraktion (Filterrückstand) im Kläranlagenablauf. In der Kläranlage Hannover-Gümmerwald wurde neben I-131 auch das langlebige Radionuklid I-129 mit untersucht.

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

4.2 AUSWAHL VON NEBENFLÜSSEN

Auf der Grundlage der Kenngröße „Einwohner je Abfluss“ wurden als bedeutende Nebenflüsse mit hohen Eintragspotentialen von I-131 die Saale als Nebenfluss der Elbe, die Aller als Nebenfluss der Weser, die Werse als Nebenfluss der Ems und die Flüsse Main, Ruhr und Lippe als Nebenflüsse des Rheins ausgewählt. Die Untersuchung dieser Flüsse wird in 2017 durchgeführt.

4.3 UNTERSUCHUNG VON BIOFILMEN

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

5. ERGEBNISSE

5.1 UNTERSUCHUNG VON KLÄRANLAGEN

Die aus den Untersuchungen von Kläranlagen im Rahmen einer Zwischenauswertung erhaltenen Ergebnisse sind in Tabelle 1 aufgeführt. Die Ergebnisse sind vorläufig, da noch nicht alle Daten zu den Ablaufmengen der Kläranlagen vorliegen und Messwerte, die unter der Erkennungsgrenze liegen, zunächst formal mit in die Auswertung einbezogen wurden.

Tabelle 1: Ermittelte Kennzahlen von I-131 im Abwasser von Kläranlagen im Jahr 2016 (vorläufige Ergebnisse)

	Hamburg	**Hannover**	**Gütersloh**	**Dinslaken**
I-131 im Zulauf in Bq/m³, Mittelwert	187	163	386	103
Wertebereich (Min – Max)	(27-447)	(22-534)	(18-2136)	(<37-447)
I-131 im Ablauf in Bq/m³, Mittelwert	169	64	139	66
Wertebereich (Min – Max)	(104-257)	(27-290)	(32-320)	(27-135)
Ablaufmenge in 1000 m³/d	429	94	19,3	1109
Zahl der Einwohner (EW)/1000 im Einzugsgebiet der Kläranlage	1960	410	75	2300
Einwohnerbezogene I-131-Fracht im Zulauf kBq/EW/a	15,0	13,6	36,2	18,2
Einwohnerbezogene I-131-Fracht im Ablauf kBq/EW/a	13,5	5,4	13,0	11,5

Die Ergebnisse stützen die im Vorläuferprojekt erhaltenen Befunde im Hinblick auf die einwohnerbezogenen I-131-Frachten im Ablauf von Kläranlagen. Aus allen bisher erhobenen Daten kann eine einwohnerbezogene Fracht von (12 ± 4) kBq/EW/a als repräsentativ für die Abschätzung der Einleitungen von I-131 über Kläranlagen in Gewässer abgeleitet werden. Die I-131-Fracht in den Zuläufen zu den Kläranlagen ist deutlich höher als die im Ablauf, wobei die Rückhaltung in den einzelnen Kläranlagen unterschiedlich ausfällt. Der von Fischer u. a. früher in der Kläranlage Bremen-Seehausen ermittelte Wert von 50 % wurde grundsätzlich bestätigt.

5.2 UNTERSUCHUNG VON I 131 IM NAHFELD VON EINLEITSTELLEN

Die Messungen von I-131 im nahen Umfeld von Einleitstellen der Kläranlagen konnten bis zu Entfernungen von 10 km von der Einleitstelle keine signifikanten Rückhalteeffekte von I-131 im Fluss nachweisen.

5.3 I-131 IN BIOMASSE

Messungen an Bioproben zeigten, dass sich I-131 in den Algenfilmen von Gewässerbetten nachweisen lässt. Die dabei ermittelten flächenbezogenen Aktivitäten lagen zwischen ca. 0,07 Bq/m^2 bis ca. 7 Bq/m^2 und korrelieren mit der I-131-Konzentration im Gewässer.

6. GEPLANTE WEITERARBEIT

Die Bearbeitung der weiteren Leistungen erfolgt wie geplant. Im Jahr 2017 werden Nebenflüsse untersucht und das Messprogramm damit abgeschlossen.

Thema Experimentelle und theoretische Untersuchungen zu radioaktiven Quellen und Gegenständen im Stahlschrott **Subject** *Orphan sources and radioactive materials in steel scrap (experimental and theoretical studies)*			
Kennzeichen 3615S52320	**Beginn** 01.11.2015	**Ende** 30.06.2017	**Fördermittel** EUR 159.279,-
Forschungs- / Auftragnehmer Brenk Systemplanung GmbH, Aachen			
Projektleitung Dr. J. de Groot	**Fachbetreuung BfS** Dr. R. Merk / SW 1.6	**verantwortlich für den Text** Dr. J. de Groot	

1. ZIELSETZUNG

Das Ziel dieses Forschungsvorhabens ist die Verbesserung der Entdeckung von radioaktiven Quellen und Gegenständen im Stahlschrott. Das hier zu behandelnde Forschungsthema wird in Artikel 92 der Richtlinie 2013/59/Euratom (Euratom-Grundnormen) explizit erwähnt (Entdeckung herrenloser Strahlenquellen).

2. EINZELZIELSETZUNG

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

Im Rahmen des Arbeitspaketes 1 (AP 1) wird die Frage geklärt, ob in Deutschland relevante potentielle Eintragswege für radioaktive Quellen und Gegenstände in den Schrott hinreichend und dem Stand von Wissenschaft und Technik entsprechend mit Portalmessanlagen (z. B. an Schrottplätzen, Schmelzbetrieben, Verkehrsknotenpunkten) ausgestattet sind und welche Eigenschaften diese Messeinrichtungen aufweisen. Zudem wird in AP 1 eine Zusammenstellung bereits aufgetretener Zwischenfälle mit radioaktiven Quellen und Gegenständen im Zusammenhang mit der Schrott- und Stahlwirtschaft zusammenfassend erarbeitet.

2.2 AUFFINDBARKEIT TYPISCHER GAMMASTRAHLER IM STAHLSCHROTT: THEORETISCHE UND EXPERIMENTELLE BETRACHTUNGEN

Im Rahmen des AP 2 wird aufbauend auf den Ergebnissen der Umfrage experimentell und theoretisch untersucht, bei welchen Aktivitäten und unter welchen geometrischen Randbedingungen des realistischen Schrottcontainers ein Nachweis entsprechender Radionuklide (Co-60, Cs-137 und Am-241) durch aktuell übliche gammasensitive Portalmonitore erwartet werden kann.

Dazu wird mittels Computersimulationen (Monte-Carlo-Simulationen) die Auffindbarkeit radioaktiver Quellen und Gegenstände im Stahlschrott theoretisch untersucht und diese Ergebnisse mittels experimenteller Untersuchungen an einem „echten“ Stahlschrottcontainer zu realitätsnahen Bedingungen abgesichert.

2.3 WEITERGEHENDE MÖGLICHKEITEN ZUR ERHÖHUNG DER AUFFINDBARKEIT

Möglichkeit und Notwendigkeit zur Verbesserung der Entdeckung von radioaktiven Quellen und Gegenständen im Stahlschrott, über das Konzept der gammasensitiven Portalmonitore hinaus, werden in AP 3 untersucht. Dazu werden die (passive) Detektion von Neutronenstrahlung und der (aktive) Einsatz von Strahlung zur Auffindung radioaktiver Quellen und Gegenstände im Schrott bewertet.

2.4 IDEENFINDUNG FÜR LEITLINIEN UND INFORMATIONSMATERIAL

Abschließend werden im AP 4 Informationsmaterial und Leitlinien entsprechend Artikel 92 der Richtlinie 2013/59/Euratom für verschiedene Personengruppen erstellt. Diese dienen sowohl der Sensibilisierung für das etwaige Vorkommen herrenloser Strahlenquellen und die damit verbundenen Gefahren, als auch als Leitfaden für Personen, die eine herrenlose Quelle vermuten oder Kenntnis von einer herrenlosen Strahlenquelle haben.

3. METHODIK

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

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

3.2 AUFFINDBARKEIT TYPISCHER GAMMASTRAHLER IM STAHLSCHROTT: THEORETISCHE UND EXPERIMENTELLE BETRACHTUNGEN

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

4. DURCHFÜHRUNG

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

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

Die Arbeiten zu Punkt 2.1 wurden vollständig durchgeführt. Die Ergebnisse wurden nach verschiedenen Gesichtspunkten ausgewertet und in Berichtsform dargestellt.

4.2 AUFFINDBARKEIT TYPISCHER GAMMASTRAHLER IM STAHLSCHROTT: THEORETISCHE UND EXPERIMENTELLE BETRACHTUNGEN

Die Ergebnisse wurden durch experimentelle Versuche an einem vergleichbaren realen Schrottgebinde unter realen Messbedingungen an einem realen Portalmonitor überprüft.

5. ERGEBNISSE

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

Die Auswertung der Umfrage ergab, dass die Schrottplätze und Schmelzbetriebe bezüglich des Auffindens radioaktiver Quellen und Gegenstände messtechnisch und personell sehr gut aufgestellt sind. Eine Abfrage der Ausstattung deutscher Innenhäfen, Außenhäfen und Containerumschlagplätze bezüglich der Ausstattung mit Messeinrichtungen zum Auffinden radioaktiver Quellen und Gegenstände zeigte, dass bei keinem der angefragten Warenumschlagplätze eigene Messungen auf Radioaktivität durchgeführt werden.

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

5.2 AUFFINDBARKEIT TYPISCHER GAMMASTRAHLER IM STAHLSCHROTT: THEORETISCHE UND EXPERIMENTELLE BETRACHTUNGEN

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

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

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

6. GEPLANTE WEITERARBEIT

Die Arbeiten zum AP 3 bezüglich der Möglichkeit und Notwendigkeit der Detektion von Neutronenstrahlung und der Einsatz von Strahlung zur Auffindung radioaktiver Quellen und Gegenstände im Schrott sind weit fortgeschritten und der Bericht in Erstellung. Leitlinien und Informationsmaterial werden erstellt.

Themenbereich 06
Notfallschutz

Subject area 06
Emergency management

Thema

Entscheidungsregeln bei kerntechnischen Unfällen: Anwendung von Entscheidungskonzepten für dringende Schutzmaßnahmen

Subject

Decision rules at nuclear accidents: application of decision concepts for urgent safety measures

Kennzeichen	**Beginn**	**Ende**	**Fördermittel**
3615S62536	01.03.2016	31.10.2016	EUR 100.734,-

Forschungs- / Auftragnehmer
TÜV SÜD Industrie Service GmbH, München

Projektleitung	**Fachbetreuung BfS**	**verantwortlich für den Text**
Dr. R. Mameghani	Dr. F. Gering / SW 2.2	Dr. R. Mameghani

1. ZIELSETZUNG

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

2. EINZELZIELSETZUNG

Das Projekt gliedert sich in drei Arbeitspakete (AP).

2.1 DATENERHEBUNG (AP 1)

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

2.2 ANALYSE (AP 2)

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

2.3 ENTSCHEIDUNGSREGELN (AP 3)

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

3. METHODIK

3.1 DATENERHEBUNG (AP 1)

Die Analysesoftware für RODOS-Daten wird in der quelloffenen Programmiersprache PYTHON 3 erstellt, als zusätzliche Softwaremodule werden NUMPY, SCIPY und MATPLOTLIB sowie für die Routinen zum maschinellen Lernen aus SCIKIT-LEARN verwendet.

3.2 ANALYSE (AP 2)

Die Datenanalyse wird mit SCIKIT-LEARN durchgeführt, wobei verschiedene meteorologische Parameter als Eingangsgrößen getestet werden. Es wird versucht, zu möglichst einfachen Entscheidungskriterien zu gelangen. Stark korrelierte Eingangsgrößen werden durch das Lernverfahren automatisch zusammengefasst. Die Berechnungen werden für räumliche Abdeckungen der Gebiete mit Richtwertüberschreitungen von 50 %, 80 %, 95 % und 99 % durchgeführt.

3.3 ENTSCHEIDUNGSREGELN (AP 3)

Die ermittelten Entscheidungsregeln auf Basis der Lernparameter werden in Form von natürlichem Text ausgegeben, wobei enthaltene räumliche Kriterien in Diagrammform dargestellt werden. Die Gebiete mit Richtwertüberschreitungen werden in diesen Diagrammen markiert. Es ist zu validieren, inwieweit die angestrebten statistischen Sicherheiten erreicht werden konnten, indem für eine Untermenge der ursprünglichen RODOS-Rechnungen die Werte an den darin enthaltenen Gitterpunkten mit den Resultaten aus den Entscheidungsregeln verglichen und die Abweichungen statistisch untersucht werden.

4. DURCHFÜHRUNG

4.1 DATENERHEBUNG (AP 1)

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

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

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

4.2 ANALYSE (AP 2)

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

4.3 ENTSCHEIDUNGSREGELN (AP 3)

Mit der Bearbeitung von AP 3 wurde erst zum Ende des Jahres 2016 begonnen. Die Programmroutinen zur Ausgabe der Entscheidungsregeln wurden implementiert. Eine statistische Validierung der Resultate steht noch aus.

5. ERGEBNISSE

5.1 DATENERHEBUNG (AP 1)

Die Wahl von Polarkoordinaten relativ zum Windgeschwindigkeitsvektor ergibt - unabhängig von zusätzlichen Einflussgrößen - bereits eine gegenüber kartesischen Koordinaten oder absoluten Polarkoordinaten deutlich verbesserte Eingrenzung potentiell betroffener Gebiete. Außerdem konnte in guter Näherung eine Winkelsymmetrie der Überlagerungsergebnisse bestätigt werden, was bei der anschließenden Datenanalyse ausgenutzt werden konnte.

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

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

5.2 ANALYSE (AP 2)

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

6. GEPLANTE WEITERARBEIT

Das Vorhaben wird mit den Restarbeiten zum AP 3 fortgesetzt. Insbesondere die Güte der erzielten Ergebnisse muss noch durch jeweilige Aufspaltung der Datensätze in einen Trainings- und einen Testdatensatz geprüft werden.

Thema

Verfahren zur optimierten Standortauswahl für spektrometrierende Sonden und zur Generierung von Messaufträgen für Notfallschutzübungen

Subject

Optimisation procedure for the selection of locations of spectroscopic probes and for the generation of measurement tasks for emergency exercises

Kennzeichen	**Beginn**	**Ende**	**Fördermittel**
3615S62540	01.02.2016	31.01.2018	EUR 277.309,-

Forschungs- / Auftragnehmer
IMSD GmbH, Zürich

Projektleitung	**Fachbetreuung BfS**	**verantwortlich für den Text**
Dr. A. Läderach	Dr. M. Bleher / SW 2.4.3	Dr. A. Läderach, Dr. M. Bleher

1. ZIELSETZUNG

Ziel des Forschungsvorhabens ist die Entwicklung eines Verfahrens zur optimierten Standortauswahl für Messsonden und zur Generierung von Messaufträgen für Notfallschutzübungen.

2. EINZELZIELSETZUNG

- Aufarbeitung des relevanten Standes von Wissenschaft und Technik (AP 1)
- Verfahren zur Optimierung der Standorte von Messsonden für Einzelfall-Szenarien (AP 2)
- Einzelfall-basiertes Verfahren zur Generierung von zusätzlichen Messaufträgen (AP 3)
- Generalisiertes Verfahren zur Optimierung der Standorte von Messsonden (AP 4).

3. METHODIK

Zur räumlichen Optimierung eines Messnetzes benötigt man räumliche Information über die Kosten für die Platzierung einer Messstation an der Stelle x, welche die Kostenfunktion F(x) definieren. Der Begriff Kosten bezeichnet in diesem Zusammenhang weit mehr als monetäre Aspekte. So definieren sich Kosten anhand der zu optimierenden Größe, wie im Strahlenschutzbereich z. B. die Strahlendosis oder die Zeit zwischen der Freisetzung und Exposition. Die räumliche Optimierung erfolgt mittels Spatial-Simulated-Annealing (SSA)-Ansatz, siehe Abschnitt 3.2.

3.1 KOSTENFUNKTION

Die zu minimierende Kostenfunktion F(x) wurde als Linearkombination verschiedener, normierter Optimierungskriterien $X_i \in [0,1]$ festgelegt. Dies ermöglicht eine einfache Erweiterung um eine beliebige Anzahl weiterer Kriterien und macht die Kostenfunktion technisch unabhängig vom Optimierungsalgorithmus. Die Kostenfunktion kann mathematisch wie folgt formuliert werden:

$$F(\vec{x}) = \frac{1}{G} \sum g_i \, x X_i(\vec{x}) \qquad (1)$$

wobei

$$G = \sum g_i \qquad (2)$$

dem Normierungsfaktor der Gewichte $g_i \in [0,1]$ entspricht.

Zusammen mit dem BfS wurden am 20.09.2016 in Neuherberg in einem Workshop folgende Optimierungskriterien X_i für die Definition der räumlich abhängigen Kostenfunktion F(x) nach Gleichung (1) festgelegt:

X_1 - Bevölkerungsdichte

X_2 - Messunsicherheit mit Distanz zu Sonden

X_3 - Kritische Ortsdosisleistung (ODL) von 100 µSv/h

X_4 - Zeit zwischen erstem Alarm und Exposition

X_5 - Abstand zwischen Messsonden

3.2 OPTIMIERUNGSALGORITHMUS (SSA)

Die Methodik entspringt der statistischen Physik (Kirkpatrick et al., 1983). Die Funktionsweise ist iterativ und lässt sich relativ simpel in folgenden Schritten beschreiben:

- zufälliges Verteilen der zu platzierenden Sonden
- Bewegen einer Sonde um zufällige Schrittweiten dx und dy
- Berechnen der neuen Kosten nach Verschiebung
- Verschiebung akzeptieren mit Wahrscheinlichkeit $P(f_i+1,f_i)$.

Dabei entsprechen f_i+1 und f_i den Kosten bei Iteration i resp. i+1. Das Verfahren wird für jede Station und insgesamt beliebig oft bzw. bis zur Konvergenz wiederholt. Dabei werden bei jeder Iteration die Schrittweiten in x- und y-Richtung um einen konstanten Faktor k verkleinert. Die Akzeptanz-Wahrscheinlichkeit

$$P(f_{i+1}, f_i) = \begin{Bmatrix} 1, f_{i+1} \leq f_i \\ e^{(f_i - f_{i+1}) \cdot c_i}, f_{i+1} > f_i \end{Bmatrix} \quad (3)$$

nimmt mit jeder Iteration i entsprechend dem Kontrollparameter

$$c_i = i \cdot a_r \quad (4)$$

(van Groenigen et al. 1999) und dem Parameter a_r, der sog. „Annealing-Rate“, ab.

4. DURCHFÜHRUNG

Nach Abschluss und Berichtabgabe von AP 1 wurde die Umsetzung der Optimierungssoftware angegangen. Nach einer ersten Implementierung fand am 08.11.2016 ein zwischenzeitliches Treffen zur Präsentation erster Ergebnisse und Übergabe einer Erstversion des Programm-Codes statt. Im Workshop vom 14.12.2016 lernten zukünftige Anwender den aktuellen Stand der Software kennen. Anhand der Rückmeldungen und Anregungen durch die Anwender und den Projektleiter seitens des BfS erfolgte eine Überarbeitung der Optimierungssoftware und die Erstellung einer ausführlichen Benutzer-Dokumentation. Mit der Überarbeitung und der Bereitstellung der Optimierungssoftware und der Dokumentation ist der Abschluss von AP 2 und im selben Rahmen ein Kick-Off für AP 3 geplant.

5. ERGEBNISSE

Die räumliche Optimierung als Hilfestellung zur Standortauswahl erfolgt in folgendem Beispiel durch die Kombination der Bevölkerungsdichte (X_1) mit der Zeit zwischen dem ersten Alarm und der Exposition (X_4), siehe Abschnitt 3.1 zu den Optimierungskriterien. Die Abbildung 1 stellt farblich codiert die Kostenfunktion (0 entspricht tiefen und 1 hohen Kosten), den simulierten Freisetzungsort (grüner Stern) und vorgeschlagene Standorte für Sonden (farbige Punkte) dar.

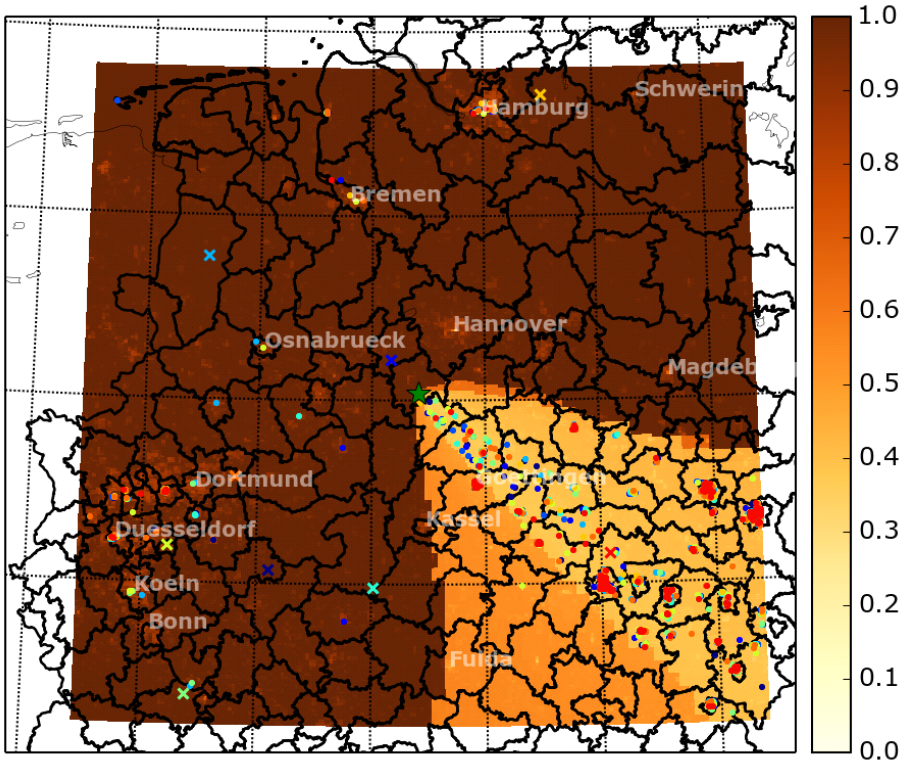


Abbildung 1: Optimale Standorte für die Platzierung von Sonden in Betrachtung der Kombination von Bevölkerungsdichte und Zeit seit dem Alarm als Optimierungskriterium

Entsprechend der Kostenfunktion schlägt die Optimierungssoftware Beispiel-Standorte in Stadtnähe und/ oder innerhalb der Fahne vor. Dabei wird ersichtlich, dass Städte innerhalb des durch die Fahne betroffenen Gebietes gegenüber denjenigen außerhalb erwartungsgemäß klar bevorzugt werden. Damit konnte gezeigt werden, dass die Optimierungssoftware erwartungsgemäß funktioniert und entsprechend dem Leistungsauftrag eine Entscheidungsgrundlage zur Platzierung von Sonden liefert.

6. GEPLANTE WEITERARBEIT

Wie bereits in Abschnitt 4 erwähnt ist der Abschluss von AP 2 und im selben Rahmen ein Kick-Off für AP 3 geplant. Darin wird es um die Erweiterung des Verfahrens bzw. der Optimierungssoftware zur Generierung von Messaufträgen für mobile Messtrupps gehen. Dies mit dem Ziel in konkreten Situationen Lücken im ortsfesten System mit mobilen Messungen schließen zu können.

Anschließend wird die entsprechende Implementierung in der Optimierungssoftware vorbereitet und in engem Kontakt mit dem Auftraggeber umgesetzt.

Themenbereich 07
Vorhaben mit allgemeiner Bedeutung für den Strahlenschutz

Subject area 07
Projects of general importance to radiation protection

Thema

Überarbeitung von technischen Strahlenschutznormen aus dem Bereich des Normenausschuss Materialprüfung (NMP)

Subject

Revision of technical radiation protection standards in the range of the Materials Testing Standards Committee (NMP)

Kennzeichen	**Beginn**	**Ende**	**Fördermittel**
3614S70005	02.12.2014	30.09.2017	EUR 179.577,-

Forschungs- / Auftragnehmer
DIN Deutsches Institut e. V., Berlin

Projektleitung	**Fachbetreuung BfS**	**verantwortlich für den Text**
V. Seibicke	U. Häusler / AG-SG 2.6	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:

- Normen der Reihe DIN 25409: „Fernbedienungsgeräte zum Arbeiten hinter Schutzwänden“ (9 Teile)
- DIN 25483: „Verfahren zur Umgebungsüberwachung mit integrierenden Festkörperdosimetern“
- Normen der Reihe DIN 25488: „Komponenten für Heiße Zellen“ (2 Teile)
- Normen der Reihe DIN 54113: „Zerstörungsfreie Prüfung - Strahlenschutzregeln für die technische Anwendung von Röntgeneinrichtungen bis 1 MV“ (3 Teile und 1 Beiblatt)

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

3. METHODIK

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

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

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

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

Um die Mitarbeit von deutschen Experten in internationalen Normungsgremien (IEC, ISO) und den entsprechenden Arbeitsausschüssen sicherzustellen, werden 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.

4. DURCHFÜHRUNG

Das Vorhaben wird in folgenden Schritten durchgeführt:

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

5. ERGEBNISSE

5.1 ZU DEN NORMEN DER REIHE DIN 25409

Der zuständige Ausschuss hat beschlossen, die Normen der Reihe DIN 25409 zu überarbeiten, da hier der Stand der Technik nicht mehr sichergestellt war. Die Norm-Entwürfe zu DIN 25409-1 bis DIN 25409-8 und zum Beiblatt 1 sind mit Ausgabedatum Februar 2015 erschienen und die Einspruchsfrist endete am 16. Mai 2015. Die Einspruchssitzung wurde am 8. Juli 2015 durchgeführt. Die Dokumente (außer zu Teil 7) wurden mit den auf der Sitzung besprochenen Änderungen zur Veröffentlichung als Norm verabschiedet. Die Veröffentlichungsmanuskripte wurden erstellt und dem Obmann zur Freigabe zugeschickt. Die Freigabe erfolgte im Oktober 2015. Die Normen DIN 25409-1 bis DIN 25409-6 und DIN 25409-8 und das zugehörige Beiblatt DIN 25409 Beiblatt 1 wurden mit Ausgabe Dezember 2015 veröffentlicht.

DIN 25409-7 musste zunächst zurückgestellt werden, da sich ein Einspruch nicht ohne die Befragung weiterer Experten klären ließ. Die Verabschiedung zur Norm erfolgte schließlich auf schriftlichem Weg. Das Manuskript zur Norm wurde ohne weitere Verzögerung eingereicht und ist mit Ausgabe Januar 2016 erschienen.

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

5.2 ZU DER NORM DIN 25483

Die Norm wurde im zuständigen Arbeitsausschuss verteilt und es wurde um Stellungnahmen gebeten. Der Ausschuss hat beschlossen, die Norm zu überarbeiten, da sie nicht mehr den Stand der Technik darstellt.

Der Arbeitsausschuss traf sich zu seiner ersten Sitzung zu diesem Thema am 5. Februar 2015. Auf dieser Sitzung wurde das weitere Vorgehen zur Überarbeitung der Norm (Zeitplan, Projektpaten, zu erledigende Aufgaben der Experten und der Geschäftsstelle) festgelegt. Es wurde ebenfalls festgestellt, dass für eine Überarbeitung weitere Experten hinzugezogen werden müssen. Anfragen bei der DKE[1)] und NAR[2)] haben zur Meldung weiterer Experten geführt. Diese wurden zur 2. Sitzung am 12. Mai 2015 eingeladen. Auf der Sitzung wurden die wichtigsten Änderungen durchgesprochen. Eine Arbeitsgruppe (AG) sollte bis zur nächsten Sitzung am 5. Oktober einen Text erstellen, der dann zum Norm-Entwurf verabschiedet hätte werden können. Die AG hat sich bereits zweimal getroffen, konnte aber am 5. Oktober keinen Änderungsentwurf vorlegen, da die Überarbeitung tiefgreifender gehen muss als geplant. Es sind weitere Treffen der AG erforderlich. Der weitere Fortgang verzögerte sich bis September 2016, da die AG weitere technische Inhalte identifiziert hat, die überarbeitet und hierzu weitere Experten hinzugezogen werden müssen. Zudem steht der AG-Leiter nicht

[1)] Deutsche Kommission Elektrotechnik
[2)] Normenausschuss Radiologie

mehr zur Verfügung. Ein neuer Leiter wurde bestimmt und es wurde noch ein weiterer AG-Termin vereinbart. Mit der Herausgabe des Norm-Entwurfs ist nun im 1. Quartal 2017 zu rechnen.

5.3 ZU DEN NORMEN DER REIHE DIN 25488

Die beiden Normen der Reihe DIN 25488 standen im Jahr 2015 zur Überprüfung an und wurden in diesem Rahmen auf der Sitzung des Arbeitsausschusses NA 062-07-62 AA “Strahlenschutzeinrichtungen“ überprüft. Die entsprechenden Dokumente wurden zur Kommentierung verteilt. Die Beschlussfassung zum weiteren Vorgehen sollte auf der Sitzung am 8. Juli 2015 erfolgen. Da die Fertigstellung der Normenreihe DIN 25409 vorrangig behandelt wurde, musste der Tagesordnungspunkt auf die nächste Sitzung (16. Dezember 2015) verschoben werden. Auf der Sitzung wurde beschlossen, den Teil 1 zu überarbeiten, zu Teil 2 blieb die Entscheidung noch offen. Teil 1 sollte innerhalb von maximal 18 Monaten überarbeitet werden, ein Manuskript zum Norm-Entwurf lag bereits vor. DIN 25488-1 erschien als Norm-Entwurf mit Ausgabe Juli 2016. Am 7. Dezember 2016 fand die Einspruchssitzung statt. Es wurden nur noch kleine Änderungen vorgenommen. Anschließend wurde erneut im Gremium diskutiert, wie DIN 25488-2 zu überarbeiten sei. Die Mitarbeiter entschieden, dass eine Norm zu Strahlenbeständigkeit im Hinblick auf die zukünftigen Herausforderungen von immenser Wichtigkeit sei. Dies sei allerdings nicht als Teil einer Norm für spezielle Komponenten weiterzuführen, sondern allgemeiner mit einem erweiterten Anwendungsbereich zu formulieren. Als Konsequenz daraufhin wurde Teil 2 nochmals geprüft und die Anforderungen, welche für die Komponenten für Heiße Zellen gelten, wurden in den Teil 1 mit aufgenommen. Daher wird es zukünftig nur noch DIN 25488 geben, welche die beiden Teile 1 und 2 zusammenführt und ersetzt. Es ist daher ein 2. Norm-Entwurf erforderlich. Dieser ist im Februar 2017 erschienen und hat eine Einspruchsfrist von 4 Monaten. Ende der Einspruchsfrist ist der 24. Juni 2017.

5.4 ZU DEN NORMEN DER REIHE DIN 54113

Auf der Sitzung des NA 062-08-22 AA „Durchstrahlungsprüfung und Strahlenschutz“ am 2. September 2014 wurde die Überarbeitung der Normenreihe beschlossen. Die Registrierungen sollen als vorläufige Projekte erfolgen, da noch umfangreiche Arbeiten zur Gewinnung von Versuchsdaten notwendig sind. Des Weiteren wurde die Übertragung der Normenreihe in den Bereich Kerntechnik des NMP diskutiert, da dort mehr Expertise zum Thema Strahlenschutz existiert. Auf der Sitzung des NA 062-07-47 AA - ZfP in der Kerntechnik am 9. und 10. Dezember 2014 wurde als weitere Vorgehensweise festgelegt, dass die Normen vom Arbeitsausschuss NA 062-08-22 AA übernommen und in diesem Arbeitsausschuss überarbeitet werden sollen. Auf der Sitzung des NA 062-07-47 AA (18. Februar 2015) wurde das weitere Vorgehen zur Überarbeitung der Norm (Zeitplan, Projektpaten, zu erledigende Aufgaben der Experten und der Geschäftsstelle) festgelegt. Zur Überarbeitung sollten noch weitere interessierte Kreise (z. B. die DGZfP) kontaktiert werden, da die Dichtheitsprüfung für sie von Bedeutung ist und es ein entsprechendes Interesse an der Mitarbeit geben sollte. Es konnten drei Experten für die Mitarbeit gewonnen werden. Damit waren dann alle interessierten Kreise vertreten, so dass die Arbeiten aufgenommen werden konnten. Es wurde eine AG gegründet, die selbständig die Manuskripte für die anstehenden Norm-Entwürfe erarbeiten soll. Auf der Sitzung am 12. Januar 2016 wurde beschlossen, Teil 1 in der von der AG vorgeschlagenen Weise (Zusammenfassung von Teil 1 und Teil 2) zu überarbeiten, das Manuskript für den Norm-Entwurf wurde im schriftlichen Umlauf verabschiedet. Die Norm soll in maximal 18 Monaten überarbeitet werden. Der Entwurf wurde mit Ausgabe Mai 2016 veröffentlicht. Zum Norm-Entwurf gab es mehrere Einsprüche der Kommission für Arbeitsschutz, so dass eine komplette Überarbeitung zur Beantwortung dieser Kommentare nötig wurde. Als Konsequenz wurde ein 2. Norm-Entwurf verabschiedet, welcher im März 2017 erscheinen wird. Das Ende der Einspruchsfrist ist der 12. Juni 2017. Für Teil 3 konnte noch kein weiteres Vorgehen beschlossen werden. Um die in dieser Norm angegebenen Werte bestätigen zu können, wird derzeit der Versuchsaufbau für die vorgesehenen Ringversuche geplant. Die Ringversuche sollen nach Möglichkeit Anfang 2017 bei der BAM (Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung) stattfinden. Die nächste Sitzung des Ausschusses findet am 25. April 2017 bei der BAM statt.

6. GEPLANTE WEITERARBEIT

Die Arbeiten zu DIN 25409 sind mit Veröffentlichung der 9 Teile abgeschlossen. Die Arbeiten an DIN 25483 und DIN 25488 werden fortgesetzt und die entsprechende Veröffentlichung der Normen ist für 2017 vorbereitet. Die Arbeiten an DIN 54113-1 werden fortgesetzt und die Veröffentlichung der Norm ist 2017 geplant. Der Fortgang der Überarbeitung oder die Zurückziehung von DIN 54113-3 ist abhängig von den Ergebnissen der Ringversuche zur Verlässlichkeit der in DIN 54113-3 angegebenen Werte.

Thema

Fortschreibung der Untersuchung und Bewertung der tätigkeitsbezogenen Strahlenexposition in Anlagen nach AtG, standortnahen Zwischenlagern für radioaktive Abfälle und nichtkerntechnischen Einrichtungen nach StrlSchV und RöV

Subject

Update and evaluation of task-related exposure in nuclear facilities and other radiation relevant installations under the aspect of optimisation

Kennzeichen	**Beginn**	**Ende**	**Fördermittel**
3615S22301	01.11.2015	30.09.2018	EUR 431.980,-

Forschungs- / Auftragnehmer
Gesellschaft für Anlagen- und Reaktorsicherheit (GRS) gGmbH, Köln

Projektleitung	**Fachbetreuung BfS**	**verantwortlich für den Text**
Dr. T. Stahl	L. Kammerer / AG-SG 2.4	Dr. T. Stahl

1. ZIELSETZUNG

Ein erheblicher Teil der gesamten beruflichen Strahlenexposition in Deutschland entsteht während der Revisionsarbeiten in kerntechnischen Anlagen, bei Arbeiten nach endgültiger Einstellung des Leistungsbetriebs (im so genannten Nachbetrieb) und bei Arbeiten zur Stilllegung und dem Rückbau dieser Anlagen. Durch die endgültige Abschaltung von acht Leistungsreaktoren im Jahr 2011 und einem weiteren in 2015 erhält die mit den genannten Arbeiten einhergehende Strahlenexposition zusätzlich eine aktuelle Bedeutung für den radiologischen Arbeitsschutz in kerntechnischen Anlagen. Ebenso an Bedeutung gewinnt der Betrieb standortnaher Zwischenlager für abgebrannte Brennelemente sowie für die Lagerung radioaktiver Abfälle aus Stilllegung und Abbau von Leistungsreaktoren.

Eine optimierte Arbeitsplanung und -durchführung und die systematische Auswertung gemachter Erfahrungen kann zu beträchtlichen Dosiseinsparungen führen. Um entsprechende Methoden hierzu weiterentwickeln zu können, ist eine detaillierte Kenntnis der Ursachen für die Exposition des Personals unabdingbare Voraussetzung. Dazu sind u. a. gezielte Analysen der durchgeführten Tätigkeiten und der damit einhergehenden Strahlenexposition erforderlich, die hinsichtlich des erforderlichen Datenmaterials über Daten der amtlichen Personendosimetrie hinausgehen.

Im Rahmen des Vorhabens werden frühere Untersuchungen zur tätigkeitsbezogenen beruflichen Strahlenexposition in kerntechnischen Anlagen unter dem Gesichtspunkt der Optimierung fortgeschrieben. Betrachtet werden deutsche Kernkraftwerke, Anlagen der Ver- und Entsorgung sowie deutsche standortnahe Zwischenlager für abgebrannte Brennelemente und radioaktive Abfälle. Grundlage der Untersuchungen sind fortlaufend zu sammelnde Daten und Informationen zur beruflichen Strahlenexposition in den kerntechnischen Anlagen, die die Datenreihen früherer Jahre fortsetzen und ergänzen sowie nationale und internationale Erfahrungen zum beruflichen Strahlenschutz. Auf der Grundlage der Analyse der gesammelten Informationen werden Vorschläge zur Optimierung der Arbeitseinsätze und verwendeten Arbeitsmittel insbesondere bei wiederkehrenden Prüfungen und bei typischen Arbeitsschritten bei der Revision und der Stilllegung erarbeitet. Des Weiteren werden relevante Vorhabensergebnisse in den nationalen und internationalen Erfahrungsaustausch, insbesondere im Rahmen der Mitarbeit im *Information System on Occupational Exposure* (ISOE) der OECD *Nuclear Energy Agency* (NEA), eingebracht.

Darüber hinaus werden Untersuchungen zum Einsatz ausländischen Fremdpersonals in kerntechnischen Anlagen durchgeführt und Aspekte vertieft analysiert, die sich aus den unterschiedlichen nationalen Verfahrensregelungen und Strahlenschutzsystemen des Herkunftslandes des Fremdpersonals und des Landes der kerntechnischen Anlage ergeben. Weiterhin wird geprüft, ob und ggf. welche Möglichkeiten bestehen, entsprechende Erhebungen über tätigkeitsbezogene Expositionen in nichtkerntechnischen Einrichtungen durchzuführen und unter welchen Voraussetzungen solche Erhebungen durchgeführt werden können.

2. EINZELZIELSETZUNG

Die übergeordneten Zielsetzungen des Vorhabens werden durch die Bearbeitung der nachstehenden, miteinander verknüpften Einzelziele umgesetzt.

2.1 DATENERHEBUNG UND DOKUMENTATION

Für kerntechnische Anlagen in Deutschland sollen Informationen und Daten, die für die Dokumentation und Auswertung der beruflichen Strahlenexposition in den Anlagen von Bedeutung sind, insbesondere unter dem Gesichtspunkt der durchgeführten Tätigkeiten für die Jahre 2014 bis 2016 erhoben, aufbereitet und in jährlichen Berichten dokumentiert werden. Die zu erhebenden Daten stammen aus der betrieblichen Dosimetrie der Anlagen und weisen einen Detailierungsgrad auf, der höher ist als derjenige der Daten der amtlichen Strahlenschutzüberwachung.

2.2 DATENANALYSE

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

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

2.3 OPTIMIERUNGSEMPFEHLUNGEN

Auf der Basis der erhobenen Daten und Analyseergebnisse sowie nationaler und internationaler Entwicklungen sollen Vorschläge zur Optimierung der Arbeitseinsätze und der Arbeitsmittel, insbesondere bei wiederkehrenden Prüfungen und bei typischen Arbeitsschritten der Revision, im Nachbetrieb und bei der Stilllegung erarbeitet werden.

Bei der Erarbeitung der Optimierungsempfehlungen werden nationale und internationale Entwicklungen berücksichtigt. Eine regelmäßige Teilnahme am nationalen und internationalen Erfahrungsaustausch wie beispielsweise eine Teilnahme an der Working Group on Radiological Protection Aspects of Decommissioning Activities at Nuclear Power Plants (WGDECOM) von ISOE sowie diesbezügliche Aktivitäten der IAEA sind vorgesehen.

2.4 EINSATZ VON AUSLÄNDISCHEM FREMDPERSONAL

Unter Berücksichtigung der Erfahrungen aus der Sammlung und Analyse der Expositionsdaten sowie des gezielten Erfahrungsaustauschs auf nationaler und internationaler Ebene sollen Fragen im Zusammenhang mit dem Strahlenschutz ausländischen Fremdpersonals bearbeitet werden. Ziel ist es, Beiträge zu eindeutigen Vorgehensweisen beim Einsatz ausländischen Fremdpersonals in deutschen Kernkraftwerken zu leisten, die einen grenzüberschreitenden Strahlenschutz sicherstellen.

2.5 NICHT-KERNTECHNISCHE EINRICHTUNGEN

Auf der Grundlage der Erfahrungen mit der Datenerhebung und -analyse in kerntechnischen Anlagen soll im Rahmen einer gesonderten Studie geprüft werden, welche Möglichkeiten bestehen, entsprechende Erhebungen über tätigkeitsbezogene Expositionen in nicht-kerntechnischen Einrichtungen nach StrlSchV und RöV durchzuführen und unter welchen Voraussetzungen solche Erhebungen durchgeführt werden können. Der Schwerpunkt liegt dabei auf ausgewählten dosisintensiven Anwendungen der Industrie (z. B. mobile Radiographie) und der Medizin (z. B. interventionelle Radiologie).

3. METHODIK

3.1 METHODIK ZUR UNTERSUCHUNG DER BERUFLICHEN STRAHLENEXPOSITION IN KERNTECHNISCHEN ANLAGEN

Die Daten zur Fortschreibung der Zeitreihen für Kernkraftwerke werden mit Hilfe des Datenerfassungssystems des ISOE erhoben. Darüber hinaus werden für Teilbereiche die Daten aus weiteren Quellen und durch ergänzende Anfragen bei den jeweiligen Anlagen angereichert. Die bei der Auswertung und Analyse gewon-

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

3.2 METHODIK ZUR STUDIE IM BEREICH NICHT-KERNTECHNISCHER EINRICHTUNGEN

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

4. DURCHFÜHRUNG

Die Daten der kerntechnischen Anlagen eines Jahres werden jeweils im Folgejahr in den Anlagen erhoben. Für Kernkraftwerke in Betrieb und Stilllegung werden die ISOE-Datenerfassungssoftware und für die Anlagen der Ver- und Entsorgung standardisierte Datenerfassungsbögen eingesetzt, die im Rahmen früherer Datenerfassungen mit diesen Anlagen abgestimmt wurden. Darüber hinaus werden ergänzende Daten und Informationen erfasst und die jährlichen Betriebsberichte der Kernkraftwerke in Betrieb und Stilllegung ausgewertet.

5. ERGEBNISSE

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

5.1 DATENERHEBUNG UND DOKUMENTATION

Im Jahr 2016 wurde die Sammlung der Daten für das Berichtsjahr 2015 weitestgehend abgeschlossen und Maßnahmen zur Sammlung der Daten zur Strahlenexposition für 2016 vorbereitet. Die nach Abschnitt 2.1 vorgesehenen Jahresberichte mit Übersichten über die berufliche Strahlenexposition in deutschen Kernkraftwerken in Betrieb und Stilllegung für das Jahr 2014 wurden weitestgehend abgeschlossen und mit den Arbeiten zur Entwurfsfassung der Berichte für das Berichtsjahr 2015 begonnen. Zu beachten ist, dass die Berichte nach Weisung des BMUB der Öffentlichkeit nicht zur Verfügung stehen.

5.2 INTERNATIONALER ERFAHRUNGSAUSTAUSCH

Es erfolgte eine enge Mitarbeit in den Gremien und Arbeitsgruppen des ISOE. Neben der ISOE Working Group on Data Analysis (WGDA) und des ISOE Management Boards (MB) umfasst dies auch die im Frühjahr 2015 gegründete ISOE-Expertengruppe, die sich speziell mit Fragestellungen der Stilllegung von Kernkraftwerken befasst (ISOE Working Group on Radiological Protection Aspects of Decommissioning Activities at Nuclear Power Plants - WGDECOM), um sowohl deutsche Erfahrungen in den internationalen Erfahrungsaustausch als auch umgekehrt internationale Erfahrungen in den deutschen Erfahrungsaustausch einzubringen.

Vor dem Hintergrund der neuen europäischen Grundnormen 2013/59/Euratom fand im Mai 2016 ein ISOE Regulatory-Body Representatives Meeting zum Thema „Legal Rules and Regulatory Requirements regarding determination of eye lens dose and other special types of doses from external exposure“ in Brüssel statt, um sich über die derzeitige und zukünftige rechtliche Situation auszutauschen.

6. GEPLANTE WEITERARBEIT

Für das Jahr 2017 ist der Beginn der Datensammlung für das Berichtsjahr 2016 und die Fortführung der jährlichen Berichterstattung zur Strahlenexposition in kerntechnischen Anlagen, hier mit Schwerpunkt auf den Jahren 2015 und 2016 vorgesehen. Ebenso wird die Mitarbeit in den Gremien und Arbeitsgruppen des ISOE fortgesetzt.

Themenbereich 08
Nichtionisierende Strahlung

Subject area 08
Non-ionising radiation

Thema

Synergetische Wirkung hochfrequenter elektromagnetischer Felder in Kombination mit kanzerogenen Substanzen - Kokanzerogenität oder Tumorpromotion?

Subject

Synergetic effect of radiofrequency electromagnetic fields in combination with carcinogenic substances-cocarcinogenity or tumor promotion?

Kennzeichen	Beginn	Ende	Fördermittel
3615S82431	01.01.2016	31.03.2017	EUR 164.045,-

Forschungs- / Auftragnehmer
Jacobs University Bremen gGmbH, Bremen

Projektleitung	Fachbetreuung BfS	verantwortlich für den Text
Prof. Dr. Alexander Lerchl	PD Dr. B. Pophof / AG-SG 1.4	Dr. Melanie Klose

1. ZIELSETZUNG

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

2. EINZELZIELSETZUNG

Ziel dieser Studie ist es zu klären, ob das Kanzerogen Ethylnitrosoharnstoff (ENU) unter verschiedenen Expositionsbedingungen (Scheinexposition, 0,04 und 0,4 W/kg) verstärkt in utero aufgenommen wird und somit von einem kokarzinogenen Effekt hochfrequenter elektromagnetischer Felder (UMTS) auszugehen ist.

3. METHODIK

3.1 TIERMODELL

Die Nachkommen von weiblichen C57BL/6N und männlichen C3H/HeN Mäusen wurden in utero ab dem sechsten Tag der Trächtigkeit verschiedenen Expositionsstärken (Scheinexposition, 0,04 oder 0,4 W/kg) ausgesetzt. Allen trächtigen Muttertieren (n=45) wurde am 14. Tag der Trächtigkeit einmalig ENU (40 mg/kg) in die Bauchhöhle injiziert und aus allen 3 Expositionsstärken jeweils 5 Muttertiere nach 24, 36 und 72 Stunden getötet und die Föten entnommen. Die Föten wurden fixiert und bei -80°C aufbewahrt, bevor Gefrierschnitte angefertigt wurden und die durch ENU verursachten Alkylierungen der DNA in Leber, Lunge und Gehirn mittels Fluoreszenzmarkierung quantitativ ausgewertet wurden.

3.2 EXPOSITION

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

4. DURCHFÜHRUNG

4.1 EXPOSITIONSANLAGEN

Die verwendeten Expositionsanlagen kamen bereits in vorherigen Projekten im Auftrag des BfS (FM 8828, 3611S30017) zum Einsatz. Vor Expositionsbeginn wurden die Anlagen sorgfältig überprüft, technisch überarbeitet und Feldstärken und Temperaturen im Leerbetrieb gemessen. Des Weiteren erfolgte eine neue Be-

rechnung der Ganzkörper-SAR-Werte für eine trächtige Maus pro Käfig. Während der Exposition wurden Feldstärken und Innentemperaturen permanent messtechnisch überwacht und aufgezeichnet. Diese Arbeiten wurden von der Bergischen Universität Wuppertal (Lehrstuhl für Theoretische Elektrotechnik, Prof. Dr. M. Clemens) durchgeführt und sind detailliert im Abschlussbericht nachzulesen (http://nbn-resolving.de/urn:nbn:de:0221-2015031812720).

4.1.1 Exposition

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

4.2 IMMUNOHISTOCHEMIE

24, 36 bzw. 72 Stunden nach erfolgter ENU-Injektion wurden die Muttertiere eingeschläfert und die Föten entnommen. Die Föten wurden gewogen und der Körper und der Kopf getrennt voneinander in Paraformol fixiert und nach 24 Stunden in eine Sucrose-Lösung überführt. Sobald Körper und Kopf in der Sucrose-Lösung abgesunken waren, wurden sie bei -80 °C eingefroren. Mittels Gefriermikrotom wurden 3 µm dünne Schnitte der Körper und Köpfe angefertigt und fixiert. Nach dem Trocknen wurden sie erneut bis zur weiteren Behandlung bei -20 °C eingefroren. Nach der Etablierung der Fluoreszenz-Färbemethode im Labor wurden die Gewebeschnitte mit 2 Fluoreszenzfarbstoffen markiert. Zunächst wurden die Proben mit dem Fluoreszenzfarbstoff Cy3 behandelt, um die durch das ENU entstehenden Alkylierungsprodukte O^6-Ethyl-Deoxyguanin zu markieren und anschließend mit dem Fluoreszenzfarbstoff DAPI die gesamte DNA im Zellkern gefärbt. Als Negativkontrolle wurden Schnitte ohne den ersten Antikörper mitgeführt. Am Fluoreszenzmikroskop wurden Fotos von der Leber, der Lunge und dem Gehirn gemacht und anhand der Fotos die Fluoreszenzintensität der beiden Farbstoffe an jeweils 10 zufällig ausgewählten Zellen gemessen. Der Mittelwert dieser 10 Zellen geht in die weitere Analyse ein, um eine quantitative Aussage über die durch ENU verursachten Alkylierungen im Verhältnis zur gesamten DNA treffen zu können. Zur Auswertung der Fluoreszenzintensität wird die Open Source Software ImageJ genutzt.

5. ERGEBNISSE

5.1 WASSER-/FUTTERVERBRAUCH UND GEWICHT TRÄCHTIGER MÄUSE

Nach dem Verbringen der trächtigen Mäuse in die Anlagen zur Exposition wurden täglich der Wasser- und Futterverbrauch gemessen sowie Thermofotos zur Körpertemperaturbestimmung angefertigt. Außerdem wurde das Gewicht der trächtigen Mäuse am Tag der Verbringung in die Anlagen, einen Tag vor und 24, 36 oder 72 Stunden nach der ENU-Injektion (18.08.2016) bestimmt (siehe Tabelle 1). Beim Wasser- und Futterverbrauch zeigten sich keine Unterschiede zwischen den Anlagen, allerdings war in allen 3 Anlagen am Tag nach der ENU-Injektion ein deutlicher Rückgang im Wasser- und Futterverbrauch zu beobachten. Dieser normalisierte sich jedoch wieder am darauffolgenden Tag.

Tabelle 1: Gewichte der trächtigen Muttertiere während der Exposition (Mittelwert ± Standardabweichung)

	Körpergewicht (g)			
	11.08.16	17.08.16	19.08.16	21.08.16
Anlage 1	24,6 (± 1,5)	29,8 (± 4,2)	33,2 (± 5,8)	34,9 (± 10,3)
Anlage 2	24,4 (± 1,4)	29,1 (± 3,9)	32,2 (± 5,1)	33,3 (± 6,9)
Anlage 3	24,9 (± 2,6)	30,6 (± 5,6)	33,2 (± 8,1)	35,6 (± 6,4)

5.2 FÖTENANZAHL UND FÖTENGEWICHT

Von den 15 in Anlage 1 eingesetzten weiblichen C57BL/6N-Mäusen waren 2 Tiere nicht trächtig, die übrigen Weibchen hatten im Schnitt 8,2 Föten mit einem Durchschnittsgewicht von 0,6 g (siehe Tabelle 2). In den Anlagen 2 und 3 war jeweils eins von 15 Weibchen nicht trächtig. In Anlage 3 konnten die meisten und gleichzeitig auch schwersten Föten verzeichnet werden, im Schnitt 9,3 Föten pro Muttertier mit einem mittleren Ge-

wicht von 0,8 g (siehe Tabelle 2). In der Anlage 2 wurde die geringste Anzahl Föten von 7,4 Föten pro Weibchen beobachtet, mit einem Durchschnittsgewicht von 0,6 g.

Tabelle 2: Mittlere Anzahl Föten/Mutter und mittleres Fötengewicht in den drei Anlagen mit verschiedenen Expositionsstärken (Mittelwert ± Standardabweichung)

Gesamtanzahl Föten	Anlage 1 (n=115)	Anlage 2 (n=81)	Anlage 3 (n=84)
Mittlere Anzahl Föten	8,21 (± 3,89)	7,36 (± 2,94)	9,30 (± 1,42)
Mittleres Fötengewicht (g)	0,59 (± 0,22)	0.63 (± 0,31)	0,81 (± 0,32)

6. GEPLANTE WEITERARBEIT

Die bereits begonnenen Laborarbeiten werden fortgeführt und die restlichen Gewebeproben immunohistochemisch gefärbt, die Fluoreszenzintensitäten der beiden Farbstoffe (Cy3 und DAPI) gemessen und eine statistische Analyse der Ergebnisse durchgeführt. Diese werden dann dem Kooperationspartnern an der Bergischen Universität Wuppertal zugesandt, um den Verblindungscode zu erhalten. Die entblindeten Ergebnisse werden ausführlich diskutiert und im Abschlussbericht zusammengefasst.

Thema

Einfluss hochfrequenter elektromagnetischer Felder auf die Gehirnaktivität, Schlaf und kognitive Leistungsfähigkeit älterer Männer

Subject

Effect of high frequency electromagnetic fields on brain activity, sleep and cognitive performance in elderly men

Kennzeichen	**Beginn**	**Ende**	**Fördermittel**
3616S82430	01.05.2016	30.04.2018	EUR 386.599,-

Forschungs- / Auftragnehmer
Kompetenzzentrum Schlafmedizin, Charité - Universitätsmedizin, Campus Benjamin Franklin, Berlin

Projektleitung	**Fachbetreuung BfS**	**verantwortlich für den Text**
Prof. Dr. H. Danker-Hopfe	PD Dr. B. Pophof / AG-SG 1.4	Prof. Dr. H. Danker-Hopfe, Dr. H. Dorn

1. ZIELSETZUNG

Ziel des geplanten Forschungsvorhabens ist es, zu prüfen, ob hochfrequente elektromagnetische Felder, die von Mobilfunk-Endgeräten ausgehen, die Gehirnaktivität im Wachzustand und im Schlaf sowie die kognitive Leistungsfähigkeit von Männern in fortgeschrittenem Erwachsenenalter (ab 60 Jahre) beeinträchtigen können. Bisher publizierte Effekte traten häufiger bei niedrigeren Frequenzen und höheren SAR-Werten auf, deswegen soll mit GSM (900 MHz, 2W/kg) und TETRA (400 MHz, 6W/kg) exponiert werden.

Es soll geklärt werden, welche physiologischen Änderungen bei zulässigen Expositionen auftreten, welcher Wirkungsmechanismus verantwortlich ist und welche individuellen Ausgangssituationen eine Empfindlichkeit fördern.

2. EINZELZIELSETZUNG

Zu untersuchen ist die nächtliche Schlafqualität sowie tagsüber die mittels Elektroenzephalographie (EEG) gemessene Hirnaktivität und die kognitive Leistungsfähigkeit unter einer mehrstündigen Exposition mit simulierten Signalen der Endgeräte nach dem GSM-und dem TETRA-Standard. Das Schlaf-EEG soll als Modell für eine gut untersuchte und durch die Umgebung wenig beeinflusste Gehirnaktivität dienen. Um den Einfluss des Gebrauchs von Telefonen bzw. Funkgeräten kurz vor dem Schlafengehen auch zu erfassen, beginnt die Exposition 30 min vor dem Schlaf. Tagsüber werden während einer mehrstündigen Exposition die kognitive Leistungsfähigkeit (Reaktionszeiten, Gedächtnis, Wachsamkeit) und das Wach-EEG untersucht. Die Aufarbeitung der Literatur zum Thema, die Entwicklung der Expositionsanlage, die Einrichtung von Messplätzen sowie das Einholen eines Ethikvotums erfolgte in einem Pilotprojekt zu diesem Forschungsvorhaben.

2.1 DOSIMETRISCHE ANALYSE UND TECHNISCHE BETREUUNG DER EXPOSITIONSANLAGE

Die im Pilotprojekt von der Firma Seibersdorf Labor GmbH entwickelte Expositionsanlage, die in diesem Projekt zum Einsatz kam, wurde dosimetrisch charakterisiert. Dazu zählen:

- eine Basisdosimetrie und Unsicherheitsanalyse für die Expositionsanlage
- eine hirnregion-spezifische dosimetrische Analyse (inkl. thermischer Berechnungen)
- eine messtechnische Erfassung der Hintergrundfelder am Probandenplatz

Die Expositionsanlage wird bis zum Ende der Studiendauer technisch von der Seibersdorf Labor GmbH betreut und gewartet.

2.2 PROBANDENREKRUTIERUNG UND DATENERHEBUNG

Es sollten 20 Männer im Alter von 60 bis 80 Jahren in die Studie eingeschlossen werden. Um an der Studie teilnehmen zu können, musste ein Proband Rechtshänder und Nichtraucher sein, er durfte keine Medikamente einnehmen, die auf das zentrale Nervensystem wirken, er durfte subjektiv keine Schlafstörung haben sowie keine psychische Erkrankung aktuell und in der Vorgeschichte.

3. METHODIK

3.1 EXPOSITION UND DOSIMETRIE

Für die effiziente doppelt verblindete und randomisierte Befeldung der Probanden wurde eine Doppel-Expositionsanlage entwickelt. Diese Anlage erlaubt die parallele Befeldung des Probandenkollektivs an zwei unabhängigen Testplätzen, d. h., die gesamte Hardware der Anlage ist zweifach ausgeführt. Auch die zugehörige Steuer- und Monitoringsoftware ist zweifach (auf zwei unterschiedlichen Laptop Computern) vorhanden, wobei, zur Sicherstellung der Konsistenz des Befeldungsschemas, beide Softwaremodule aber auf einen zentralen Datensatz für die Zulosung und Speicherung der Expositionsdaten zugreifen. Die Befeldung der Probanden erfolgt mittels einer am Kopf der Probanden, im Bereich des Ohres, fixierten tragbaren Dual-Band-Antenne, so dass die Expositionsbedingungen GSM und TETRA doppelblind appliziert werden können.

3.2 REKRUTIERUNG UND UNTERSUCHUNG DER PROBANDEN

Nach erfolgreichem Screening und Einschluss in die Studie durchlaufen alle Probanden drei Untersuchungsbedingungen (GSM 900 MHz, 2W/kg; TETRA 6W/kg; Sham) jeweils dreimal in zufälliger Reihenfolge (randomisiert). Für die Exposition wird eine speziell für dieses Projekt entwickelte, am Kopf zu tragende Antenne verwendet. Nach einer Gewöhnungsnacht und einem Gewöhnungstag verbringt jede Versuchsperson neun Nächte im Schlaflabor und absolviert an neun Vormittagen eine Reihe unterschiedlicher Konzentrations- und Gedächtnistests. Dabei wird gleichzeitig ein Elektroenzephalogramm (EEG) abgeleitet. Der Abstand zwischen den Testungen beträgt ca. eine Woche. Welche Expositionsbedingung an welchem Testtag bzw. in welcher Testnacht vorliegt, weiß weder die Versuchsperson noch die Person, welche die Tests bzw. die Nachtableitung durchführt, d. h. die Untersuchung erfolgt doppelblind. Alle Probanden durchlaufen alle Expositionsbedingungen (cross-over Design).

4. DURCHFÜHRUNG

4.1 PROBANDEN

Die 20 gesunden Probanden müssen zwischen 60 und 80 Jahren alt sein. Die Gewöhnungsnacht, die gleichzeitig auch als Screeningnacht gilt, durfte keinen Anhalt für das Vorliegen einer schlafbezogene Atmungs- oder Bewegungsstörung ergeben. Die Person musste einen geregelten Schlaf-Wach-Rhythmus ohne Schichtdienst (bei denjenigen, die noch berufstätig waren) haben.

4.2 ABLAUF DER STUDIE

Während des Nachtschlafes werden die Gehirntätigkeit, Augenbewegungen, Muskelaktivität und Herzaktivität sowie in der Eingewöhnungsnacht auch die Atmung und Beinbewegungen erfasst. Daraus lassen sich Informationen zur Schlafstruktur, wie Anteile an Tiefschlaf, leichtem Schlaf und Traumschlaf sowie Zeit bis zum Einschlafen und Wachzeit in der Nacht ableiten. Zusätzlich wird das Auftreten besonderer Muster im Schlaf (z. B. Schlafspindeln) erfasst sowie die Zusammensetzung des Schlaf-EEGs nach verschiedenen Frequenzen.

In den Tagesuntersuchungen, die am Vormittag stattfinden, werden Tests zu verschiedenen Komponenten von Aufmerksamkeit und zum Arbeitsgedächtnis durchgeführt. Während der gesamten Untersuchungszeit wird die Gehirnaktivität mit einem EEG aufgezeichnet. Es werden die Testleistungen und die Gehirnaktivität bei der Durchführung bestimmter Aufgaben und im Ruhezustand ausgewertet.

Um eine gegenseitige Beeinflussung der EEG-Aufzeichnung und der Hochfrequenzexposition zu vermeiden, wurden die EEG-Geräte mit Filtern und Abschirmungen ausgestattet und es wurden spezielle Messfühler zur Signalaufzeichnung entwickelt.

5. ERGEBNISSE

5.1 ERGEBNISSE DER DOSIMETRISCHEN CHARAKTERISIERUNG DER EXPOSITIONSANLAGE

Für die vorhandene Expositionsanlage wurden detaillierte und umfangreiche dosimetrische Analysen auf Basis numerischer Berechnungen mit einem männlichen anatomischen Kopfmodell (Duke aus der Virtual Population der ETH Zürich) durchgeführt. Als potenzielle Einflussgrößen auf die resultierende Exposition wurden anatomische Variationen (Verwendung zweier deutlich unterschiedlicher Kopfmodelle, Duke und Luis aus der

Virtual Population der ETH Zürich), Unsicherheiten bezüglich der dielektrischen Gewebeeigenschaften, Hautfeuchteschwankungen im Bereich der Antenne, Variationen der Antennenposition am Kopf, Einfluss der EEG-Elektroden sowie Schwankungen des Antenneneingangsreflexionsfaktors betrachtet. Die ermittelte resultierende Gesamtunsicherheit der Exposition (SAR 10 g im Gehirn) beträgt < ± 35 % für TETRA-Exposition und < ± 36 % für GSM900-Exposition. Eine Gehirnregion-spezifische Analyse der SAR-Verteilung im Kopf wurde durchgeführt.

5.2 REKRUTIERUNG UND UNTERSUCHUNG DER PROBANDEN

Für die Studie haben sich insgesamt 218 Interessenten gemeldet. Davon haben 76 Männer die Fragebögen ausgefüllt, die notwendig sind, um zu überprüfen, ob sie für eine Studienteilnahme geeignet sind. Die restlichen 142 hatten nach einem ausführlichen informierenden Telefongespräch entweder kein Interesse mehr oder sie erfüllten Kriterien, die mit einer Studienteilnahme nicht vereinbar waren. Nach Durchsicht der Fragebögen wurden 46 Männer zur medizinischen Voruntersuchung eingeladen, 44 davon haben bereits stattgefunden. Ein Proband hatte sich vor der medizinischen Untersuchung gegen eine Teilnahme entschieden, 7 erfüllten in der medizinischen Untersuchung Ausschlusskriterien. 36 Probanden sind zur Gewöhnungsnacht aufgenommen worden. Von Ihnen mussten 20 wegen polysomnographisch definierter Ausschlusskriterien (vorwiegend auf Grund schlagbezogener Atmungsstörungen) ausgeschlossen werden, so dass 16 Personen in die Studie eingeschlossen werden konnten. 8 Probanden haben die Studie bereits abgeschlossen, 8 weitere sind in der Phase der Datenerhebung. Bisher hat kein Proband die Studie vorzeitig beendet.

6. GEPLANTE WEITERARBEIT

Es ist geplant, die Datenerhebung im 3. Quartal 2017 abzuschließen. Die erhobenen Daten werden einer Qualitätskontrolle unterzogen und unter Wahrung der Verblindung vorausgewertet.

Thema

Nebenwirkungen bei Anwendungen optischer Strahlung in der Kosmetik - repräsentative Umfrage

Subject

Side effects of using optical radiation in cosmetics - representative survey

Kennzeichen	**Beginn**	**Ende**	**Fördermittel**
3616S82432	20.05.2016	28.02.2017	EUR 182.070,-

Forschungs- / Auftragnehmer
aproxima Gesellschaft für Markt- und Sozialforschung Weimar mbH, Weimar

Projektleitung	**Fachbetreuung BfS**	**verantwortlich für den Text**
S. Götte	Dr. M. Asmuß / AG-SG 1.5	S. Götte

1. ZIELSETZUNG

Leistungsstarke Quellen optischer Strahlung wie Laser, intensive gepulste Lichtquellen („Blitzlampen“, IPL) und Leuchtdioden (LED) werden zunehmend zu kosmetischen Zwecken wie der dauerhaften Haarentfernung, der Entfernung von Tätowierungen oder kleinen Blutgefäßen sowie zur Faltenglättung verwendet. Anwender sind sowohl Ärzte als auch Personen ohne spezielle Fachkenntnisse bis hin zu Laien in der Heimanwendung. Auftretende Komplikationen und Nebenwirkungen werden nicht systematisch erfasst. Ziel der Untersuchung ist es, die Informations- und Datenlage zu diesem Thema zu verbessern und insbesondere Aussagen über folgende Fragen treffen zu können:

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

2. EINZELZIELSETZUNG

Zur Beantwortung dieser Fragen wird in folgenden Schritten vorgegangen:

2.1 AUFARBEITUNG DES AKTUELLEN STANDES VON WISSENSCHAFT UND TECHNIK

Für einen Überblick über die aktuelle Datenlage und als Informationsbasis für die Erstellung der Fragebögen für die Punkte 2) und 3) erfolgt zunächst eine umfassende Quellenrecherche. Sie betrifft zum einen den aktuellen wissenschaftlichen Stand zum Thema (Wirkungsweisen, Vorsichtsmaßnahmen, Studien zu Nebenwirkungen). Zum anderen soll ein erster Überblick über den Anbietermarkt von Geräten zur Heimanwendung geschaffen werden.

2.2 DURCHFÜHRUNG EINER REPRÄSENTATIVEN NUTZER/-INNENBEFRAGUNG

Mittels einer Bevölkerungsbefragung sollen repräsentative Anteile von Nutzer/-innen von kosmetischen Anwendungen mit optischer Strahlung ermittelt und zu ihren Anwendungen befragt werden. Ziel ist die Befragung von mindestens N=150 Personen, die bei ihrer Anwendung dauerhafte Nebenwirkungen erfahren haben.

2.3 DURCHFÜHRUNG EINER BEFRAGUNG PROFESSIONELLER ANWENDER

Die Seite der professionellen Anwender soll ebenfalls mittels einer Befragung beleuchtet werden. Da die Informationen ergänzenden Charakter haben sollen, wird eine relativ niedrige Fallzahl von N=60 angestrebt.

2.4 AUSWERTUNG DER BEFRAGUNGSERGEBNISSE UND ABSCHLUSSBERICHT

Die Ergebnisse beider Befragungen werden ausgewertet und miteinander in Beziehung gesetzt, um die Forschungsfragen umfassend beantworten zu können.

3. METHODIK

3.1 AUFARBEITUNG DES AKTUELLEN STANDES VON WISSENSCHAFT UND TECHNIK

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

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

Für den Marktüberblick zu Heimanwendergeräten werden Onlinekaufportale (z. B. Amazon, Ebay, Alibaba) sowie Bedienungsanleitungen einschlägiger Geräte konsultiert.

3.2 BEFRAGUNG VON NUTZERINNEN UND NUTZERN

Beide Befragungen wurden als Telefonbefragungen konzipiert. Die Befragung der Nutzerinnen und Nutzer basiert auf einer repräsentativen Bevölkerungsstichprobe. Dies ist notwendig, um die Nutzungsinzidenzen in der Bevölkerung (Forschungsfrage 1) sauber schätzen zu können. Die Bevölkerungsstichprobe wird über eine nach Region und Urbanitätsgrad geschichtete systematische Zufallsauswahl aus der ADM[1)]-Auswahlgrundlage („ADM-Stichprobe“) erstellt. Auf Basis der Haushalte erfolgt die Zufallsauswahl mittels der Last-Birthday-Methode.

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

Zielgröße bei der Befragung der Nutzerinnen und Nutzer sind mindestens N=150 Personen mit dauerhaften Nebenwirkungen durch eine Anwendung optischer Strahlung in der Kosmetik. Dafür müssen auf Basis bisher bekannter Inzidenzen voraussichtlich bis zu 30 000 Personen in einem Screeninginterview befragt werden.

3.3 BEFRAGUNG PROFESSIONELLER ANWENDER

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

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

[1)] Arbeitskreis Deutscher Markt- und Sozialforschungsinstitute

4. DURCHFÜHRUNG

4.1 AUFARBEITUNG DES WISSENSCHAFTLICHEN KENNTNISSTANDES

Die Aufarbeitung des wissenschaftlichen Kenntnisstandes erfolgte in einem Zwischenbericht. Dazu wurden bisher existierende Studien zu Nebenwirkungen bei der Anwendung optischer Strahlung in der Kosmetik recherchiert und für die Fragestellungen dieser Studie aufgearbeitet. Zum Teil daraus abgeleitet und mit Hilfe bisher existierender Verordnungen und Qualitätskriterien wurde die Good Practice bei der Nutzung von Lasern und IPL in der Kosmetik beschrieben. Zusätzlich erfolgte ein erster Überblick über die Anbieter, Geräte und Nutzer/-innen.

4.2 ERSTELLUNG UND PRETEST DER FRAGEBÖGEN

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

4.3 DURCHFÜHRUNG DER INTERVIEWS

Seit September 2016 finden die telefonischen Interviews statt. Sie werden im Telefonstudio von aproxima unter professioneller methodischer Betreuung und Kontrolle durchgeführt. Die Interviews der professionellen Anwender konnten in 2016 abgeschlossen werden, die der Nutzerinnen und Nutzer dauern über den Jahreswechsel hin an.

5. ERGEBNISSE

Zum Ende des Jahres 2016 existieren noch keine eigenen Forschungsergebnisse. Die Auswertung beider Befragungen erfolgt 2017.

6. GEPLANTE WEITERARBEIT

Im Januar 2017 wird die Befragung der Nutzerinnen und Nutzer beendet. Die Ergebnisse beider Befragungen werden in einer öffentlichen Vortragsveranstaltung im Rahmen des SG-Seminars in Neuherberg vorgestellt. Anschließend erfolgt die Erstellung des Endberichtes.

2016 begonnene Forschungsvorhaben, zu denen noch keine Ergebnisse vorliegen

Research projects initiated in 2016 of which results are not available yet

THEMENBEREICH 01 / NATÜRLICHE STRAHLENEXPOSITION

Thema

Ermittlung der Unsicherheiten der Strahlenexpositionsabschätzung in der Wismut-Kohorte - Teil I

Subject

Determination of uncertainties in radiation exposure assessment in the Wismut Cohort - part I

Kennzeichen	**Beginn**	**Ende**	**Fördermittel**
3616S12223	01.11.2016	30.06.2017	EUR 85.318,-

Forschungs- / Auftragnehmer
Ludwig-Maximilians-Universität München, Institut für Statistik, München

Projektleitung	**Fachbetreuung BfS**
Prof. Dr. H. Küchenhoff	Dr. N. Fenske / AG-SG 1.3

ZIELSETZUNG / KURZBESCHREIBUNG

Mit der Wismut-Studie führt das BfS die weltweit größte Uranbergarbeiter-Kohortenstudie durch. Sie trägt zur Bewertung strahlenbedingter Gesundheitsrisiken bei. Zu Studienbeginn wurden für alle Uranbergarbeiter in der Studie individuelle Strahlenexpositionen abgeschätzt. Diese Schätzungen basieren auf Messwerten, lagerstättenspezifischen und produktionstechnischen Kenngrößen sowie Bewertungen von Experten. Da die einzelnen Messwerte und Parameter, die in die Expositionsschätzung eingehen, mit Unsicherheit behaftet sind, unterliegen auch die resultierenden individuellen Strahlenexpositionen einem Fehler.

Das Ziel des Vorhabens ist es, Quellen für Unsicherheiten in den Expositionsabschätzungen für Radon und seine Folgeprodukte zu identifizieren und hinsichtlich ihrer möglichen Bedeutsamkeit einzuschätzen. Dazu werden zunächst die Expositionsabschätzungen in der Wismut-Kohortenstudie nachvollzogen und allgemein verständlich dokumentiert. Hierfür werden die Expositionsberechnungen für die verschiedenen Arbeitsbereiche der Bergarbeiter (Grubenbetriebe, Tagebaue und Aufbereitungs-Anlagen), Regionen (Sachsen, Thüringen), Bergbauobjekte, Kalenderjahre und Tätigkeiten beschrieben. Zudem wird eine einheitliche, allgemein verständliche Notation erarbeitet. Dieses Vorgehen ermöglicht die Auflistung der für die Expositionsschätzung relevanten Parameter und somit der potenziellen Unsicherheitsquellen. Darüber hinaus wird die Relevanz der identifizierten Unsicherheitsquellen bewertet. Diese hängt neben der Häufigkeit des Auftretens des Fehlers von der radiologischen und der epidemiologischen Bedeutung ab.

Die systematische Analyse der Unsicherheiten bei der Expositionsschätzung bildet den Ausgangspunkt für eine zukünftige Berücksichtigung der Unsicherheiten bei der statistischen Modellierung strahlenbedingter Gesundheitsrisiken.

Thema

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

Subject

Qualification of the air-tightness measurements of buildings by deriving a test value for the exceedance of a reference value for the average indoor radon concentration

Kennzeichen	**Beginn**	**Ende**	**Fördermittel**
3616S12241	01.05.2016	30.04.2018	EUR 177.857,-

Forschungs- / Auftragnehmer
Institution, Ort IAF-Radioökologie GmbH, Radeberg

Projektleitung	**Fachbetreuung BfS**	
Dr. H. Schulz	Dr. W. Meyer / SW 1.1	

ZIELSETZUNG / KURZBESCHREIBUNG

Als Ziel des Vorhabens wird die Entwicklung einer praxistauglichen Methode zur Prüfung der Radondichtheit neu errichteter Gebäude und die Ableitung von Prüfwerten, die die Einhaltung des Referenzwertes für die Radonkonzentration in Innenräumen gewährleisten, benannt. Als Grundlage für die Entwicklung des Prüfverfahrens wurde im Rahmen einer Literaturstudie der aktuelle Stand von Wissenschaft und Technik zu Messverfahren und Berechnungsmethoden recherchiert sowie die für die Bestimmung der Radonkonzentration in Gebäuden relevanten Parameter ermittelt. Dabei wurde die in existierenden einschlägigen Normen festgelegten, radonrelevanten Parameter und Berechnungsverfahren berücksichtigt. Im Fortgang der Untersuchungen wurden in 8 unterschiedlichen Häusern bzw. Teilen von Gebäuden die blower door Technik angewendet, um bei unterschiedlichen Unterdrücken auszuloten, von welchen Radonkonzentrationen im Abstrom auszugehen ist, um belastbare Kriterien für die Radondichtheit ableiten zu können. Der im Vorhaben ins Auge gefasste Test soll nur eine Entscheidung „radondicht“ oder „nicht radondicht“ liefern. Eine Ursachenermittlung über die Radonundichtheit ist nicht Gegenstand des Tests. Die Bewertung „radondicht“ impliziert, dass die daraus resultierenden Radonkonzentrationen als Langzeitmittelwert 300 Bq/m^3 für Aufenthaltsräume nicht überschreiten sollen. Weiterhin soll abgeschätzt werden, inwieweit diese Bewertung auch für niedrigere Schwellen anwendbar ist. Wichtig ist zu konstatieren, dass die Bestimmung der Luftdichtheit eines Hauses nicht einfach um die Komponente Radonkonzentrationsentwicklung im Haus und der damit erhofften Prognosemöglichkeiten erweitert werden kann. Ein eigenständiges Messprotokoll zur Radondichtheitsmessung mittels Unterdruck ist hierzu erforderlich und wird im Rahmen des Vorhabens erstellt. Die zu erarbeitende Prüfmethode ist nicht im Rahmen der Bauüberwachung anzuwenden sondern soll für die Bauabnahme herangezogen werden. In diesem Zustand ist das zu bewertende Haus fertiggestellt, aber noch nicht bezogen und wird auch noch nicht genutzt.

Thema

Ermittlung und Bewertung der Strahlenexposition an Arbeitsplätzen mit natürlich vorkommenden radioaktiven Materialien (NORM)

Subject

Investigation and assessment of radiation exposures at workplaces with naturally occurring radioactive materials (NORM)

Kennzeichen	**Beginn**	**Ende**	**Fördermittel**
3616S12343	01.10.2016	30.09.2017	EUR 74.852,-

Forschungs- / Auftragnehmer
Nuclear Control & Consult GmbH, Braunschweig

Projektleitung	**Fachbetreuung BfS**	
Dr. R. Gellermann, Chr. Ahrens	Dr. Th. Beck / SW1.3	

ZIELSETZUNG / KURZBESCHREIBUNG

Die Umsetzung der Richtlinie 2013/59/Euratom des Rates vom 5. Dezember 2013 erfordert es, berufliche Strahlenexpositionen aus industriellen Tätigkeiten mit natürlich vorkommenden radioaktiven Materialien (NORM) in einem Maße zu berücksichtigen, wie es durch die geltende Strahlenschutzverordnung (StrlSchV) in der Bundesrepublik Deutschland zum Teil noch nicht umgesetzt war. Ziel der Arbeit ist es, für ausgewählte Arbeitsfelder die zu erwartenden Strahlenexpositionen an Arbeitsplätzen zu untersuchen und die Anzahl der Arbeitsplätze in Deutschland zu ermitteln, bei denen Strahlenschutz-relevante Expositionen auftreten können.

Folgende Arbeitsfelder sollen untersucht werden:

- Aufbereitung von Niob/Tantalerzen einschließlich der Gewinnung, Verwendung und Verarbeitung von Polychlorerzen
- Betrieb und Wartung von Anlagen der tiefen Geothermie
- Verwendung von Thorium und Uran in der natürlichen Isotopenzusammensetzung einschließlich der daraus jeweils hervorgehenden Tochternuklide (sofern vorhanden) zu chemisch-analytischen oder zu chemisch präparativen Zwecken
- Handhabung, insbesondere Montage, Demontage, Bearbeiten und Untersuchen von Produkten aus thorierten Legierungen
- Wartung von Klinkeröfen in der Zementproduktion und Heizkesseln in Kohlekraftwerken
- Verarbeitung von zirkonhaltigen Stoffen bei der Herstellung feuerfester Werkstoffe
- Handhabung von Schlämmen und Ablagerungen, die bei der Gewinnung, Verarbeitung und Aufbereitung von Erdöl und Erdgas, in der tiefen Geothermie und bei Reinigungstätigkeiten von Anlagen und Einrichtungen anfallen
- Lagerung überwachungsbedürftiger Rückstände sowie Entfernung von radioaktiven Verunreinigungen von Grundstücken.

Für die genannten Arbeitsfelder sind Arbeitsplätze auf dem Gebiet der Bundesrepublik zu identifizieren und entsprechend dem Profil der durchgeführten Arbeiten zu klassifizieren.

THEMENBEREICH 02 / STRAHLENSCHUTZTECHNIK

Thema

Entwicklung eines kombinierten aero-gammaspektrometrischen Mess- und Beprobungssystems

Subject

Design and development of a combined airborne gammaspectrometric measurement and air-sampling system

Kennzeichen	**Beginn**	**Ende**	**Fördermittel**
3616S22540	05.09.2016	31.05.2018	EUR 359.999,-

Forschungs- / Auftragnehmer
Brenk Systemplanung GmbH & PLEJADES GmbH, Aachen

Projektleitung	**Fachbetreuung BfS**	
Dr. S. Thierfeld	A. Helbig / SW 1.4	

ZIELSETZUNG / KURZBESCHREIBUNG

Das Bundesamt für Strahlenschutz verfügt seit Mitte der 1990er Jahre über mehrere aero-gammaspektrometrische Messsysteme, die in Hubschrauber der Bundespolizei vom Typ EC 135 eingebaut werden können, um nach einem kerntechnischen oder radiologischen Ereignis die resultierende Oberflächenkontamination, also die flächenspezifische Aktivität, schnell und großräumig zu erfassen. Die mit diesen Hubschrauber-Messsystemen aufgenommenen Daten enthalten dabei jedoch nicht nur Strahlungsbeiträge von am Boden abgelagerten radioaktiven Stoffen, sondern auch von solchen aus dem Luftvolumen. Bisher können die aus dem Luftvolumen resultierenden Strahlungsbeiträge - hervorgerufen durch natürliche Strahlung wie Radonfolgeprodukte bzw. durch die radioaktive Wolke nach einem kerntechnischen Vorfall - quantitativ und qualitativ noch nicht von den eigentlich zu betrachtenden Messeffekten unterschieden werden.

Dafür sollen im Rahmen dieses Forschungsvorhabens sowohl Verfahren für eine direkte Probenentnahme aus dem Luftvolumen während des Fluges entwickelt als auch neue Strategien zur Unterscheidung zwischen Boden- und Luftkontamination etabliert werden, um Strahlungsbeiträge aus dem Luftvolumen sicher vom eigentlich zu betrachteten Messeffekt trennen zu können. Es müssen die vorhandenen Messsysteme um- bzw. nachgerüstet werden, damit sie bei hohen Strahlungsbeiträgen aus dem Luftvolumen effektiv eingesetzt werden können. Dies ist vor allem auch aus Gründen des Strahlenschutzes essentiell, da somit auch während eines Messfluges eine effiziente Gefährdungsabschätzung für das Personal hinsichtlich eines potenziellen Inkorporationsrisikos durchgeführt werden kann.

THEMENBEREICH 03 / STRAHLENBIOLOGIE - WIRKUNG VON IONISIERENDER STRAHLUNG, STRAHLENEMPFINDLICHKEIT

Thema

Strahlenresistenzmechanismen in Tumorstammzellen

Subject

Mechanisms of radioresistance in cancer stem cells

Kennzeichen	**Beginn**	**Ende**	**Fördermittel**
3616S32262	01.01.2017	31.08.2019	EUR 393.886,-

Forschungs- / Auftragnehmer
GSI Helmholtzzentrum für Schwerionenforschung GmbH, Darmstadt

Projektleitung	**Fachbetreuung BfS**	
Dr. C. Hartel	Dr. S. Hornhardt / AG-SG1.2	

ZIELSETZUNG / KURZBESCHREIBUNG

Strahlenresistenz stellt ein großes Problem bei der Tumortherapie dar. Insbesondere Tumorstammzellen können resistent gegen Bestrahlung sein und dadurch zum Auftreten von Tumorrezidiven führen. Im Forschungsvorhaben werden daher die Strahlenresistenzmechanismen in Gliomstammzellen untersucht. Dabei wird die Wirkung von Röntgenstrahlung mit der von beschleunigten Kohlenstoffionen verglichen. In der Regel findet die Strahlentherapie von Tumoren mit dünn ionisierender Röntgen- oder Gammastrahlung statt. Die Bestrahlung mit dicht ionisierenden beschleunigten Kohlenstoffionen ist ein innovatives Therapieverfahren, das sich durch hohe Tumorkonformität, einen steilen Dosisgradienten und eine hohe relative biologische Wirksamkeit (RBW) auszeichnet.

Da Kohlenstoffionen insbesondere bei strahlenresistenten Zelltypen eine hohe RBW verglichen mit Röntgenstrahlung zeigen, könnten sie geeignet sein die intrinsische Strahlenresistenz von Gliomstammzellen zu überwinden. Im Forschungsvorhaben werden verschiedene in vitro Experimente mit humanen Gliomstammzelllinien durchgeführt, um die Strahlenwirkung auf zell- und molekularbiologischer Ebene zu untersuchen. Die Zelllinien werden mit Röntgenstrahlung oder Kohlenstoffionen bestrahlt (0 Gy bis $\geq$ 10 Gy) und es wird mittels Überlebens- bzw. Selbsterneuerungsassays überprüft, ob die Strahlenresistenz der Gliomstammzellen gleichermaßen bei dicht und dünn ionisierender Strahlung besteht. Weiterhin sollen geeignete (Tumor-)Stammzellmarker identifiziert und deren Expression nach Bestrahlung untersucht werden. Das Forschungsvorhaben umfasst außerdem Experimente zu Zellzyklusverteilung, DNA-Reparatur, Zytogenetik und Genexpressions-Analysen, um die Strahlenresistenzmechanismen der Gliomstammzellen zu identifizieren.

THEMENBEREICH 07 / VORHABEN MIT ALLGEMEINER BEDEUTUNG FÜR DEN STRAHLENSCHUTZ

Thema

Weiterentwicklung des atmosphärischen Ausbreitungsmodells ARTM bezüglich weiterer Anwendungsbereiche, Windfeld- und Grenzschichtmodell, Dokumentation

Subject

Enhancement of the atmospheric dispersion model ARTM considering additional areas of application, wind field and boundary layer models, and documentation

Kennzeichen	**Beginn**	**Ende**	**Fördermittel**
3616S72575	01.12.2016	30.09.2019	EUR 318.437,-

Forschungs- / Auftragnehmer
Gesellschaft für Anlagen- und Reaktorsicherheit (GRS) gGmbH

Projektleitung	**Fachbetreuung BfS**	
Dr. Cornelia Richter	H. Wildermuth / SW 1.4	

ZIELSETZUNG / KURZBESCHREIBUNG

In mehreren Forschungsvorhaben wurde das Programmpaket ARTM (Atmosphärisches-Radionuklid-Transport-Modell) zunächst auf Basis des Lagrangeschen Partikelmodells AUSTAL 2000 für die Ausbreitung luftgetragener radioaktiver Stoffe entwickelt und für die Anwendung nach der Allgemeinen Verwaltungsvorschrift zu § 47 der Strahlenschutzverordnung (AVV) sowie der Störfallberechnungsgrundlagen (SBG) erweitert. Um das gesteckte Ziel, das nicht mehr zeitgemäße Gauß-Modell in den angeführten Vorschriften zu ersetzen, zu erreichen, wurden in den vorangegangenen Forschungsvorhaben systematische Validierungen und Verifizierungen von ARTM durchgeführt und ARTM entsprechend dem Stand von Wissenschaft und Technik erweitert. Zudem soll ARTM zukünftig auch dazu eingesetzt werden, um die Vorgaben der EU-Richtlinie 2013/59/Euratom bezüglich einer realistischeren Ermittlung der Strahlenexposition umsetzen zu können.

Im Rahmen dieses Vorhabens soll deshalb die bestehende Simulationssoftware zur Berechnung der Strahlenexposition in der Umgebung kerntechnischer Anlagen auf weitere Anwendungsbereiche, z. B. die Nutzung im Rahmen von Rückbaumaßnahmen kerntechnischer Anlagen, erweitert, neueste wissenschaftliche und technische Entwicklungen programmtechnisch in ARTM eingebunden und die Nutzerfreundlichkeit verbessert werden. Als Alternative zum vorgeschalteten diagnostischen Strömungsmodell soll ein prognostisches Windfeldmodell verfügbar gemacht werden.Die Entwicklung von ARTM erfolgt im Rahmen der GNU Public License.

Thema

Modellbasierte Ermittlung des Eintrags von I-131 in die OSPAR-Regionen des Nordostatlantiks auf Grund von nuklearmedizinischen Anwendungen mit Radioiod in Deutschland

Subject

Model based evaluation of I-131 fluxes from nuclear medical applications with radioactive iodine in Germany into the OSPAR-Regions of the Northeast Atlantic

Kennzeichen	**Beginn**	**Ende**	**Fördermittel**
3616S72570	01.04.2017	31.03.2018	EUR 135.710,-

Forschungs- / Auftragnehmer
Hydrotec Ingenieurgesellschaft für Wasser und Umwelt mbH, Aachen

Projektleitung	**Fachbetreuung BfS**	
Dr.O. Buchholz	A. Heckel / SW 1.4	

ZIELSETZUNG / KURZBESCHREIBUNG

In einem im Jahr 2013 abgeschlossenen Forschungsvorhaben wurden erste Untersuchungen bezüglich des Eintrags von radioaktivem Iod-131 durch nuklearmedizinische Einrichtungen und diffuse Einträge durch entlassene Patienten in deutsche Flusssysteme durchgeführt, um der Berichterstattungspflicht Deutschlands an die OSPAR-Kommission hinsichtlich der Ableitungen von radioaktiven Stoffen aus nuklearmedizinischen Einrichtungen nachzukommen. Es zeigte sich jedoch, dass eine Diskrepanz zwischen den über das im Rahmen des Forschungsvorhabens entwickelte Modellierungsprogramm OSBIMO berechneten und tatsächlich ermittelten Frachten in den untersuchten Flüssen vorliegt. In einem Anschlussvorhaben wurde in einem ersten Schritt der tatsächliche Eintrag von Iod-131 in die für die OSPAR-Region relevanten Nebenflüsse und aus Kläranlagen messtechnisch quantifiziert.

Ziel dieses neuen Forschungsvorhabens ist nun die Erweiterung des Bilanzierungsmodells OSBIMO um diese relevanten Nebenflüsse sowie um die Mündungsbereiche im deutschen Hoheitsgebiet. Dabei sollen die aus den Vorgängerforschungsvorhaben messtechnisch ermittelten Daten für die Nebenflüsse in OSBIMO integriert werden, um einen realitätsnäheren Bilanzierungswert für den jährlichen Eintrag von I-131 in die Nordsee zu ermitteln.

THEMENBEREICH 08 / NICHTIONISIERENDE STRAHLUNG

Thema

Exposition und Wirkungen der elektromagnetischen Felder neuartiger Technologien im Zwischenfrequenzbereich - systematische Review

Subject

Exposure and effects of electromagnetic fields of new technologies operating in the intermediate frequency range - a systematic review

Kennzeichen	**Beginn**	**Ende**	**Fördermittel**
3616S82437	01.11.2016	31.10.2017	EUR 149.880,-

Forschungs- / Auftragnehmer
Seibersdorf Labor GmbH, A-2444 Seibersdorf, Österreich

Projektleitung	**Fachbetreuung BfS**	**verantwortlich für den Text**
G. Schmid	Dr. A. Dehos / AG-SG	G. Schmid, Dr. S. Drießen

ZIELSETZUNG / KURZBESCHREIBUNG

Die Datenlage hinsichtlich der Exposition von Personen durch elektromagnetische Felder im Zwischenfrequenzbereich (300 Hz bis 1 MHz) lässt gegenwärtig viele Fragen offen und muss daher dringend verbessert werden. Dies gilt insbesondere vor dem Hintergrund der zunehmenden technischen Nutzung dieses Frequenzbereichs, wie z. B. für Induktionserwärmung, elektrische Antriebssysteme, moderne Stromrichtertechnik, drahtlose Energieübertragung, u.v.a. Dies gilt ebenso für die biologischen und gesundheitlichen Wirkungen dieser Felder.

In diesem Forschungsvorhaben sollen daher die möglichen Quellen dieser Felder und die daraus resultierenden Expositionen ermittelt und darauf aufbauend der wissenschaftliche Kenntnisstand zu den möglichen Wirkungen der Felder systematisch aufbereitet und bewertet werden, um die Datenbasis für die Risikobewertung für diese Felder zukünftig zu verbessern.

Dies geschieht auf Basis systematischer wissenschaftlicher Recherchen bezüglich möglicher gegenwärtiger Quellen im Zwischenfrequenzbereich, der Höhe der von diesen Quellen verursachten Exposition sowie bezüglich der gesundheitlichen und biologischen Wirkungen von elektrischen und magnetischen Feldern in diesem Frequenzbereich, inklusive der möglichen Störbeeinflussung elektronischer Implantate. Schließlich sollen auf Basis der durchgeführten Recherchen wissenschaftliche Kenntnislücken identifiziert und zusammengefasst werden.

Thema

Leukämie im Kindesalter - Einfluss des Immunsystems auf die Entstehung der Erkrankung (experimentelle Studie an einem geeigneten Tiermodell)

Subject

Childhood leukemia - influence of the immune system on the development of the disease (experimental study in a suitable animal model)

Kennzeichen	**Beginn**	**Ende**	**Fördermittel**
3616S82440	01.10.2016	30.09.2019	EUR 851.432,-

Forschungs- / Auftragnehmer
Fraunhofer-Gesellschaft zur Förderung der angewandten Forschung e. V., München

Projektleitung	**Fachbetreuung BfS**	**verantwortlich für den Text**
Dr. Thomas Tillmanns	PD Dr. Blanka Pophof / AG SG 1.4	Dr. Thomas Tillmanns

ZIELSETZUNG / KURZBESCHREIBUNG

Epidemiologische Untersuchungen weisen auf einen Zusammenhang zwischen der Exposition mit extrem niederfrequenten Magnetfeldern (ELF-MF), wie sie beispielsweise bei der Erzeugung, Übertragung, Verteilung und Verwendung von elektrischer Energie (Strom) auftreten, und der Entstehung von Leukämien im Kindesalter hin. Von der IARC (International Agency for Research on Cancer) wurden im Jahr 2002 ELF-MF auf Grund der epidemiologischen Ergebnisse als potentiell karzinogen (Klasse 2B) eingestuft. Experimentelle Beweise für diese IARC-Einstufung fehlen aber bis heute. Biophysikalisch betrachtet ist es unwahrscheinlich, dass diese energiearmen, extrem niederfrequenten magnetischen Felder stark genug sind, um direkt DNA-schädigend zu wirken, d. h. um beispielsweise B-ALL (akute lymphoblastische (B-Zell-) Leukämie) - die häufigste Leukämie im Kindesalter - unmittelbar zu verursachen.

Allerdings zeigten drei unabhängige Untersuchungen bei „normalen“ CD1-Mäusen bzw. bei einem transgenen Mausmodell für pB-ALL, in dem die häufige Leukämie-spezifische chromosomale Translokation ETV6RUNX1 als chimäre Genfusion nachgestellt wird, übereinstimmend eine verminderte Zahl an CD8+ T-Lymphozyten. In allen drei Mausstudien konnte nach bis zu 90-tägiger ELF-MF Exposition im Blutbild der Jungtiere diese Reduktion beobachtet werden. Auch wenn es bisher keinen Nachweis gibt, dass diese Veränderung beim jungen entwickelnden Immunsystem ein zwingend notwendiger Schritt für die Manifestation einer B-ALL ist, sollen auf Grund dieser Hinweise im Projekt Phänotyp und Funktion von Immunzellen, insbesondere die Reifung zytotoxischer T-Zellen, an einem geeigneten Mausmodell für die genannte Kinderleukämie B-ALL vergleichend mit und ohne Magnetfeldexposition untersucht werden.

Verzeichnis der Abbildungen und Tabellen

ERGEBNISSE (ABSCHLUSSBERICHTE)

Themenbereich 01
Natürliche Strahlenexposition

Methodische Untersuchungen zur Qualifizierung der VOC-Kammern zur Bestimmung der Radonexhalationsrate von Bauprodukten, Los 1 / **3613S10021**

Tabelle 1: Übersicht der untersuchten Messtechnik *3*

Tabelle 2: Übersicht über die im Projekt verwendeten Baumaterialien mit den durchschnittlichen Massen, Dichten und Abmaßen *4*

Abbildung 1: Benötigte Messdauer, um eine kombinierte Standardunsicherheit der Netto-Rn-222-Aktivitätskonzentration (c_n) von 10 % zu erzielen *5*

Abbildung 2: Versuchsaufbau und Probennahmestrategie *6*

4. Mortalitäts-Follow-Up der Kohorte von ca. 64 000 ehemaligen Wismutbeschäftigten zum Stichtag 31.12.2013 / **3613S10022**

Tabelle 1: Zusammenfassende Darstellung des WISMUT-FOLLOW-UP 4 *9*

Themenbereich 02
Strahlenschutztechnik

Konzepte zur Charakterisierung klinischer CT-Systeme unter Einbeziehung von Bildqualität und Dosis / **3613S20007**

Tabelle 1: Liste der in dieser Studie einbezogenen CT-Scanner *14*

Tabelle 2: Zusammenfassung der CT-Protokolle, die für die Charakterisierung der CT-Scanner angewendet wurden *14*

Abbildung 1: AUCw, d. h. die Erkennbarkeit einer Kugel; äquivalent zu drei $CTDI_{vol}$ Werten unter Verwendung des kleinen QRM-Unterleibsphantoms mit festem Röhrenstrom. *15*

Abbildung 2: Nachweisbarkeitsindex, berechnet mit dem NPWE-Modell für einen nominalen Kontrast von 1080 HU *16*

Abbildung 3: Die Fläche unter den Kurven in Abb. 1 stellt die Dosis-Effizienz des Scanners dar *17*

Abbildung 4: AUCw bei der Verwendung eines großen Phantoms bei unterschiedlichen $CTDI_{vol}$ Niveaus bei automatischer Röhrenstrommodulation für die acht unterschiedlichen CT-Scanner *17*

Themenbereich 03
Strahlenbiologie - Wirkung von ionisierender und nichtionisierender Strahlung, Strahlenempfindlichkeit

Validierung eines genomischen PCR-Verfahrens zum Nachweis von chromosomalen Translokationen zur Identifizierung prä-leukämischer Zellen bei Kindern - Pilotstudie / **3614S30034**

Abbildung 1: Standardisierte Methode des GIPFEL-Screenings von Nabelschnurblutproben (modifiziert nach Füller et al. PLOS ONE 2014)

22

Abbildung 2: Repräsentative Beispiele von Ergebnissen der ersten real-time PCR im Verlauf des GIPFEL-Screenings von Nabelschnurblutproben

23

Abbildung 3: Repräsentatives Beispiel der zweiten real-time PCR, der Gelelektrophorese und der Sanger-Sequenzierung einer positiv getesteten Probe beim GIPFEL-Screening von Nabelschnurblutproben

24

Tabelle 1: Ergebnis des Nabelschnurblutproben-Screenings von 1000 neugeborenen Kindern in Bezug auf Zellen mit ETV6-RUNX1-Translokation.

25

Internationaler Workshop zur Ursachenforschung von Leukämie bei Kindern / **3616I02233**

Abbildung 1: Programm des Workshops

35

Themenbereich 04
Medizinische Strahlenexposition / Röntgenverordnung

Erfassung der Häufigkeit bildgebender Diagnostik im stationären Bereich / **3613S20020**

Tabelle 1: Ergebnisse bildgebender Diagnostik für Allgemeinkrankenhäuser, Psychiatrische Fachkliniken und Rehabilitationseinrichtungen

43

Evaluation der Brustkrebsmortalität im deutschen Mammographie-Screening-Programm - Machbarkeitsstudie I und II / **3610S40002**

3614S40002

Abbildung 1: Konzeptionelle Darstellung des modifizierten Datenflusses für die geplante Hauptstudie

47

Themenbereich 05
Radioökologie

Fachliche Unterstützung des BfS bei der Erstellung von Referenzbiosphärenmodellen für den radiologischen Langzeitsicherheitsnachweis von Endlagern - Quantitative Modellierung des Radionuklidtransports in der Biosphäre / **3614S50010**

Tabelle 1: Zusammenfassung der Sensitivitätsanalyse

58

Abbildung 1: Aufnahme der Radionuklide durch Winterweizen während einer Vegetationsperiode auf dem Boden Refesol 2

59

Abbildung 2: Aufnahme der Radionuklide durch Winterweizen während einer Vegetationsperiode auf dem Boden Refesol 4

60

Themenbereich 06
Notfallschutz

Verifizierung des Dosismoduls DARTM (Dosis-Atmosphärisches-Radionuklid-Transportmodell) / **3615S62542**

Tabelle 1: Abweichungen zwischen DARTM und AUSBRDOS im 1. Iterationsschritt

70

Tabelle 2: Abweichungen zwischen DARTM und AUSBRDOS im 2. Iterationsschritt

71

Abbildung 1: Vergleich der Dosiswerte von DARTM(V4.01) mit dem Modell AUSBRDOS

72

Themenbereich 07
Vorhaben mit allgemeiner Bedeutung für den Strahlenschutz

Untersuchungen zur Strahlenexposition der Augenlinse von beruflich strahlenexponiertem Personal / **3613S40011**

Tabelle 1: Tabellarische Auflistung der Tätigkeiten, die mit der Messkampagne untersucht wurden

81

Abbildung 1: Häufigkeitsverteilung der kumulierten Wochenwerte über alle Tätigkeiten in Phase 1 der experimentellen Untersuchung

82

Abbildung 2: Boxplot-Diagramm der Dosisverteilung als $H_p(3)$ in mSv pro Prozedur in Abhängigkeit ausgewählter Tätigkeiten

82

Abbildung 3: Korrelation zwischen der ermittelten Dosis und Anzahl der Interventionen bzw. DFP

83

Untersuchung und Bewertung des Detrimentbegriffs im Strahlenschutz / **3615S72264**

Abbildung 1: Abhängigkeit des Detriments vom Letalitätsfaktor nach dem ICRP 103-Modell. Es ist das Detriment als Summe über alle Krebsarten (Gesamtdetriment mit Hautkrebs) und als Summe über alle Krebsarten ohne Hautkrebs (Gesamtdetriment ohne Hautkrebs) dargestellt.

93

Abbildung 2: Zeitlicher Verlauf des Gesamtdetriments der gesamten Bevölkerung innerhalb der Beobachtungszeit (1980-2012) in Deutschland

94

Abbildung 3: Zeitlicher Verlauf des Gesamtdetriments der gesamten Bevölkerung von 1980-2012 in den USA

95

Themenbereich 08
Nichtionisierende Strahlung

Weiterführende Untersuchungen zur Dosimetrie einer tierexperimentellen Studie an Labornagern mit hochfrequenten elektromagnetischen Feldern / **3615S82433**

Tabelle 1: Übersicht der Organe und Gewebe, für die organspezifische Auswertungen erfolgten, sowie die relativen Massen über die verwendeten Maus-Modelle gemittelt.

113

Abbildung 1: Darstellung von Simulationsmodell, SAR- und Temperatur-Werten anhand des JA8-Modells im Szenario Sz2 und der Position P1 (Szenario mit vergleichsweise hoher Exposition).

114

Abbildung 2: Über alle Mäuse (unterschiedliche Entwicklungsstadien) und Käfigpositionen gemittelte organspezifische SAR (oben) und Spitzen-Temperatur-Anstieg (STA), sortiert nach SAR-Werten.

115

Themenbereich 09
Deutsches Mobilfunk-Forschungsprogramm

Evaluierung des EMF-Portals und Ableitung von Erkenntnissen und Empfehlungen für dessen weitere Gestaltung / **FM8857**

Abbildung 1: Darstellung der Einstiegsseite des EMF-Portals

119

Einfluss hochfrequenter Felder des Mobilfunks auf das blutbildende System in vitro: Untersuchungen zur Reproduzierbarkeit der Ergebnisse / **FM8863**

Abbildung 1: Ergebnisse der Kurz- und Langzeitexpositionen von HL-60-Zellen (a, b) und hämatopoetischen Stammzellen (c, d) für den Endpunkt Differenzierung (CD11b).

127

Abbildung 2: Ergebnisse der Kurz- und Langzeitexpositionen von HL-60-Zellen (a, b) und hämatopoetischen Stammzellen (c, d) für den Endpunkt Differenzierung/Adhärenz.

128

Abbildung 3: Ergebnisse der Kurz- und Langzeitexpositionen von HL-60-Zellen (a, b) und hämatopoetischen Stammzellen (c, d) für den Endpunkt DNA-Schaden.

129

Divergierende Risikobewertungen im Bereich Mobilfunk / **FM8865**

Tabelle 1: Liste der im Rahmen des Projektes vertieft analysierten Organisationen

132

Abbildung 1: Risikobewertungen - Wirkung auf die Gesundheit des Menschen (sortiert nach Wirkungstyp)

135

STATUSBERICHTE

Themenbereich 04
Medizinische Strahlenexposition / Röntgenverordnung

Erstellung und Überarbeitung von technischen Normen für den Strahlenschutz und die Qualitätssicherung in der medizinischen Radiologie / **3615S42320**

Tabelle 1: Bisher erreichte Ergebnisse bei den Normungsprojekten

168

Themenbereich 05
Radioökologie

Messtechnische und modellbasierte Abschätzung des Eintrags von I-131 in die OSPAR-Regionen auf Grund der nuklearmedizinischen Anwendungen von Radioiod in Deutschland / **3614S50015**

Tabelle 1: Ermittelte Kennzahlen von I-131 im Abwasser von Kläranlagen im Jahr 2016 (vorläufige Ergebnisse)

175

Themenbereich 06
Notfallschutz

Verfahren zur optimierten Standortauswahl für spektrometrierende Sonden und zur Generierung von Messaufträgen für Notfallschutzübungen / **3615S62540**

Abbildung 1: Optimale Standorte für die Platzierung von Sonden in Betrachtung der Kombination von Bevölkerungsdichte und Zeit seit dem Alarm als Optimierungskriterium

187

Themenbereich 08
Nichtionisierende Strahlung

Synergetische Wirkung hochfrequenter elektromagnetischer Felder in Kombination mit kanzerogenen Substanzen - Kokanzerogenität oder Tumorpromotion? / **3615S82431**

Tabelle 1: Gewichte der trächtigen Muttertiere während der Exposition

199

Tabelle 2: Mittlere Anzahl Föten/Mutter und mittleres Fötengewicht in den drei Anlagen mit verschiedenen Expositionsstärken

200

Abkürzungen

Abbreviations

ATG	Atomgesetz
cDNA/cRNA	complementäre DNA/RNA
CT	Computertomographie
DAB	digital audio broadcasting
DECT	Digital Enhanced Cordless Telecommunications
DIN	Deutsches Institut für Normung e.V./ the German institute for standardisation
DNA	Desoxyribonukleinsäure (desoxyribosenucleic acid)
DTX	discontinuous transmission
DVB-T	digital video broadcast-terrestrial
EMF	elektromagnetische Felder
EPR	Lumineszenz- und paramagnetische Elektronenresonanz
FDTD	finite - difference time - domain
GSM	global system mobile communication
HF/RF	high/radio frequency
IAEA	International Atomic Energy Agency
ICNIRP	International Commission on Non-Ionising Radiation Protection
ICRP	International Commission on Radiological Protection
IEC	International Electrotechnical Commission
ISO	International Organization for Standardization
KKW	Kernkraftwerk
LET	linearer Energietransfer
MMS	multimedia messaging service
mRNA	messanger RNA
MRT/MRI	Magnetresonanztomographie / Magnet Resonance Imaging
ODL	Ortsdosisleistung
OECD	Organisation for Economic Co-operation and Development
PCR	polymerase chain reaktion
PET-CT	Positronen-Emissions-Tomographie (PET) - Computertomographie
PTB	Physikalisch-Technische Bundesanstalt
RBW	resolution band width
RNA	Ribonukleinsäure (ribonucleic acid)
ROC	receiver operating characteristic
RöV	Röntgenverordnung
RT-PCR	reverse transkription-polymerase chain reaction
SAR	spezifische Absorptionsrate
siRNA	small interfering RNA
SSK	Strahlenschutzkommission
StrlSchV	Strahlenschutzverordnung
TETRA	terrestrial trunked radio
UMTS	universal mobile telecommunication system
UVI	UV-Index
WAP	wireless application protocol
WHO	World Health Organization
WLAN	wireless local area network

Kontaktadressen

Fragen nach näheren Informationen über die in diesem Programmreport genannten Projekte können an folgende Stellen gerichtet werden:

Bundesamt für Strahlenschutz
Verwaltungsmäßige Bearbeitung der Ressortforschung AG-R
Postfach 10 01 49
D-38201 Salzgitter
Tel.: (030) 18333 1520
Fax.: (030) 18333 1525

Bundesamt für Strahlenschutz
Fachliche Koordinierung der Ressortforschung im Bereich Strahlenschutz AG-K
Postfach 10 01 49
38201 Salzgitter
Tel.: (030) 18333-2119

Bisher erschienene BfS-Schriften

BfS-SCHR-1/90
Warnecke, E.; Odoj, R.; Simon, R. (Editors)
Requirements for Waste Acceptance and Quality Control.
Proceedings of the 2nd International Seminar on Radioactive Waste Products.
28 May - 1 June 1990, Research Centre Jülich, Federal Republic of Germany.
Salzgitter 1990

BfS-SCHR-2/91
Sicherheitsreihe Nr. 6.
IAEO-Empfehlungen für die sichere Beförderung radioaktiver Stoffe. Ausgabe 1985.
(Diese Übersetzung enthält auch die von der IAEO im Nachtrag 1988 zu den Empfehlungen vorgenommenen Ergänzungen).
Salzgitter 1991

BfS-SCHR-3/91
Schüttmann, W.; Aurand, K.
Die Geschichte der Außenstelle Oberschlema des Kaiser-Wilhelm-Instituts für Biophysik Frankfurt am Main.
Salzgitter 1991

BfS-SCHR-4/91
Bornemann, O. (mit einem Beitrag von *R. Fischbeck*)
Zur Geologie des Salzstocks Gorleben nach den Bohrergebnissen.
Salzgitter 1991

BfS-SCHR-5/92
Herrmann, *A.G.*
Endlager für radioaktive Abfälle Morsleben (ERAM).
Lösungszuflüsse in den Grubenfeldern Marie und Bartensleben: Stoffbestand, Herkunft, Entstehung.
Eine Dokumentation.
Zweiter Bericht. Abschlußbericht für den Zeitabschnitt 1. Januar bis 31. Dezember 1991. Clausthal-Zellerfeld, den 29. Februar 1992.
Salzgitter 1992

BfS-SCHR-6/92
Bestandsaufnahme IMIS-IT.
Seminar zum Projektstand IMIS am 3. Mai 1991.
Salzgitter 1992

BfS-SCHR-7/92
Empfehlungen der Reaktor-Sicherheitskommission (RSK) 1987 - 1991 (Band 7).
Zusammengestellt von der RSK-Geschäftsstelle.
Salzgitter 1992

BfS-SCHR-8/92
Radiologische Erfassung, Untersuchung und Bewertung bergbaulicher Altlasten.
Abschlußbericht zum ersten Teilprojekt.
Salzgitter 1992

BfS-SCHR-9/93
Grosche, B.; Burkart, W. (Editors)
Radiation epidemiology after the Chernobyl accident.
Proceedings of a workshop held at the Institute for Radiation Hygiene, Federal Office of Radiation Protection, Neuherberg, October 23-25, 1991

Bisher erschienene BfS-Schriften

BfS-SCHR-10/93
von Borstel, L.E.
Lösungen in marinen Evaporiten.
Salzgitter 1993

BfS-SCHR-11/93
Herrmann, *A.G.*
Endlager für radioaktive Abfälle Morsleben (ERAM).
Lösungsvorkommen in den Grubenfeldern Marie und Bartensleben: Stoffbestand, Herkunft, Entstehung.
Eine Dokumentation.
Abschlußbericht für den Zeitabschnitt 1. Januar bis 31. Dezember 1992. Clausthal-Zellerfeld, den 29. Februar 1992.
Salzgitter 1993

BfS-SCHR-12/93
IMIS-Statusgespräch.
Seminar zum Projektstand IMIS am 1. Februar 1993.
Salzgitter 1993

BfS-SCHR-13/94
Przyborowski, S.; Röhnsch, W.
ICRP-Publikation 65
über den Schutz gegenüber Radon-222 in Wohnung und an Arbeitsplätzen und die Situation in der Bundesrepublik Deutschland.
Salzgitter, 1994

BfS-SCHR-14/95
Kammerer, L.; Peter, J.; Burkhardt, J.; Trugenberger-Schnabel, A.; Bergler, I.
Umweltradioaktivität in der Bundesrepublik Deutschland 1992 und 1993. Daten und Bewertung.
Bericht der Leitstellen des Bundes und des Bundesamtes für Strahlenschutz.
Salzgitter, Dezember 1995

BfS-SCHR-15/96
Solare terrestrische UV-Strahlung in Deutschland.
Meßergebnisse und strahlenhygienische Bewertung der Daten aus dem UV-Meßnetz des BFS/UBA für den Zeitraum Januar bis Dezember 1994.
Salzgitter, März 1996

BfS-SCHR-16/98
Kammerer, L.
Umweltradioaktivität in der Bundesrepublik Deutschland 1994 bis 1995. Daten und Bewertung.
Bericht der Leitstellen des Bundes und des Bundesamtes für Strahlenschutz.
Salzgitter, März 1998

BfS-SCHR-17/98
Radiologische Erfassung, Untersuchung und Bewertung bergbaulicher Altlasten.
Abschlußbericht zum zweiten Teilprojekt.
Salzgitter, März 1998

BfS-SCHR-18/98
Sonnek, C.
Die Euratom-Grundnormen für den Strahlenschutz 1996 und 1997.
Ausblick auf zukünftiges Strahlenschutzrecht in Deutschland.
Salzgitter, Juli 1998

Bisher erschienene BfS-Schriften

BfS-SCHR-19/99
Strahlenschutz und Sicherheit in der Medizin.
ICRP-Veröffentlichung 73.
Ein Bericht einer Arbeitsgruppe des Komitees 3 der Internationalen Strahlenschutzkommission.
Von der Kommission angenommen im März 1996.
Salzgitter, Mai 1999

BfS-SCHR-20/99
WORKSHOP
Strahlenüberwachung von Arbeitsplätzen mit erhöhten Konzentrationen von Radon und Radonzerfallsprodukten und Qualitätssicherung der Überwachungsmessungen.
22. bis 24. Juni 1998, Berlin.
Salzgitter, November 1999

BfS-SCHR-21/00
Kammerer, L.
Umweltradioaktivität in der Bundesrepublik Deutschland 1996 und 1997. Daten und Bewertung.
Bericht der Leitstellen des Bundes und des Bundesamtes für Strahlenschutz.
Salzgitter, Oktober 2000

BfS-SCHR-22/01
Ettenhuber, E.; Gehrcke, K.
Radiologische Erfassung, Untersuchung und Bewertung bergbaulicher Altlasten.
Abschlussbericht.
Salzgitter, März 2001

BfS-SCHR-23/01 (ist nicht als Druck erschienen, nur im Internet)
Steinmetz, M.
UV-Index in practical use
Proceedings of an International Workshop
Institute of radiation hygiene, Munich, Germany, December 4-7, 2000
Salzgitter, 2001

BfS-SCHR-24/02
Peter J.; Schneider G.; Bayer A.; Trugenberger-Schnabel A.
High Levels of Natural Radiation and Radon Areas:
Radiation Dose and Health Effects
Proceedings of the 5th International Conference on High Levels of Natural Radiation and Radon Areas held in Munich, Germany on September 4 to 7 2000
Neuherberg, März 2002

BfS-SCHR-25/02
Brix, J.; Matthes, R.; Schulz, O.; Weiss, W.
Forschungsprojekte zur Wirkung elektromagnetischer Felder des Mobilfunks.
Bundesamt für Strahlenschutz
21. und 22. Juni 2001
Salzgitter, Juni 2002

BfS-SCHR-26/02
Bruchertseifer, F.; Pohl, H.
Fachgespräch
Begrenzung der Strahlenexposition als Folge von Störfällen bei kerntechnischen Anlagen und Einrichtungen.
1. und 2. März 2001
Salzgitter, Juni 2002

Bisher erschienene BfS-Schriften

BfS-SCHR-27/03
Trugenberger-Schnabel, A.; Peter J.;
Kanzliwius, R.; Bernhard, C.; Bergler, I.
Umweltradioaktivität in der Bundesrepublik Deutschland 1998 bis 2001
Daten und Bewertung
Bericht der Leitstellen des Bundes und des Bundesamtes für Strahlenschutz
Salzgitter, Januar 2003

BfS-SCHR-28/03
Walter, H.
2.Fachgespräch SODAR
19. u. 20. März 2003
Im Auftrag des Bundesministeriums für Umwelt,
Naturschutz und Reaktorsicherheit
Zusammenfassung der Vorträge
Salzgitter, Juni 2003

BfS-SCHR-29/03
Bergler, I.; Bernhard, C.; Gödde, R.; Schmitt-Hannig, A.
Strahlenschutzforschung
- Programmreport 2001 -
Bericht über das vom Bundesamt für Strahlenschutz fachlich und verwaltungsgemäß begleitete Ressortforschungsprogramm Strahlenschutz des Bundesumweltministeriums
Salzgitter, Juni 2003

BfS-SCHR-30/04
Lennartz, H.-A.; Mussel, Ch.; Thieme, M.
Beteiligung der Öffentlichkeit bei der Standortauswahl für die Endlagerung radioaktiver Abfälle
Abschlussbericht
Salzgitter, April 2004

BfS-SCHR-31/04
Weiß, D.; Bönigke, G.; Spoden, E.; Warnecke, E.
Übersicht zu stillgelegten kerntechnischen Anlagen in Deutschland und in Europa – Januar 2004
Salzgitter, September 2004

BfS-SCHR-32/04
Bergler, I.; Bernhard, C.; Gödde, R.; Löbke-Reinl, A.; Schmitt-Hannig, A.
Strahlenschutzforschung
Programmreport 2003
Bericht über das vom Bundesamt für Strahlenschutz fachlich und administrativ begleitete Ressortforschungsprogramm Strahlenschutz des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit
Salzgitter, Dezember 2004

BfS-SCHR-33/05
Hartmann, M.; Beyer, D.; Dalheimer, A.; Hänisch, K.
Ergebnisse der In-vitro-Ringversuche: S-35 in Urin sowie Am-241 und Pu-Isotope in Urin
Workshop zu den In-vitro-Ringversuchen 2001 und 2002 der Leitstelle Inkorporationsüberwachung des BfS am 1. Juli 2003 im Bayerischen Landesamt für Umweltschutz, Kulmbach
Salzgitter, Januar 2005

BfS-SCHR-34/05 (nur als CD vorhanden)
Trugenberger-Schnabel, A.; Peter, J.; Kanzliwius, R.; Bernhard, C.; Bergler, I.
Umweltradioaktivität in der Bundesrepublik Deutschland
Bericht der Leitstellen des Bundes und des Bundesamtes für Strahlenschutz
Daten und Bewertung für 2002 und 2003
Salzgitter, Juni 2005

Bisher erschienene BfS-Schriften

BfS-SCHR-35/05 (nur als CD vorhanden)
Bergler, I.; Bernhard, C.; Gödde, R.; Löbke-Reinl, A.; Schmitt-Hannig, A.
Strahlenschutzforschung
Programmreport 2004
Bericht über das vom Bundesamt für Strahlenschutz fachlich und administrativ begleitete Ressortforschungsprogramm Strahlenschutz des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit
Salzgitter, August 2005

BfS-SCHR-36/05 (nur als CD vorhanden)
Steinmetz, M.
200 Jahre solare UV-Strahlung
Geschichte und Perspektiven
Wissenschaftliches Kolloquium
Salzgitter, Oktober 2005

BfS-SCHR-37/05
Facharbeitskreis Probabilistische Sicherheitsanalyse für Kernkraftwerke
Methoden zur probabilistischen Sicherheitsanalyse für Kernkraftwerke
Stand: August 2005
Salzgitter, Oktober 2005

BfS-SCHR-38/05
Facharbeitskreis Probabilistische Sicherheitsanalyse für Kernkraftwerke
Daten zur probabilistischen Sicherheitsanalyse für Kernkraftwerke
Stand: August 2005
Salzgitter, Oktober 2005

BfS-SCHR-39/06
Borrmann, F.; Brennecke, P.; Koch, W.; Kugel, K.; Rehs, B.; Steyer, S.; Warnecke, E.
Management of Decommissioning Waste in Germany
Contribution to the IAEA CRP on „Disposal Aspects of Low and Intermediate level Decommissioning Waste“
Stand: August 2006
Salzgitter, Dezember 2006

BfS-SCHR-40/06
Bergler, I.; Bernhard, C.; Gödde, R.; Löbke-Reinl, A.; Schmitt-Hannig, A.
Strahlenschutzforschung
Programmreport 2005
Bericht über das vom Bundesamt für Strahlenschutz fachlich und administrative begleitete Forschungsprogramm Strahlenschutz des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit
Salzgitter, Dezember 2006

BfS-SCHR-41/07
*Schkade, U.-K.; Arnold, D. *); Döring, J.; Hartmann, M.; Wershofen, H. *)*
**) Physikalisch-Technische Bundesanstalt*
Gammaspektrometrische Bestimmung der spezifischen Aktivitäten natürlicher Radionuklide in Umweltproben
7. Vergleichsanalyse „Boden 2006“
Leitstelle für Fragen der Radioaktivitätsüberwachung bei erhöhter natürlicher Radioaktivität
Berlin, Dezember 2006
Salzgitter, Januar 2007

BfS-SCHR-42/07
Dushe, C.; Ettenhuber, E.; Gehrcke, K.; Kümmel, M.; Schulz, H. [*)]
[*)] *IAF-Radioökologie GmbH Dresden*
Ein neues Verfahren zur Ermittlung der Radonexhalation großer Flächen
Salzgitter, Februar 2007

Bisher erschienene BfS-Schriften

BfS-SCHR-43/07
Richtlinie für die physikalische Strahlenschutzkontrolle zur Ermittlung der Körperdosis
Teil 2: Ermittlung der Körperdosis bei innerer Strahlenexposition; Inkorporationsüberwachung
(§§ 40, 41 und 42 Strahlenschutzverordnung)
Rundschreiben vom 12.01.2007 RS II 3 – 15530/1 (GMBl 2007 S. 623)
Salzgitter, September 2007

BfS-SCHR-44/07
Bernhard, C.; Gödde, R.; Löbke-Reinl, A.; Schmitt-Hannig, A.; Trugenberger-Schnabel, A.
Strahlenschutzforschung
Programmreport 2006
Bericht über das vom Bundesamt für Strahlenschutz fachlich und administrativ begleitete Forschungsprogramm Strahlenschutz des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit
Salzgitter, Dezember 2007

BfS-SCHR-45/09
urn:nbn:de:0221-2009011200
Bernhard-Ströl, C.; Gödde, R.; Hachenberger, Claudia, Löbke-Reinl, A.; Schmitt-Hannig, A.
Strahlenschutzforschung
Programmreport 2007
Bericht über das vom Bundesamt für Strahlenschutz fachlich begleitete und administrativ umgesetzte Forschungsprogramm Strahlenschutz des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit
Salzgitter, Januar 2009

BfS-SCHR-46/09
urn:nbn:de:0221-2009082120
Bernhard-Ströl, C.; Gödde, R.; Hachenberger, Claudia, Löbke-Reinl, A.; Schmitt-Hannig, A.
Strahlenschutzforschung
Programmreport 2008
Bericht über das vom Bundesamt für Strahlenschutz fachlich begleitete und administrativ umgesetzte Forschungsprogramm Strahlenschutz des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit
Salzgitter, November 2009

BfS-SCHR-47/09
urn:nbn:de:0221-2009082154
Die Empfehlungen der Internationalen Strahlenschutzkommission (ICRP) von 2007
ICRP-Veröffentlichung 103, verabschiedet im März 2007
Deutsche Ausgabe
Salzgitter, November 2009

BfS-SCHR-48/10
urn:nbn:de:0221-201009153217
Bernhard-Ströl, C.; Gödde, R.; Hachenberger, C.; Löbke-Reinl, A.; Schmitt-Hannig, A.
Strahlenschutzforschung
Programmreport 2009
Bericht über das vom Bundesamt für Strahlenschutz fachlich begleitete und administrativ umgesetzte Forschungsprogramm Strahlenschutz des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit
Salzgitter, November 2010

Bisher erschienene BfS-Schriften

BfS-SCHR-49/11
urn:nbn:de:0221-201111236640
Bernhard-Ströl, C.; Gödde, R.; Hachenberger, Claudia, Löbke-Reinl, A.; Schmitt-Hannig, A.
Strahlenschutzforschung
Programmreport 2010
Bericht über das vom Bundesamt für Strahlenschutz fachlich begleitete und administrativ umgesetzte Forschungsprogramm Strahlenschutz des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit
Salzgitter, November 2011

BfS-SCHR-50/12
urn:nbn:de:0221-2012120510259
Beyermann, M.; Bünger, T.; Guttmann, A.; Schmidt, K.; Wershofen, H.; Winterfeldt, I.; Labahn, A.
Ringversuch zur Bestimmung von Radon-222, Radium-226, Radium-228, Uran-238, Uran-234 und der Gesamt-**α**-Aktivität in Trinkwasser – Ringversuch 4/2012
Salzgitter, Dezember 2012

BfS-SCHR-51/13
urn:nbn:de:0221-2013012210275
Bernhard-Ströl, C.; Gödde, R.; Hachenberger, Claudia, Löbke-Reinl, A.; Schmitt-Hannig, A.
Strahlenschutzforschung
Programmreport 2011
Bericht über das vom Bundesamt für Strahlenschutz fachlich begleitete und administrativ umgesetzte Forschungsprogramm Strahlenschutz des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit
Salzgitter, Dezember 2012

BfS-SCHR-52/13
urn:nbn:de:0221-2013110811124
Bernhard-Ströl, C.; Gödde, R.; Hachenberger, Claudia, Löbke-Reinl, A.; Schmitt-Hannig, A.; Trugenberger-Schnabel, A.
Strahlenschutzforschung
Programmreport 2012
Bericht über das vom Bundesamt für Strahlenschutz fachlich begleitete und administrativ umgesetzte Forschungsprogramm Strahlenschutz des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit
Salzgitter, Dezember 2013

BfS-SCHR-53/14
urn:nbn:de:0221-2014010911155
Schmitt-Hannig, A.; Peter, J.; Bernhard-Ströl, C.; Trugenberger-Schnabel, A.; Hachenberger, C, Löbke-Reinl, A.; Schulte-Büttner, B.
International Cooperation and Research
Report on International Cooperation and Research Activities at the Federal Office for Radiation Protection
Status 2013
Salzgitter, Januar 2014

BfS-SCHR-54/14
urn:nbn:de:0221-2014081211479
Schmitt-Hannig, A.; Gödde, R.; Löbke-Reinl, A.; Hachenberger, C.; Trugenberger-Schnabel, A.
Strahlenschutzforschung
Programmreport 2013
Bericht über das vom Bundesamt für Strahlenschutz fachlich begleitete und administrativ umgesetzte Forschungsprogramm Strahlenschutz des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit
Salzgitter, September 2014

Bisher erschienene BfS-Schriften

BfS-SCHR-55/14
urn:nbn:de:0221-2015021712440
*Walter, H.; Gering, F.; Arnold, K.; Gerich, B.; Heinrich,G.; Welte,U. *)*
**) Strahlenschutzkommission*
Simulation potentieller Unfallszenarien für den Notfallschutz in der Umgebung von Kernkraftwerken mit RODOS
Salzgitter, Dezember 2014

BfS-SCHR-56/15
urn:nbn:de:0221-2015052612750
*Brendebach,B. *); Imielski P.*); Kühn, K.; Rehs, B.*
**) Gesellschaft für Anlagen- und Reaktorsicherheit*
Stilllegung kerntechnischer Anlagen in Europa
Stand: Dezember 2014
Salzgitter, Mai 2015

BfS-SCHR-57/15
urn:nbn:de:0221-2015082013351
Schmitt-Hannig, A.; Löbke-Reinl, A.; Peter, J.; Gödde, R.; Hachenberger, C.; Trugenberger-Schnabel, A.
Strahlenschutzforschung
Programmreport 2014
Bericht über das vom Bundesamt für Strahlenschutz fachlich begleitete und administrativ umgesetzte Forschungsprogramm Strahlenschutz des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit
Salzgitter, September 2015

BfS-SCHR-58/16
urn:nbn:de:0221-2016022414011
Arx, Cyrill von; Glaab, Hubert; Grimm, Christian; Martens, Reinhard; Päsler-Sauer, Jürgen; Scheuermann, Walter; Schnadt, Horst; Schumacher, Peter; Torchiani, Silke; Walter, Hartmut; Wilbois, Thomas
Vergleich aktuell eingesetzter Modelle zur Beschreibung der atmosphärischen Ausbreitung radioaktiver Stoffe
Abschlussbericht zum Arbeitspaket AP 5500 der Arbeitsgruppe „Erfahrungsfluss Fukushima“ des Ausschusses „Notfallschutz“ der Strahlenschutzkommission
Salzgitter, Februar 2016

BfS-SCHR-59/16
urn:nbn:de:0221-2016080114068
Schmitt-Hannig, A.; Löbke-Reinl, A.; Peter, J.; Gödde, R.; Hachenberger, C.; Trugenberger-Schnabel, A.
Strahlenschutzforschung
Programmreport 2015
Bericht über das vom Bundesamt für Strahlenschutz fachlich begleitete und administrativ umgesetzte Forschungsprogramm Strahlenschutz des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit
Salzgitter, August 2016

BfS-SCHR-60/16
urn:nbn:de:0221-2016091214084
*Walter, H.; Gering, F.; Arnold, K.; Gerich, B.; Heinrich,G.; Welte,U. *)*
**) Strahlenschutzkommission*
RODOS-based Simulation of Potential Accident Scenarios for Emergency Response Management in the Vicinity of Nuclear Power Plants
Salzgitter, September 2016

Bisher erschienene BfS-Schriften

BfS-SCHR-61/16
urn:nbn:de:0221-2016091314090
Facharbeitskreis Probabilistische Sicherheitsanalyse für Kernkraftwerke
Methoden und Daten zur probabilistischen Sicherheitsanalyse für Kernkraftwerke
Stand: Mai 2015
Salzgitter, September 2016

BfS-SCHR-62/17
urn:nbn:de:0221-2017102314426
Schmitt-Hannig, A.; Löbke-Reinl, A.; Peter, J.; Gödde, R.; Hachenberger, C.; Trugenberger-Schnabel, A. (Redaktion)
Strahlenschutzforschung
Programmreport 2016
Bericht über das vom Bundesamt für Strahlenschutz fachlich begleitete und administrativ umgesetzte Forschungsprogramm Strahlenschutz des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit
Salzgitter, Oktober 2017

| Verantwortung für Mensch und Umwelt |

Kontakt:
Bundesamt für Strahlenschutz
Postfach 10 01 49
38201 Salzgitter
Telefon: + 49 (0)3018 333-0
Telefax: + 49 (0)3018 333-1885
Internet: www.bfs.de
E-Mail: ePost@bfs.de
Gedruckt auf Recyclingpapier aus 100 % Altpapier.

Bundesamt für Strahlenschutz